

УДК 514.19

С. А. Зори, О. А. Криводубский

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Донецкий национальный технический университет», г. Донецк  
83001, г. Донецк, ул. Артёма, 58

## ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И ОТОБРАЖЕНИЕ АЛГОРИТМОВ МНОГОУРОВНЕВЫХ СИСТЕМ УРАВНЕНИЯ КАК ОБРАЗОВ

S. A. Zori, O. A. Krivodubsky

State Educational Institution of Higher Education "Donetsk national technical University", Donetsk city  
83001, Donetsk, Artema str., 58

## REPRESENTATION AND DISPLAY OF ALGORITHMS MULTILEVEL SYSTEMS OF EQUATIONS AS IMAGES

Для стран СНГ модернизация производственных мощностей сопровождается поставкой многоуровневых систем управления процессами и производствами, которые созданы для условий нормализации сырьевых материалов и стабильным портфелем заказов. В отечественных реалиях эти условия не соблюдаются, что определяет необходимость адаптации поставленных систем управления. Предложены правила, которые позволят оценить недостаточность обеспечения систем управления и получить исходный материал, определяющий объем адаптации алгоритмов и программ. Для оценок предлагается реализовать отображения исходных и требуемых алгоритмов систем управления в виде образов трёхпортового пространства.

**Ключевые слова:** трёхпортовый алгоритм, система управления, многоуровневый, функционал, эквивалентность.

For the CIS countries, the modernization of production facilities is accompanied by the delivery of multi-level process and production management systems that are designed for the normalization of raw materials and a stable portfolio of orders. In domestic realities, these conditions are not met, which determines the need to adapt the management systems set. Rules are proposed that will allow us to assess the insufficiency of control systems and obtain the source material that determines the amount of adaptation of algorithms and programs. For estimates, it is proposed to implement the mapping of the source and required algorithms of control systems in the form of images of a three-port space.

**Key words:** three-port algorithm, control system, multi-level, functional, equivalence.

## Введение

Техническое перевооружение отечественных предприятий, наряду с модернизацией имеющегося оборудования производственных цехов, предусматривает закупку технологического оборудования более современных и эффективных производств за рубежом. В современной практике поставляемое технологическое оборудование предусматривает и поставку систем управления, реализованных на компьютерной технике различной конфигурации, зависящих от решаемых задач. При этом автоматические и автоматизированные системы реализуются как многоуровневые, соответствующие структуре поставляемого технологического оборудования и в соответствии с условиями экономических, организационных и технологических задач, базируются на многосвязной вычислительной сети с условиями выдачи управляющих решений от верхнего уровня к последующим и контроля исполнения управляющих воздействий от нижнего уровня к верхнему. Поставляемое математическое и программное обеспечение новых технологий разработано для условий, предусматривающих стабильную, нормализованную организацию производства. В первую очередь это относится к нормализации физико-химических свойств сырьевых продуктов, закупаемых для производства. С экономической точки зрения ведущую роль играет стабильность договоров на поставку продукции, их объема и единообразия, а также возможности обеспечения производства продукции и закупки сырья достаточным объемом оборотных средств.

Перечисленные условия нормализации сырья и стабильности экономических показателей лежат в основе эксплуатационных характеристик поставляемого с оборудованием комплекса вычислительных устройств, математического и программного обеспечения многоуровневой системы управления производственным цехом. Такие системы управления рассматриваются как структуры с полной информацией об объекте и содержат фиксированные алгоритмы, определяющие стабильную работу цехового оборудования в стационарных условиях.

Следует отметить, что в современной практике предприятий СНГ отсутствуют условия, обеспечивающие эффективное функционирование поставляемых с технологическим оборудованием систем управления. В первую очередь это относится к технологическим условиям, так как нет нормализации физико-химических свойств исходных сырьевых продуктов, что приводит к необходимости учитывать нестационарный характер технологических процессов, возникающий при отклонении свойств сырья от нормированных характеристик.

Нарушение экономических предпосылок эффективного управления производством связано с нестабильностью характеристик заказов на продукцию, при которой объемы заказов меняются на каждый плановый период месяца. Кроме того, в практике стран СНГ предприятия авансируют налоги по итогам предыдущего месяца, что приводит к дефициту оборотных средств на вторую половину планового периода – месяца.

Изложенные проблемные вопросы определяют постановку задач в данной работе.

