

РЕЗЮМЕ

В данной статье утверждается, что сельское хозяйство оказывает значительное влияние на окружающую среду, а загрязнение животноводческих и птицеводческих предприятий зачастую обусловлено несовершенством технологий и оборудования, несоблюдением установленных экологических требований.

Для снижения негативного влияния на окружающую сферу применяется доступный способ: обновление технологического оборудования в подразделениях, внесение изменений в организацию хозяйственной деятельности в соответствии с современными экологическими нормами.

Это возможно за счет внедрения безотходных технологий, основанных на внедрении всего сырья, которое постоянно образуется и накапливается в хозяйстве. Отрицательного влияния на окружающую сферу может быть уменьшено за счет сокращения количества органических отходов, газопылевых выбросов, водопотребления и сброса сточных вод.

В данной статье описана экспериментальная установка пассивных дисковых ножей перед треугольными коническими культиваторами. Такая конструкция позволяет разбивать слой навоза, а подающие шнеки направлять навоз на выгрузной транспортер.

Ворошитель предоставляется для разбивания слоя овечьего навоза и загрузки рассыпного навоза в аэрационную установку для приготовления экологически чистых органических удобрений.

Следующим сырьем для производства органических удобрений являются сельскохозяйственные отходы. Продукция: зерновая солома, свекловичный жом, картофель, кормовая свекла, томаты, зерноотходы, навоз от скота.

Научно-техническим результатом разработки является совершенствование конструкции ворошителя – погрузчика для уборки навоза из помещения и на варках овцеводческих ферм и получение экологически чистого органического удобрения. Данная цель достигается установкой пассивных дисковых ножей перед коническими ворошителями треугольной формы. Такая конструкция позволит разрушить пласт навоза, а шнеки питатели направят навоз на выгрузной транспортер. Созданная конструкция имеет хороший потенциал, который включает совершенствование конструкции ворошителя – погрузчика для уборки навоза из помещения и на варках овцеводческих ферм и получение экологически чистого органического удобрения.

УДК 517.958
МРНТИ 27.31.15

Таскаирова Айна Алихановна, магистр естественных наук, **основной автор**, <https://orcid.org/0000-0002-8425-7721>
НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», г. Уральск, ул. Жангир хана 51, 090009, Казахстан, a_aina_t@mail.ru

Taskairova Aina Alikhanovna, Master of Natural Sciences, **the main author**, <https://orcid.org/0000-0002-8425-7721>
NJSC «West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan», Uralsk, st. Zhangir khan 51, 090009, Kazakhstan, a_aina_t@mail.ru

ПРОБЛЕМЫ МИНИМАЛЬНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ PROBLEMS OF MINIMAL IMPLEMENTATION OF DYNAMIC SYSTEMS

Аннотация

Работа посвящена исследованию проблем минимальной реализации динамических систем. Отталкиваясь от начального понятия системы, определенной на ее входных данных, можно прийти к различным динамическим реализациям и различным пространствам состояний. В силу разнообразности динамических реализации и пространств состояний огромный практический интерес представляют задача отыскания "наименьшего" в

определенном смысле пространства состояний и построение алгоритма, позволяющего конструировать такое пространство на основе первоначальной информации о данной системе[1-3].

Сначала проанализировано само понятие минимальности. Далее рассматривается процедура введения понятия минимальной реализации, выделение интересных систем, установление в них некоторого отношения эквивалентности. Каждом классе эквивалентности вводится некоторое отношение порядка и определяется минимальность реализации. А также рассматриваются вопросы реализации в пространстве канонических представлений и состояний динамических систем. Статья в основном имеет теоретическое значение. Полученные результаты являются новыми и могут быть использованы в исследовании динамических систем[4, 5].

В теории реализации динамических систем изучаются вопросы существования динамического представления для надлежащим образом определенной временной системы. При этом обычно временная система задается своим семейством реакций $\bar{\rho}$, и задача теории реализации состоит в том, чтобы выяснить, существует ли такое семейство функций перехода состояний $\bar{\varphi}$ и временная система S , что пара $(\bar{\rho}, \bar{\varphi})$ служит для нее динамической реализацией[6, 7].

