

ON THE METHODOLOGICAL ERROR OF STEP-BY-STEP OPTIMIZATION OF THE AIRCRAFT MOTION CONTROL PROGRAM IN THE PAYLOAD ADJUSTMENT SECTION

G.V. KAZAKOV, Cand. Sc., P.V. KOROBOV, Cand. Sc., A.V. SIDOROV, Senior Researcher

FSBI “4 Central Research Institute” of the Ministry of Defense of Russia
29, M.K. Tikhonravova st., Korolev, 141091, Russian Federation; e-mail: 4cnii@mil.ru

The solution of the problem of determining optimal control of the translational motion of the center of mass of the aircraft in the section of bringing payloads in the pulse flight scheme by two methods is considered: step-by-step optimization method (the optimization of the center of mass motion control program is determined based on the minimum fuel consumption of the propulsion system at each step of adjusting the payloads) and the optimization method as a whole (optimal control of the movement of the center of mass of the aircraft in the payload bringing section is determined based on the minimum amount of fuel consumption of the engine system at all one-step transitions from one falling path to another). It has been found that the control program of the aircraft in the bringing section, optimal at each bringing step, will not be optimal for the entire bringing section as a whole. Within the framework of the pulse flight scheme, the value of the methodological error of the step-by-step optimization method is calculated at the section of bringing payloads.

Keywords: propulsion system, center of mass movement, finishing stage, aircraft, payload, step by step optimization, finishing section, energy costs.

Поступила в редакцию/received: 30.10.2022; после рецензирования/revised: 12.11.2022;
принята/accepted: 24.11.2022

УДК 681.5.01

ОЦЕНКА РЕШЕНИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА *

Г.Б. БУРДО, д-р техн. наук, А.Н. БОЛОТОВ, д-р техн. наук

Тверской государственный технический университет
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22; e-mail: gbtms@yandex.ru

© Бурдо Г.Б., Болотов А.Н., 2023

Показано, что специфика единичного и мелкосерийного приборостроительного и машиностроительного производства предполагает одновременную реализацию значительного числа договоров, что подразумевает упрощенную и не всегда адекватную техническую подготовку производства. Выявлены основные принципы организационно-технологического проектирования, проанализированы теоретико-множественная и временная модели производственной системы, позволяющие выявлять критерии при проведении технологической подготовки. Установлены субъекты и объекты производственной системы и временные точки для определения

* Материалы были представлены на научном семинаре «Золотовские чтения», посвященном 100-летию со дня рождения выдающегося российского математика, академика АН СССР Золотова Евгения Васильевича (6–7 октября 2022 г., Тверь, Тверской государственный технический университет).

указанных критериев. Показано, что теоретико-множественная модель процедуры установления критериев технологической подготовки производства отражает информационную структуру производственной системы, а временная структура обеспечивает синхронизацию по времени выполняемых процедур.

Ключевые слова: система автоматизированного проектирования технологических процессов, технологическая подготовка производства, искусственный интеллект, целевая функция, единое информационное пространство, системный подход.

DOI: 10.46573/2658-5030-2023-2-94-101

ВВЕДЕНИЕ

Специфика единичного и малосерийного приборостроительного и машиностроительного производства предполагает нахождение в производстве большого числа заказов одновременно, а следовательно, и упрощенную техническую подготовку производства.

Важнейшей частью технической подготовки является технологическая подготовка производства (ТПП), охватывающая действия по проектированию технологических процессов и технологической оснастки, подбору средств автоматизации и механизации технологических процессов. Для осознанного и целенаправленного проведения ТПП с применением систем автоматизированной подготовки необходимо задание критериев ее выполнения для конкретного заказа. Отсутствие подобных указаний вследствие высокой динамичности производственной ситуации позволяет проектировщику разрабатывать технологические процессы по своему усмотрению, что не всегда соотносится с их качеством. Поэтому важным аспектом является нахождение компромисса между качеством ТПП и небольшими сроками ее осуществления [1–4].

ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Одним из подходов к устранению дисбаланса между динамичной производственной системой и качеством ТПП является создание автоматизированных систем проектирования технологических процессов (САПР ТП), построенных на выявленных в работах [1–4] принципах. Смысл подхода заключается в осознании того факта, что ТПП является слабо формализованной, многовариантной организационно-технологической задачей, решаемой в условиях информационной неопределенности [1, 2, 5, 6]. Предлагаемые принципы состоят в следующем.

1. Проектирование технологических процессов в соответствии с критериями, устанавливаемыми для конкретного заказа. Для каждого заказа должны формироваться критерии, по которым проектировщиками оценивается качество проведения ТПП.

2. Проектирование технологических процессов с учетом текущей загрузки оборудования в производственных подразделениях. Подразумевается загрузка наиболее свободных рабочих мест путем целенаправленного выбора оборудования для выполнения технологических операций.

3. Создание при ТПП предпосылок эффективного управления технологическими процессами. Предполагается обеспечение равномерной загрузки рабочих мест, что сокращает время пролеживания деталей перед выполнением операций.

4. Высокая оперативность технической подготовки производства. Предполагается меньшее время проведения технической подготовки производства по сравнению с оставшимся временем до запуска заказа.

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Изменчивость ситуации, складывающейся в производственной системе организации и в договорной политике (имеющееся незагруженное оборудование, появление новых контрактов и изменение условий выполнения действующих, изменение условий работы подрядчиков, финансовое состояние и т. п.), обуславливает необходимость установления критериев выполнения конкретного заказа.

Обычно предполагается [5–7 и др.], что критерием может быть или минимизация технологической себестоимости C_{\min} , или максимизация штучной производительности Q_{\max} .

Указанные подходы имеют некоторую односторонность и не свойственны производственным системам многономенклатурного машиностроения. Минимизация технологической себестоимости предполагает получение максимальной прибыли, что может иметь место при устоявшейся номенклатуре выпуска и при условии проведения серьезных технологических мероприятий. В случае рассматриваемого нами производства для этого просто не будет времени [8–11].

Максимум штучной производительности свойственен производствам, продукция которых имеет неограниченный спрос, что, скорее всего, в нормальных условиях работы производственной системы может быть лишь гипотетически.

Стоит также отметить, что один какой-либо критерий не позволит учесть все стороны деятельности производственной системы. Очевидно, компромисс следует искать в рамках дилеммы «технические показатели – экономические показатели».

Рассмотрим еще один критерий, имеющий организационно-техническое содержание, – минимизацию цикла изготовления партии деталей T_{\min} , а также комбинированные критерии, составленные из C_{\min} , Q_{\max} и T_{\min} . Таким образом, критерий C_{\min} характеризует экономическую, критерий Q_{\max} – техническую, а критерий T_{\min} – организационную сторону решения. Очевидно, комплексный критерий поможет оценить решение в интегрированном виде [12, 13].

Если учитывать динамику производственной системы, то интересным представляется вопрос о видоизменении критериев в процессе выполнения заказа. Критерии технической подготовки не вполне справедливо принимаются постоянными в период всего времени выполнения контракта. В одном контракте могут находиться заказы с различными сроками поставки, а некоторые понятия, например срочность или дешевизна, не определяются формальным образом. В связи с этим можно сделать вывод, что при реализации конкретного контракта для находящихся в нем разных заказов [14–17], а также на протяжении времени критерии должны видоизменяться в ответ на изменение ситуации в производственной системе. Следовательно, имеет смысл говорить об управлении критериями в процессе выполнения контрактов.

ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКОЙ

Для исследования связанных с установлением критериев оценки ТПП информационных потоков между производственными подразделениями в производственной системе разработаны теоретико-множественная и временная модели управления критериями (рис. 1).