Предлагается сформировать трехмерные образы систем управления, поставляемых с технологией, и образы технологических и производственных объектов в пятиуровневой системе управления. На основании этих образов предлагается создать их отображение на образы, отражающие технологические и технико-экономические реалии объектов управления в отечественных условиях. Это отображение позволит выделить различия образов систем управления в поставленном математическом и программном отображениях и определить свойства объектов систем управления, которые необходимо адаптировать к существующим, то есть дать возможность оценить систему, как имеющую неполную информацию об объекте управления и определить пути получения информации, что позволит настроить существующие алгоритмы систем управления.

## Правила формализации систем управления, как образов

В основе правил лежит предоставление систем управления в трёхортном пространстве (Фельдбаум) и классификация составляющих общецеховую, многоуровневую систему на образы уровней этой системы (О.А. Криводубский). На основании этих правил формируются образы систем управления предложенных в математическом и программном обеспечении поставляемых технологий. Методика предусматривает определение степени полноты информации в этих системах, классифицируемых как системы с полной информацией об объекте и реализованных с жёсткими фиксированными алгоритмами и программами, предусматривающими нормализацию свойств сырьевых продуктов, задаваемых в производство (технология), и стабилизацию оборотных средств предприятия, достаточных для экономического обеспечения производственных потребностей.

Последующие правила предлагаемой методики основаны на формировании образов систем управления, соответствующих неформализованным показателям сырьевых продуктов (технология), и недостаточности финансового обеспечения производства. Такие образы представляют системы управления с неполной информацией об объекте управления, свойственные предприятиям СНГ.

Методика предусматривает отображение исходных, нормализованных образов (первая группа) на современные образы, характеризующие деятельность предприятий СНГ с неполной информацией об объекте управления (вторая группа образов). На основании отображений определяется степень полноты информации и совокупность показателей, которую необходимо учесть для корректировки математического и программного обеспечения, поставляемого с технологией.

Введенное [ ] представление систем управления в трёхортном пространстве основывается на трёхкоординатном закреплении в осях X – характеристики объекта управления, И – информация о значениях показателей и T – требования к объекту управления (ХИТ). Согласно этого образ системы управления может быть представлен в виде  $W = W(XИТ)$ .

Рассматривая современные системы управления как пятиуровневую систему – предприятие, цех, передел, производственный участок, содержащую системы управления на каждом уровне, реализованную на компьютерах различной конфигурации, можно образованную систему управления представить в виде:

$$W_1(XИТ) = \bigcup_i W_i(XИТ),$$

$$i = 1, 5$$

где  $i$  – номер уровня.

Рассматривая координаты пространства ХИТ в классическом представлении, следует отметить, что по оси координаты, представляющей собой векторы (матрицы) входных переменных  $x$ , выходных переменных  $y$ . Координаты оси И содержат значения переменных  $x$ ,  $y$ , которые либо задаются, либо измеряются. Тогда в плоскости ХИ возможно осуществлять параметрическую идентификацию моделей, позволяющих рассчитывать зависимости вида  $\bar{y} = f(\bar{x}, \bar{B})$ , где  $B$  – вектор параметров моделей. Координаты оси T содержат формализованные цели управления в виде функционалов  $\bar{I}$ . Тогда фигура, отображённая в плоскости ИТ, отображает уравнение функционалов  $\bar{I}$  с обученными программой идентификации параметрами. Фигура в плоскости ТИ

отображает функционалы  $\bar{I}$  и систему ограничений, представленную параметризованными моделями. Таким образом, система управления в пространстве ХИТ при введении ортонормирования может представляться объемом в виде некоторой фигуры прямоугольного параллелепипеда. Комбинируя изложенное представление системы управления с классическим описанием можно сформировать образы систем управления каждого из пяти уровней, характеризующие системное обеспечение современных систем, поставленных с закрепленными технологическими решениями предприятий и цехов. Такое представление позволит сформировать образы, как эталоны, которые необходимо сопоставлять с отечественными экономическими и технологическими особенностями. Это сопоставление позволяет определять возможные варианты адаптации поставляемых систем.

Исходя из предложенной методики, представлено каждый образ-эталон в пятиуровневой производственной системе.