ANNOTATION

The work is devoted to the study of the problems of minimal implementation of dynamic systems. Starting from the initial concept of a system defined on its input data, it is possible to come to different dynamic implementations and different state spaces. Due to the diversity of dynamic realizations and state spaces, the task of finding the "smallest" state space in a certain sense and constructing an algorithm that allows constructing such a space based on initial information about this system is of great practical interest[1-3].

First, the concept of minimality itself is analyzed. Next, we consider the procedure for introducing the concept of minimal implementation, identifying the systems of interest, establishing some equivalence relation in them. Each equivalence class introduces a certain order relation and determines the minimality of the implementation. And also the issues of implementation in the space of canonical representations and states of dynamic systems are considered. The article is mainly of theoretical importance. The results obtained are new and can be used in the study of dynamical systems[4, 5].

In the theory of the implementation of dynamic systems, the questions of the existence of a dynamic representation for a properly defined time system are studied. In this case, usually a time system is defined by its own family of reactions $\bar{\rho}$, and the task of the implementation theory is to find out whether there is such a family of state transition functions $\bar{\varphi}$ and a time system S that the pair $(\bar{\rho}, \bar{\varphi})$ serves as a dynamic implementation for it[6, 7].

Ключевые слова: Динамические системы, минимальная реализация, семейство функций, семейство реакций, система времени, динамических реализаций, пространство состояний.

Key words: Dynamic systems, minimal implementation, family of functions, family of reactions, time system, dynamic realizations, state space.

Введение. На современном этапе развития науки, техники и технологии большое значение приобретает создание моделей сложных динамических систем, его управление и количественный и качественный анализ. С каждым днем увеличивается потребность в разработке новых методов количественного и качественного исследования характера решений динамических систем, построении программ управления, достижении результатов, которые могут обеспечить устойчивую, надежную и безопасную работу сложных динамических систем с различными особенностями. Анализ тем научных статей и литературы, международных форумов в этой области за последние десять - пятнадцать лет XX века и первые двенадцать-

двенадцать лет XXI века можно увидеть, что в категории приоритетных направлений, стоящих перед человечеством в XXI веке, имеются следующие проблемы.:

- создание новых космических технологий и ракетно-космических систем;
- создание новых энергетических технологий, в том числе совершенствование технологии переработки нефти и газа;
- создание общемировых динамических систем с применением спутниковых и лазерных систем;
- решение транспортно-коммуникационных проблем в глобальном масштабе;
- разработка новых биотехнологических технологий для решения проблем продовольствия.

Решение данных проблем невозможно без построения математических моделей и методов исследования, обеспечивающих жизнеспособность сложных систем, ее надежность и безопасность, устойчивость и надежность[8, 9].

Материалы и методы исследований. Опираясь на первичное понятие системы, определенной на ее входном и выходном объектах, можно прийти к различным ее динамическим реализациям и различным пространствам состояний. В силу разнообразности динамических реализации и пространств состояний огромный практический интерес представляют задача отыскания "минимального" в определенном смысле пространства состояний и построение алгоритма, позволяющего конструировать такое пространство на основе первоначальной информации о данной системе. Задачи такого типа и рассмотрим в настоящей работе.

В специализированных теориях динамических систем используется несколько разных определений минимальной реализации системы. Поэтому мы сначала введем несколько родственных понятий, отвечающих выбранному уровню общности. После этого установим взаимосвязи между этими понятиями, и попытаемся сформулировать условия, гарантирующие существование минимальных реализаций[10-12].

Если взять любую временную систему S , то она может иметь много различных динамических реализаций, или ее можно рассматривать в разных пространствах состояний.