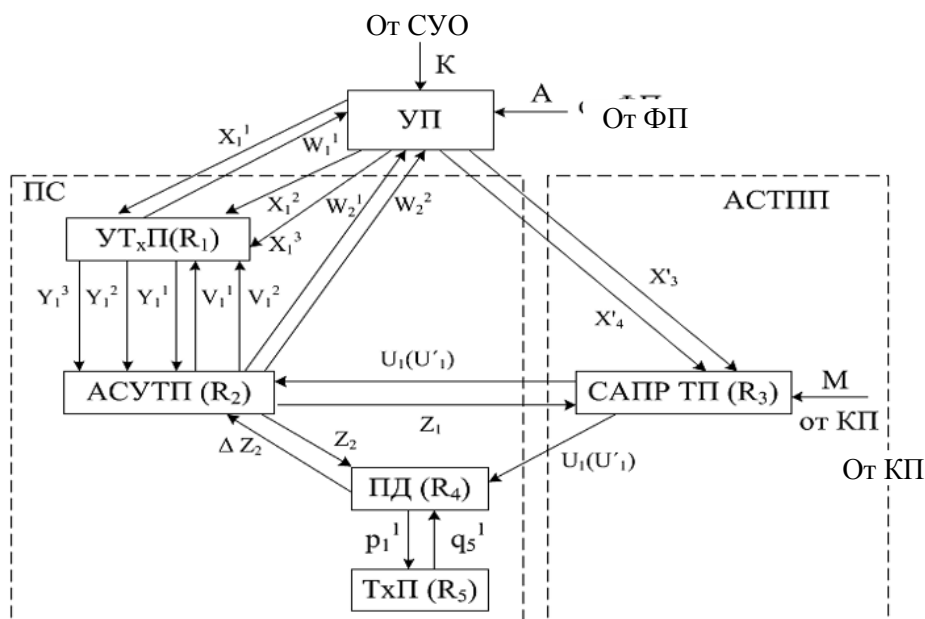


Рис. 1. Теоретико-множественная модель системы управления критериями

На рис. 1 показаны системы управления (УП), производственная система (ПС) и автоматизированная система ТПП (АСТПП). Производственная система реализована функциями R_1 (подсистема управления технологическими подразделениями, УТхП), R_2 (автоматизированная система управления технологическими процессами, АСУТП), R_4 (подсистема диспетчирования, ПД) и R_5 (технологические подразделения, ТхП). Автоматизированная система ТПП реализована оператором R_3 (САПР ТП). Функция УП реализована агентом R_0 и определяет воздействия на ПС со стороны дирекции. R_1 , как и R_0 , является гибридной системой, представляемой руководителем производственной службы. Операторы R_2 – R_5 – автоматизированные системы, функционирующие в диалоговом режиме.

Управление критериями выполнения технологической подготовки целесообразно производить в определяющих режим работы ПС временных точках: непосредственно до начала выполнения технологической подготовки и непосредственно перед запуском в изготовление изделий контракта. При этом необходимо иметь в виду, что в период времени между технологической подготовкой производства и запуском заказов контракта может произойти критическое изменение производственной ситуации [1–3].

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ УСТАНОВЛЕНИЯ КРИТЕРИЕВ

Определим механизм реализации решений агентами и субъектами производственной системы на начало проведения технологической подготовки (на время t_1).

Операция-функция $A(\tau_{A1})$, выполняемая финансовыми подразделениями (ФП), – определение финансового состояния на время τ_{A1} , которое находится через время t_1 . Операции-функции системы управления организацией (СУО): анализ и создание сведений о договорах и сроках их выполнения K , известных до времени τ_{A1} . Функции оператора R_0 : 1) директива о критериях выполнения рассматриваемого заказа на время t_1 ($X_1^1(t_1)$, $X_3^1(t_1)$); 2) указание о составе заказов в контрактах и сроках их выполнения на время τ_1 ($X_1^2(t_1)$, $X_4^1(\tau_1)$); 3) указание о приоритетности рассматриваемого заказа $X_1^3(t_1)$; 4) задание на ведение технологической подготовки заказа $X_4^1(\tau_1)$.

Операции, выполняемые УТхП: 1) оценка сроков выполнения заказа $W_1^1(\tau_1)$ (достаточные, недостаточные) УТхП на время τ_1 , которое зависит от времени t_1 ; 2) выработка распоряжений о приоритетности заказов $Y_1^1(t_1)$, имеющих в производстве на момент времени t_1 ; 3) расчет времени завершения $Y_1^2(t_1)$ заказов, имеющих в производстве на момент времени t_1 ; 4) разработка задания $Y_1^3(\tau_{11})$ на период времени до τ_{11} , $Y_1^3(\tau_{11})$ по смыслу эквивалентно $X_1^2(t_1)$, но имеет другой отсчет времени, $\tau_{11} < \tau_1$ и связано со временем t_1 .