В современных условиях СНГ период планирования месяц. Расчёт плана осуществляется, исходя из предварительной заявки и предоплаты. При составлении производственной программы на месяц, как правило на первом уровне (предприятия) задействованы от 3 до 5 отделов заводууправления. Основными являются производственный, плановый и финансовый отделы, в которых реализованы свои модели и программы планирования. Тогда образ системы первого уровня может быть представлен как сочетание функций перечисленных отделов:

$$W_1 = \bigcup_j W_1^j, \quad W_1^j \cap W_1^{j+1} \neq \emptyset,$$

где  $j$  – номер отдела  $j = \overline{1,3}$ .

Рассмотрим содержание образа каждого отдела:  $W_1^1 = W_1^1(X_1^1, Y_1^1, J_1^1)$  – для производственного отдела. Вектор входных переменных  $X_1^1$  содержит: номер заказа на продукцию, название продукции, название Заказчика, количество продукции, цену и стоимость каждого заказа.

Вектор выходных переменных  $Y_1^1$  содержит: наименование готовой продукции и количество, выпускаемое за данные сутки, номер цеха, производящего продукцию, или номер продукции при последовательном движении в цехах, вид и количество сырья, необходимого для выпуска продукции. В качестве функционала цели этой системы  $J_1^1$  может выступать максимальный выпуск продукции. Результаты функционирования образа  $W_1^1$  поступают в систему планового отдела, формируя образ  $W_1^2$ . В качестве вектора входных переменных  $X_1^2$  выступают показатели планового выпуска количества готовой продукции – выходные показатели образа  $W_1^1$ .

Выходные переменные образа  $W_1^2$  содержат рассчитанные показатели себестоимости выпуска планового объема продукции.

Функционал цели  $\mu_1^2$  – выпуска продукции с минимальными затратами. Тогда образ, формируемый в плановом отделе, имеет вид:  $W_1^2 = W_1^2(X_1^2, Y_1^2, J_1^2)$ .

Рассчитанные показатели образов  $W_1^1$  и  $W_1^2$  поступают в финансовый отдел, формируя образ  $W_1^3$ .

В качестве входных показателей  $X_1^3$  выступают приход и расход финансовых средств от поступивших заказов, производства и реализации продукции. Выходные показатели этого образа – баланс финансового обеспечения производственной программы, расчет которой поступает из  $W_1^2$ . Тогда  $W_1^3 = W_1^3(X_1^3, Y_1^3, J_1^3)$ . В качестве функционала  $J_1^3$  выступает цель получения максимального дохода или прибыли. Перечисленные особенности функционирования образов могут, при необходимости, дополняться образом  $W_1^4$ , характеризующим функции ремонта и межремонтного обслуживания.

Формирование эталонов-образов второго – четвертого уровней  $W_2, W_3, W_4$  аналогично изложенному. Отличие заключается в интервалах квантования для цехов с непрерывным характером производства. Кроме этого в образах  $W_2 - W_4$  выходные переменные устанавливают очередь передачи материалов по производственным подразделениям до изготовления готовой продукции и передачи её на склад.

Система управления пятого уровня и ее образ  $W_5$  в качестве входных переменных содержит технологические режимы, зачастую непрерывного или дискретно-непрерывного характера, а выходные переменные этого уровня определяются с помощью динамических математических моделей и методов их численного решения. При этом функционалы цели для управления технологическим процессом эталонных образов содержат фиксированные требования стандартов и технических условий, призванных реализовать стабильность протекания процессов.

В качестве входных переменных  $\overline{X_5}$  выступают физико-химические свойства сырьевых материалов, нормализованные показатели режимов производственного процесса, энергия и температурные показатели, ограничивающие её расходование, расход воды, газа, вспомогательных материалов.

Выходные показатели  $\overline{Y_5}$  содержат стандартные, нормативные значения готовой продукции, количество затраченной энергии и вспомогательных материалов, время основной технологической операции, осуществляемой на этом агрегате, время технологических циклов, их количество за смену. Эталонный образ этой системы управления имеет вид:

$$W_1^5 = W_1^5(X_1^5, Y_1^5, B_1^5, J_1^5).$$

$B_1^5$  – вектор рассчитанных и нормативных параметров.

Аналогично изложенным правилам методики для современных условий, влияющих на экономическую и технологическую составляющие поставленного математического и программного обеспечения систем управления производственными подразделениями, можно представить образы, содержащие реальные условия современных предприятий СНГ.