Кроме того, различные пары семейств, например, $(\bar{\rho}, \bar{\varphi})$ и $(\bar{\rho}, \bar{\varphi})$, могут быть динамическими реализациями одной и той же системы. Следовательно, среди всех динамических реализаций каждой системы необходимо выделить реализаций, эквивалентные друг другу в определенном смысле, или те реализаций, которые обладают некоторыми общими или особенными свойствами, присущими только им, и не присущими другим реализациям, и прежде всего те реализаций, которые в вполне определенном смысле являются "простейшими" или "минимальными". Именно это и представляет огромный интерес к минимальным реализациям. Динамика поведения системы описывается в терминах изменения ее состояний. В силу этого минимальность реализации системы должны понимать в первую очередь в том смысле, что само пространство состояний должно быть минимальным. И в действительности в различных разделах теории динамических систем используются два различных понятия минимальности пространства состояний, а именно:

1) в теории автоматов реализация автомата считается минимальной, если минимальна мощность его пространства состояний (1);

2) в теории динамических систем и теории управления минимальной реализации должно отвечать пространство состояний системы наименьшей размерности (2).

Эти два понятия являются совершенно различными. Но с другой стороны, оба эти понятия определяют в определенном смысле минимальность реализации в терминах соответствующего пространства состояний и оба они используют очень схожую терминологию. Следовательно, прежде чем развить включающую в себе оба вышесказанных частных случая, мы должны тщательным образом проанализировать само понятие минимальности.

Понятие минимальной реализации играет огромную роль в теории систем и строгая формальная процедура введения этого понятия распадается на три этапа. В первую очередь необходимо выделить класс интересующих нас систем Φ_D , например линейных систем,

стационарных систем, конечных систем и т.д. Каждая система и ее состояние обычно описывается некоторой вспомогательной функцией. Поэтому нам необходимо охарактеризовать каждую группу интересующих нас систем в терминах вспомогательных функций, принадлежащих некоторому классу, например классу n раз непрерывно дифференцируемых функций. Затем в выделенном нами классе систем мы должны будем определить некоторое отношение эквивалентности. И, в последнем третьем этапе необходимо будет ввести в каждом таком классе эквивалентности некоторое отношение порядка, которое позволит нам определить минимальность реализации [13-16].

Рассматриваются отношения эквивалентности трех типов. Пусть $\bar{\rho} = \{\rho_t : C_t \times X_t \rightarrow Y_t \text{ \& } t \in T\}$ – семейство произвольных отображений, $\rho_0(c, x) : C_0 \times X \rightarrow Y$ – начальная реакция системы, S_0^ρ – семейство начальных реакций системы S . Приведем соответствующие три типа определений эквивалентности реализаций (3).

Определение 1. Пусть φ_D – некоторый класс динамических реализаций. Реализации $(\bar{\rho}, \bar{\varphi})$ и $(\hat{\rho}, \hat{\varphi}) \in \varphi_D$ называются *эквивалентными относительно своих пар «вход – выход»* тогда и только тогда, когда

$$S_0^\rho = S_0^{\hat{\rho}},$$

т.е.

$$(\forall c)(\forall x)(\exists \hat{c})[\rho_0(c, x) = \hat{\rho}_0(\hat{c}, x)] \text{ \& } (\forall \hat{c})(\forall x)(\exists c)[\rho_0(c, x) = \hat{\rho}_0(\hat{c}, x)].$$

Определение 2. Пусть φ_D – некоторый класс динамических реализаций. Реализации $(\bar{\rho}, \bar{\varphi})$ и $(\hat{\rho}, \hat{\varphi}) \in \varphi_D$ называются *эквивалентными относительно своих реакций* тогда и только тогда, когда

$$(\forall c)(\exists \hat{c})(\forall x)[\rho_0(c, x) = \hat{\rho}_0(\hat{c}, x)]$$

и

$$(\forall \hat{c})(\exists c)(\forall x)[\rho_0(c, x) = \hat{\rho}_0(\hat{c}, x)].$$

Здесь отмечено очень важный факт о том, что эквивалентность третьего типа охватывает только одну составляющую реакции, а именно, ту, которая описывает влияние входного воздействия. Известно, что реакцию линейной системы можно разложить на реакцию на состояние при нулевом входном воздействии и реакцию на входное воздействие при нулевом начальном состоянии. Обобщая эту идею на случай произвольного c_0 , будем называть функцию $\rho_0(c_0, -) : X \rightarrow Y$ c_0 -реакцией на входное воздействие. Поскольку во всех содержательных интерпретациях c_0 будет играть особую роль, будем называть его эталонным состоянием системы. Теперь можем ввести следующее