Автоматизированная система управления технологическими процессами (R_2) выполняет: 1) синтез данных $W_2^1(\tau_1)$ о загрузке оборудования в качественном виде (большая, средняя, малая) в технологических подразделениях; 2) разработку календарных планов-графиков $Z_2(\tau_1)$ на время τ_1 ; 3) формирование данных $Z_1(\tau_{11})$ по загрузке станков в ТхП на время $\tau_{11} < \tau_1$; 4) синтез данных $V_1^1(\tau_1)$, определяющих загрузку станочного парка на время τ_1 .

Действие САПР ТП (R_3) – синтезирование множества данных $U_1(\tau_1)$ и $U'_1(\tau_{11})$, описывающих сведения о ТПП, осуществленной в САПР ТП до настоящего момента времени.

Подсистема диспетчирования (оператор) осуществляет: 1) выявление несоответствия фактических календарных планов-графиков $\Delta Z_2(\tau_1)$ и запланированных; 2) доведение фактических календарных планов-графиков $p_5^1(\tau_1)$ до технологических подразделений.

Работники ТхП выявляют ход фактической реализации календарных планов-графиков $q_5^1(\tau_1)$ на время τ_1 .

Критерии на момент начала выполнения заказа t_2 определяются подобным рассмотренному выше способом, смысловая часть функций операторов остается неизменной. Очевидно, что определение функций ведется для времени t_2 .

ВРЕМЕННАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ

Организационно-технологические системы, как и любой класс систем, имеют различные структуры, что можно сказать и о процессах, происходящих в них. Информационно-иерархическая структура процесса установления критериев была рассмотрена ранее. Временная модель процедуры установления критериев ведения ТПП позволяет выявить процессы, происходящие при ее реализации, придать им логическую завершенность и синхронизировать выполняемые функции (рис. 2).

По горизонтали на рис. 2 приведена временная шкала. Время t_{A1} соответствует времени получения информации от финансовых подразделений. Желательно добиваться величины Δt_4 , не превышающей 4–8 часов. Время τ_1 соответствует передаче информации для выработки управляющих воздействий представителями СУО, УТхП и АСУТП. Понятно, что интервал Δt_3 требуется для принятия согласованного решения указанными операторами (по опыту до 8 часов). Время τ_{11} соответствует времени начала первичной оценки информации субъектами и операторами системы, Δt_2 обычно равно ~4 часам. t_0 – время обновления данных от СУО и УП, Δt_1 обычно составляет до 3–4 часов.

Временные данные показаны для базовой организации, поэтому для других производственных систем подлежат уточнению.