Определение 3. Пусть φ_D – некоторый класс динамических реализаций, $(\bar{\rho}, \bar{\varphi}), (\hat{\rho}, \hat{\varphi}) \in \varphi_D$ и $c_0, \hat{c}_0$ – эталонные состояния систем $(\bar{\rho}, \bar{\varphi}), (\hat{\rho}, \hat{\varphi})$ соответственно. Реализации $(\bar{\rho}, \bar{\varphi})$ и $(\hat{\rho}, \hat{\varphi})$ называются *эквивалентными относительно своих реакций на входные воздействия* тогда и только тогда, когда

$$\rho_0(c_0, -) = \hat{\rho}_0(\hat{c}_0, -),$$

т.е.

$$(\forall x)[\rho_0(c_0, x) = \hat{\rho}_0(\hat{c}_0, x)].$$

Доказано, что эквивалентность первого типа является наиболее общей. Наряду с этим следует отметить, что остальные два типа отношения эквивалентности представляют большой интерес для практики. Например, если дело коснется класса линейных систем и нас будет интересовать в первую очередь их установившиеся режимы, то есть переходными процессами, вызванными начальными состояниями, можно пренебречь, система допускает описание в терминах одной ее реакции на входное воздействие. Как известно все методы анализа, основанные на использовании интегральных преобразований, в том числе и преобразований Лапласа, опираются именно на такие начальные условия [17, 18].

Приведем двух типов определения отношений порядка.

Определение 4. Пусть φ_D^E – некоторый класс эквивалентности динамических систем, $(\bar{\rho}, \bar{\varphi}), (\bar{\hat{\rho}}, \bar{\hat{\varphi}}) \in \varphi_D^E$ и $C, \hat{C}$ – соответствующие пространство состояний мощности $K(C)$ и $K(\hat{C})$. Тогда отношение порядка $\leq$ на φ_D^E определяется следующим образом:

$$(\bar{\rho}, \bar{\varphi}) \leq (\bar{\hat{\rho}}, \bar{\hat{\varphi}}) \Leftrightarrow K(C) \leq K(\hat{C}).$$

Определение 5. Пусть φ_D^E – некоторый класс эквивалентности динамических систем, $(\bar{\rho}, \bar{\varphi}), (\bar{\hat{\rho}}, \bar{\hat{\varphi}}) \in \varphi_D^E$ и $C, \hat{C}$ – соответствующие пространство состояний. Тогда отношение

порядка $\leq$ на φ_D^E определяется следующим образом:

$$(\bar{\rho}, \bar{\varphi}) \leq (\bar{\hat{\rho}}, \bar{\hat{\varphi}}) \Leftrightarrow \{\text{существует эпиморфизм } h: \hat{C} \rightarrow C\}.$$

Не составляет труда показать, что отношение $\leq$ есть отношение частичного порядка, причем

$$\begin{aligned} (\bar{\rho}, \bar{\varphi}) = (\bar{\hat{\rho}}, \bar{\hat{\varphi}}) &\Leftrightarrow (\bar{\rho}, \bar{\varphi}) \leq (\bar{\hat{\rho}}, \bar{\hat{\varphi}}) \& (\bar{\hat{\rho}}, \bar{\hat{\varphi}}) \leq (\bar{\rho}, \bar{\varphi}), \\ (\bar{\rho}, \bar{\varphi}) < (\bar{\hat{\rho}}, \bar{\hat{\varphi}}) &\Leftrightarrow (\bar{\rho}, \bar{\varphi}) \leq (\bar{\hat{\rho}}, \bar{\hat{\varphi}}) \& \neg [(\bar{\hat{\rho}}, \bar{\hat{\varphi}}) \leq (\bar{\rho}, \bar{\varphi})]. \end{aligned}$$

Приведем различные типы определений минимальной реализации.

Определение 6. Реализация $(\bar{\rho}, \bar{\varphi})$ называется реализацией с минимальным пространством состояний тогда и только тогда, когда для любой динамической системы $(\bar{\hat{\rho}}, \bar{\hat{\varphi}})$ из того же класса φ_D

$$S_0^\rho = S_0^{\hat{\rho}} \Rightarrow K(C) \leq K(\hat{C}).$$

Определение 7. Реализация $(\bar{\rho}, \bar{\varphi})$ называется реализацией минимальной размерности тогда и только тогда, когда для любой динамической системы $(\bar{\hat{\rho}}, \bar{\hat{\varphi}})$ из того же класса φ_D

$$S_0^\rho = S_0^{\hat{\rho}} \Rightarrow [(\bar{\rho}, \bar{\varphi}) \geq (\bar{\hat{\rho}}, \bar{\hat{\varphi}}) \Rightarrow (\bar{\rho}, \bar{\varphi}) \leq (\bar{\hat{\rho}}, \bar{\hat{\varphi}})].$$

Определение 8. Реализация $(\bar{\rho}, \bar{\varphi})$ называется реализацией реакции с минимальным пространством состояний тогда и только тогда, когда для любой динамической системы $(\bar{\hat{\rho}}, \bar{\hat{\varphi}})$ из того же класса φ_D

$$(\forall c)(\exists \hat{c})(\forall x)(\rho_0(c, x) = \hat{\rho}_0(\hat{c}, x)) \& (\forall \hat{c})(\exists c)(\forall x)(\rho_0(c, x) = \hat{\rho}_0(\hat{c}, x)) \Rightarrow K(C) \leq K(\hat{C}).$$

Определение 9. Реализация $(\bar{\rho}, \bar{\varphi})$ называется *реализацией реакции наименьшей размерности* тогда и только тогда, когда для любой динамической системы $(\bar{\rho}, \bar{\varphi})$, принадлежащей тому же классу $\mathcal{P}_D$, из существования такого эпиморфизма $h: C \rightarrow \hat{C}$, что диаграмма

$$\begin{array}{ccc} C \times X_t & \xrightarrow{\rho_t} & Y_t \\ h \downarrow & & \downarrow I \\ \hat{C} \times X_t & \xrightarrow{\hat{\rho}_t} & Y_t \end{array}$$

коммутативна, вытекает существования такого эпиморфизма $\hat{h}: \hat{C} \rightarrow C$, коммутативна диаграмма

$$\begin{array}{ccc} \hat{C} \times X_t & \xrightarrow{\hat{\rho}_t} & Y_t \\ \hat{h} \downarrow & & \downarrow I \\ C \times X_t & \xrightarrow{\rho_t} & Y_t \end{array}$$

Определение 10. Реализация $(\bar{\rho}, \bar{\varphi})$ называется *реализацией реакции на входное воздействие с минимальным пространством состояний* тогда и только тогда, когда для любой динамической системы $(\bar{\rho}, \bar{\varphi})$, принадлежащей классу $\mathcal{P}_D$,

$$(\forall x) (\rho_0(c_0, x) = \hat{\rho}_0(\hat{c}_0, x)) \Rightarrow K(C) \leq K(\hat{C}).$$

где c_0 и $\hat{c}_0$ – эталонные состояния из C и $\hat{C}$ соответственно.

Определение 11. Реализация $(\bar{\rho}, \bar{\varphi})$ называется *реализацией реакции на входное воздействие минимальной размерности* тогда и только тогда, когда для любой динамической системы $(\bar{\rho}, \bar{\varphi})$, принадлежащей тому же классу $\mathcal{P}_D$,

$$(\forall x) (\rho_0(c_0, x) = \hat{\rho}_0(\hat{c}_0, x)) \Rightarrow (\bar{\rho}, \bar{\varphi}) \geq (\hat{\rho}, \hat{\varphi}).$$

Опираясь на введенные выше определения, можем охарактеризовать минимальную реализацию системы.

Теорема. Пусть $(\bar{\rho}, \bar{\varphi})$ – некоторая инвариантная во времени конечная линейная динамическая система. Система $(\bar{\rho}, \bar{\varphi})$ является минимальной реализацией с минимальным пространством состояний тогда и только тогда, когда система $(\bar{\rho}, \bar{\varphi})$ приведена [19-21].