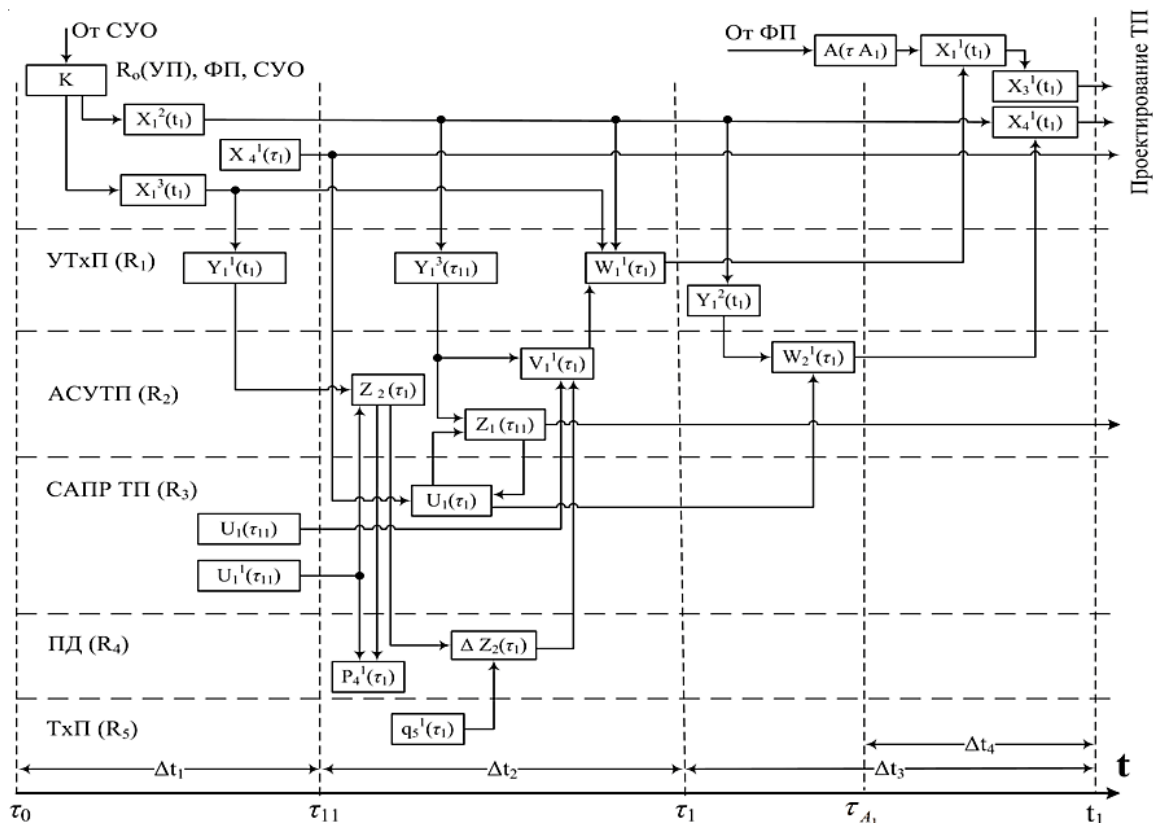


Рис. 2. Временная модель системы управления критериями

АНАЛИЗ РАБОТЫ МОДЕЛЕЙ

В результате анализа моделей отметим следующие моменты:

1. Если учитывать, что на этапах ТПП и изготовления сведения, необходимые для определения критериев, обновляются и дополняются, то управление критериями строится в виде итерационных процедур.

2. На шкале можно выделить следующие точки: время задания основополагающей информации СУО (точка t_0); время начала анализа информации (точка τ_{11}); время начала обработки информации для УП (точка τ_1); время выработки решения УП (точка t_1).

3. Точность установления критериев обуславливается инерционностью модели, т. е. различием между t_1, τ_1, τ_{11} и t_2, τ_2, τ_{22} .

4. Если известно, что различие между временами t_1 и t_2 несущественно, то критерии устанавливаются для времени t_1 .

5. С учетом малой формальности процедур ТПП при установлении критериев заказа должны реализовываться элементы искусственного интеллекта.

6. Процедуры уточнения (согласования) решения должны базироваться на использовании не только количественных, но и качественных показателей, свойственных каждому субъекту принятия решений, т.е. основываться на таблицах соответствия понятий и ситуаций, отчасти сходных с когнитивными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация предлагаемого подхода при разработке средств автоматизации ТПП возможна на основе предлагаемой концепции организационно-технологического проектирования, предусматривающего информационную интеграцию всех подсистем производственной системы.