Результаты и их обсуждение. Созданы модели динамических систем. Изучив реалистичность динамических систем, доказано, что минимальное осуществление имеется и является единственной. Определен критерий, указывающий на то, что информация о внешнем действии динамической системы будет достаточной для реализации динамической системы. Определены алгоритмы реализации динамических систем. Основной целью статьи является изучение осуществимости динамических систем, подтверждение наличия и одинокости

осуществления минимальной реализации. Динамические системы в определенной степени изучены. Теоретическими и методологическими основами статьи являются соответственно общая математическая теория динамических систем и причинно-следственный подход.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Пушков С.Г. Алгебраические методы представления динамических систем в пространстве состояний: точная и приближенная реализации. Дисс. на соискание ученой степени д. т. н. – Бийск, 2015. -186 с.
- 2 Шарковский А.Н., Коляда С.Ф., Сивак А.Г., Федоренко В.В. Динамика одномерных отображений. Киев, 2016. - С. 121 - 125.
- 3 Шакирова Д.У. О классификации линейных систем над конечными полями// Актуальные вопросы образования и науки: сб. наун. нр. но мпт-лам Междунар.науч.-практ. конф. 30 сентября 2014г.: Часть 11. Тамбов. С. 164-165
- 4 Васильев О.О. Булевы линейные стационарные динамические системы и математическое моделирование булевых потоков в сети. Дисс. на соискание ученой степени к. т. н. – Москва, 2015. -138 с.
- 5 Ли Э.Б., Маркус Л. Основы теории оптимального управления. –М., Наука, 2017. - С. 133 - 136.
- 6 Гахов Ф.Д. Краевые задачи. – М.: Наука, 2017. - 640 с.
- 7 Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. – М., Сов. Радио, 2018. - С. 178 - 185.
- 8 Бесов О.В. Об условиях существования классического решения волнового уравнения // Сиб. матем. журн. - 2016. - Т.8. - №2. - С. 243 - 256.
- 9 Пушков С.Г. Представление динамических систем в пространстве состояний: точная и приближенная реализация: Монография. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2015. - С. 152 - 156.
- 10 Stoliar P., Schneegans O. Imlementation of a Minimal Recurrent Spiking Neural Network in a Solid-State Device // Physical Review Applied. 2021. - pp. 52-56.
- 11 Golgschmit A., Kaiser E., Dubois J.L., Brunton S.L., Kutz J.N. Bilinear dynamic mode decomposition for quantum control // New Journal of Physics. 2021. pp. 13-16.
- 12 Wang Y., Liu L., Cai X., Zheng G. Fractional-Order Hidden Attractor Based on the Extended Liu System // Mathematical Problems in Engineering. 2020. pp. 71-78.
- 13 Sytko I.I., Kremcheeva D.A. Instrumentation for measuring the parameters and characteristics of four-poles // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. 2017. pp. 844-854.
- 14 Rentschler M., Trsek H., Durkop L. OPS UA extension for IP auto-configuration in cyber-physical systems // IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN). 2016. pp. 26-31.
- 15 Alekseev V.V., Emel'yanov A.P., Kozyaruk A.E. Analysis of the dynamic performance of a variable-frequency induction motor drive using various control structures and algorithms // Russian Electrical Engineering. 2016. pp. 181-188.
- 16 Martin G., Singh D.E., Marinescu M.C., Carretero J. Enhancing the performance of malleable MPI applications by using performance-aware dynamic reconfiguration//Parallel Computing. 2015. pp. 60-77.
- 17 Пушков С.Г., Кривошапко С.Ю. О проблеме реализации в пространстве состояний для интервальных динамических систем // Вычислительные технологии. 2016.– Т.9. - №1. – С. 75-85.
- 18 Калман Р., Фалб П., Арбиб М. Очерки по математической теории систем. – М.: Едиториал УРСС, 2018. - С. 193 - 198.
- 19 Пушков С.Г., Горелик А.А., Использование интервального анализа для вычисления размерности конечномерной реализации линейной динамической системы//Вестник Оренбургского государственного университета. - №9, 2017. - С.59-64.
- 20 Шпаков В.М. О реализации физического подхода к имитационному моделированию динамических систем // Труды Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН. 2019. Выпуск 19. С.268-287.
- 21 Методы классической и современной теории автоматического управления. Учебник в 5-ти томах / Под. ред. Н.Д.Егупова. –М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана. 2016. - С. 227 - 236.

REFERENCES

- 1 Pushkov S.G. Algebraic methods of representation of dynamical systems in the state space: exact and approximate realizations. Diss. for the degree of Doctor of Technical Sciences – Biysk, 2015. -186 p.
- 2 Sharkovsky A.N., Kolyada S.F., Sivak A.G., Fedorenko V.V. Dynamics of one-dimensional maps. Kiev, 2016. - pp. 121 - 125.
- 3 Shakirova D.U. On the classification of linear systems over finite fields // Actual issues of education and science: sat. naun. nr. no mpt-lam International Scientific-practical Conference. September 30, 2014: Part 11. Tambov. pp. 164-165
- 4 Vasiliev O.O. Boolean linear stationary dynamical systems and mathematical modeling of Boolean flows in the network. Diss. for the degree of Candidate of Technical Sciences – Moscow, 2015. -138 p5 Lee E.B., Markus L. Fundamentals of the theory of optimal control. –M., Nauka, 2017. - pp. 133 - 136.
- 6 Gakhov F.D. Boundary value problems. – M.: Nauka, 2017. - 640 p.
- 7 Wiener N. Cybernetics or control and communication in an animal and a machine. – M., Sov. Radio, 2018. - p. 178 - 185.
- 8 Besov O.V. On the conditions of existence of the classical solution of the wave equation // Sib. matem. journal. - 2016. - Vol.8. - No. 2. - pp. 243 - 256.
- 9 Pushkov S.G. Representation of dynamical systems in the state space: exact and approximate implementation: Monograph. Barnaul: AltSTU Publishing House, 2015. - pp. 152 - 156.
- 10 Stoliar P., Schneegans O. Implementation of a Minimal Recurrent Spiking Neural Network in a Solid-State Device // Physical Review Applied. 2021. - pp. 52-56.
- 11 Golgschmit A., Kaiser E., Dubois J.L., Brunton S.L., Kutz J.N. Bilinear dynamic mode decomposition for quantum control // New Journal of Physics. 2021. pp. 13-16.
- 12 Wang Y., Liu L., Cai X., Zheng G. Fractional-Order Hidden Attractor Based on the Extended Liu System // Mathematical Problems in Engineering. 2020. pp. 71-78.
- 13 Sytko I.I., Kremcheeva D.A. Instrumentation for measuring the parameters and characteristics of four-poles // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. 2017. pp. 844-854.
- 14 Rentschler M., Trsek H., Durkop L. OPS UA extension for IP auto-configuration in cyber-physical systems // IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN). 2016. pp. 26-31.
- 15 Alekseev V.V., Emel'yanov A.P., Kozyaruk A.E. Analysis of the dynamic performance of a variable-frequency induction motor drive using various control structures and algorithms // Russian Electrical Engineering. 2016. pp. 181-188.
- 16 Martin G., Singh D.E., Marinescu M.C., Carretero J. Enhancing the performance of malleable MPI applications by using performance-aware dynamic reconfiguration//Parallel Computing. 2015. pp. 60-77.
- 17 Pushkov S.G., Krivoschapko S.Yu. On the problem of realization in the state space for interval dynamical systems // Computational Technologies. 2016.– Vol.9. - No.1. – pp. 75-85.
- 18 Kalman R., Falb P., Arbib M. Essays on mathematical theory of systems. – M.: Unified URSS, 2018. - pp. 193-198.
- 19 Pushkov S.G., Gorelik A.A., The use of interval analysis to calculate the dimension of a finite-dimensional implementation linear dynamic system // Bulletin of Orenburg State University. - No. 9, 2017. - pp.59-64.
- 20 Shpakov V.M. On the implementation of a physical approach to simulation modeling of dynamic systems // Proceedings of the St. Petersburg Institute of Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences. 2019. Issue 19. pp.268-287.
- 21 Methods of classical and modern theory of automatic control. Textbook in 5 volumes / Edited by N.D.Egupov. -M.: Publishing House of the Bauman Moscow State Technical University. 2016. - pp. 227-236.