На основе исследования моделей были реализованы алгоритмы функционирования подсистем производственной системы под координацией системы управления организацией в целом. Это придает осознанность деятельности производственной системы при проведении ТПП и способствует системной целостности предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурдо Г.Б., Палюх Б.В. Теоретические основы комплексной автоматизированной системы проектирования и управления технологическими процессами в многономенклатурном производстве // *Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2010. № 4 (127). С. 44–54.
2. Бурдо Г.Б., Палюх Б.В. Метод интеллектуальной оценки решений при проектировании технологий в многономенклатурных производствах // *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. 2011. Т. 17. № 2. С. 342–350.
3. Бурдо Г.Б., Исаев А.А. Особенности автоматизированной технологической подготовки производства в геофизическом приборостроении // *Картажник*. 2013. № 3 (225). С. 235–239.
4. Бурдо Г.Б., Палюх Б.В. Оценка решений в системах автоматизированного проектирования технологических процессов для многономенклатурных производств // *Вестник Воронежской государственной технологической академии. Серия «Информационные технологии, моделирование и управление»*. 2011. № 2. С. 99–102.
5. Горанский Г.К. Автоматизация технического нормирования работ на металлорежущих станках с помощью ЭВМ. М.: Машиностроение. 1970. 224 с.
6. Цветков В.Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов. Минск: Наука и техника. 1979. 264 с.
7. Кондаков А.И. САПР технологических процессов. М.: Академия. 2007. 272 с.
8. Евгеньев Г.Б. Интеллектуальные системы проектирования. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2009. 334 с.
9. Кунву Ли. Основы САПР. CAD/CAM/CAE. СПб.: Питер. 2017. 560 с.
10. Детмер У. Теория ограничений Голдратта: Системный подход к непрерывному совершенствованию / пер. с англ. М.: Альпина Бизнес Букс. 2008. 444 с.
11. Вумек Дж.П., Джонс Д.Т. Бережливое производство. Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании. М.: Альпина Бизнес Букс. 2008. 473 с.
12. Денисов А.Р., Левин М.Г. Подходы к организации конструкторско-технологической подготовки производства // *Проблемы теории и практики управления*. 2018. № 7. С. 52–61.
13. Денисов А.Р. Принципы конструкторско-технологического проектирования в условиях мелкосерийного машиностроительного производства // *Известия вузов: Приборостроение*. 2017. Т. 50. № 12. С. 56–60.
14. Егорова Т.А. Организация производства на предприятиях машиностроения. СПб.: Питер. 2004. 304 с.
15. Прилуцкий М.Х. Многокритериальные многоиндексные задачи объемно-календарного планирования // *Известия академии наук. Теория и системы управления*. 2011. № 1. С. 78–82.
16. Акофф Р.Л., Магидсон Дж., Эдисон Г.Дж. Идеализированное проектирование. Как предотвратить завтрашний кризис сегодня. Создание будущего организации. М.: Баланс Бизнес Букс. 2007. 320 с.
17. Самойлович В.Г. Организация производства и менеджмент. М.: Академия. 2008. 336 с.

Для цитирования: Бурдо Г.Б., Болотов А.Н. Оценка решений при подготовке производства // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2023. № 2 (18). С. 94–101.

EVALUATION OF SOLUTIONS DURING PRE-PRODUCTION

G.B. BURDO, Dr. Sc., A.N. BOLOTOV, Dr. Sc.

Tver State Technical University
22, Af. Nikitin emb., Tver, 170026, Russian Federation; e-mail: gbtms@yandex.ru

It is shown that the specifics of single and small-scale instrument-making and machine-building production presupposes the implementation of a significant number of contracts at the same time, which implies simplified, and not always adequate, technical preparation of production. The basic principles of organizational and technological design are revealed, the set-theoretic and time models of the production system are analyzed, which allows identifying criteria during technological preparation. The subjects and objects of the production system and time points for determining the specified criteria are established. It is shown that the set-theoretic model of the procedure for establishing criteria for technological preparation of production reflects the information structure of the production system, and the time structure ensures synchronization of the procedures performed in time.

Keywords: computer-aided design of technological processes, technological preparation of production, artificial intelligence, objective function, unified information space, system approach.

Поступила в редакцию/received: 30.10.2022; после рецензирования/revised: 12.11.2022;
принята/accepted: 24.11.2022

УДК 004.032.26

АРХИТЕКТУРА ГЛУБОКОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ В ЗАДАЧЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КООРДИНАТ ДВИЖУЩЕЙСЯ ЦЕЛИ*

В.К. КЕМАЙКИН, канд. техн. наук, А.С. ПОЛЫГАЕВ, студ.

Тверской государственный технический университет
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22; e-mail: vk-kem@mail.ru

© Кемайкин В.К., Польшаев А.С., 2023

Рассмотрено использование глубокой рекуррентной нейронной сети в задаче прогнозирования координат движущейся цели в условиях неточности измерений. Обучение нейронной сети проводится на предварительной выборке координат ограниченной длины, моделируются ошибки измерения координат. Характер движения

* Материалы были представлены на научном семинаре «Золотовские чтения», посвященном 100-летию со дня рождения выдающегося российского математика, академика АН СССР Золотова Евгения Васильевича (6–7 октября 2022 г., Тверь, Тверской государственный технический университет).