ТҮЙІН

Жұмыс динамикалық жүйелерді минималды іске асыру мәселелерін зерттеуге арналған. Жүйенің ену және шығу нысандарында анықталған жүйенің алғашқы ұғымына сүйене отырып,

жүйенің әртүрлі жүзеге асырылуына және әртүрлі кеңістіктік күйлерге келуге болады. Динамикалық жүзеге асырулар мен күйлер кеңістіктерінің алуан түрлілігіне байланысты белгілі бір мағынада «минимал» болатын күйлер кеңістігін табу есебі мен берілген жүйе туралы алғашқы ақпарат негізінде осындай кеңістікті тұрғызуға мүмкіндік беретін алгоритмді құрастыру есебінің тәжірибелік маңыздары өте жоғары болғандықтан осы тұрпаттағы есептерді қарастырамыз. Алдымен минимализм ұғымы талданады. Әрі қарай әртүрлі көмекші функцияларды және сәйкес жүйелердің көрсетілімдерін тұрғызу үшін, сонымен қатар жалпы уақыт жүйесін күйлер кеңістігінде құру үшін оларды қайсыбір тұрғызу процедурасында қолдану үшін төмендегі алынған нәтижелерді қалай байланыстыру керектігі көрсетіледі.

Эквиваленттіліктің әр класында белгілі бір тәртіп қатынасы енгізіліп, іске асырудың минималдылығы анықталады. Сондай-ақ кеңістікте канондық көріністер мен динамикалық жүйелердің күйлерін жүзеге асыру мәселелері қарастырылады. Мақала негізінен теориялық мәнге ие. Алынған нәтижелер жаңа болып табылады және динамикалық жүйелерді зерттеуде пайдаланылуы мүмкін.

Динамикалық жүйелерді жүзеге асыру теориясында белгілі бір тәртіппен анықталған уақыт жүйесін динамикалық көрсетілуінің бар болуы туралы мәселе зерттеледі. Әдетте уақыт жүйесі өзінің ρ реакциялар үйірімен беріледі, және жүзеге асыру теориясының есебі φ күйлердің көшу функцияларының үйірі мен $(\bar{\rho}, \bar{\varphi})$ жұбы оның динамикалық жүзеге асырылуы болатын S уақыт жүйесі бар-жоқтығын анықтауға келіп тіреледі. Біздің жұмысымызда динамикалық жүйелердің жүзеге асырылымдылық мәселелері, динамикалық жүйелердің канондық көрсетілімі мен күйлер кеңістігіндегі көрсетілімі, сонымен қатар минимал жүзеге асыру мәселелері қарастырылады.

УДК 51.72
МРНТИ 27.35.14

Уразғалиева Акмарал Ниязовна, магистр математики, **негізгі автор**, <https://orcid.org/0000-0003-0891-8986>

НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», г. Уральск, ул. Жангир хана, 51, 090009, Казахстан, urazgalieva.akmaral@mail.ru

Urazgalieva Akmaral Niyazovna, Master of Mathematics; **the main author**, <https://orcid.org/0000-0003-0891-8986>

NJSC «West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan», Uralsk, st. Zhangir khan 51, 090009, Kazakhstan, urazgalieva.akmaral@mail.ru

ЛИНЕЙНЫЕ УРАВНЕНИЯ И МОДЕЛИ СООБЩАЮЩИХСЯ ЦИЛИНДРОВ LINEAR EQUATIONS AND MODELS OF COMMUNICATING CYLINDERS

Аннотация

Основной целью статьи является распространение принципов и методов линейной алгебры на задачи аналитической механики. В экономических исследованиях можно найти эффективные приложения принципов аналитической механики. Некоторые, в большинстве случаев известные, экономико-математические модели приводят к задачам о равновесии того же типа, что и задачи рассматриваемые в аналитической механике [1-4].

Применение общих принципов аналитической механики приводит к мысли о возможности изучать методами этих наук поведение любых материальных систем. Следствиями этих принципов являются основные результаты теории линейных уравнений. В математическом образовании инженера линейные уравнения, как один из разделов, входящий в обязательную вузовскую программу курса высшей математики, имеет большое научно-методическое значение [5, 6].