Формируются образы систем управления, характеризующие современные условия технико-экономической деятельности предприятий СНГ:

$$W_1^* = \bigcup_j W_1^{j*}, W_1^{j*} \cap W_1^{(j+1)*} \neq \emptyset,$$

$$W_1^{1*} = W_1^{1*}(X_1^{1*}, Y_1^{1*}, J_1^{1*}),$$

$$W_1^{2*} = W_1^{2*}(X_1^{2*}, y_1^{2*}, J_1^{2*}),$$

$$W_1^{3*} = W_1^{3*}(X_1^{3*}, y_1^{3*}, J_1^{3*}).$$

Последовательно определяются отображения этих образов на эталонные. Результатом отображения являются объёмы прямоугольных фигур с их показателями.

$$RW_1^1 = W_1^1(X_1^1, y_1^1, J_1^1) - W_1^{1*}(X_1^{1*}, y_1^{1*}, J_1^{1*}),$$

$$RW_1^2 = W_1^2(X_1^2, y_1^2, J_1^2) - W_1^{2*}(X_1^{2*}, y_1^{2*}, J_1^{2*}),$$

$$RW_1^3 = W_1^3(X_1^3, y_1^3, J_1^3) - W_1^{3*}(X_1^{3*}, y_1^{3*}, J_1^{3*}).$$

Эти разностные фигуры позволяют оценить степень неполноты информации в обеспечении поставляемых с новой технологией систем управления.

Показатели  $RW_1^3$  характеризуют дефицит оборотных средств предприятия, предназначенных для закупки исходных сырьевых материалов, производственных расходов и выплаты налогов.

$RW_1^2$  позволяет оценить уровень достаточности объемов заказов на производство продукции, удовлетворяющий показатели себестоимости продукции.

$RW_1^1$  даёт возможность определить достаточность уровня загрузки производственного оборудования. При необходимости можно детализировать компоненты  $x$ ,  $y$ ,  $J$  образов  $W_1$  и  $W_1^*$ .

Формализация предполагает оценку эквивалентности составляющих векторов (матриц)  $X$ ,  $Y$ .

Определение эквивалентности компонент векторов (матриц) переменных  $X$ ,  $Y$  подразумевается в семантическом (название поставщика сырья, вид сырья, потребителя), нумерологическом (номер заказа на сырьё и готовую продукцию), числовом (количество сырья, готовой продукции, их цена и стоимость) и логическом (привязка количества к названиям сырья, готовой продукции, стоимости и цены заказов, количеству оборотных средств).

При определении эквивалентности множеств, характеризующих показатели  $x$ ,  $y$ ,  $J$  в образах и их отображениях, выделяются неэквивалентные подмножества, которые и характеризуют неполноту информации в поставленном программном обеспечении.

Отображение образов второго – четвёртого уровней позволяет оценить технологические отклонения, вызванные отсутствием нормированных свойств сырья.

$$RW_2 = W_2(x_2, y_2, J_2, T_2) - W_2(x_2^*, y_2^*, J_2^*, T_2^*),$$

$$RW_3 = W_3(x_3, y_3, J_3, T_3) - W_3(x_3^*, y_3^*, J_3^*, T_3^*),$$

$$RW_4 = W_4(x_4, y_4, J_4, T_4) - W_4(x_4^*, y_4^*, J_4^*, T_4^*).$$

Это отображение показывает степень отклонения производственной программы от нормативов и технических условий, увеличение производственных циклов  $T$ .

Для детализации каждого  $W_2$  и  $W_2^*$ ,  $W_3$  и  $W_3^*$ ,  $W_4$  и  $W_4^*$  возможно покомпонентно определять эквивалентность множеств значений показателей, при этом

полученные неэквивалентные подмножества позволяют оценить нарушение ритма производства.

Наиболее сложным является отображение образов пятого уровня (технологических агрегатов):

$$RW_5 = W_5(x_5, y_5, B_5, J_5) - W_5(x_5^*, y_5^*, B_5^*, J_5^*).$$

Сложность заключается в том, что поставленное программное обеспечение характеризуется фиксированным алгоритмом как система управления с полной информацией об объекте управления, а в отечественных условиях свойство сырья не нормируется, что приводит к нестандартности технологических режимов и необходимости адаптировать алгоритм системы управления. При этом рассматривается алгоритм системы управления с неполной информацией об объекте и её образ содержит переменную времени, что создаёт множественность состояний и, соответственно, отображений  $RW_5$ .

## Выводы

Предлагаемые в статье методические правила позволяют оценивать соотношение алгоритмов систем управления, поставляемых с современным технологическим оборудованием, и алгоритмов, которые должны быть реализованы для управления экономико-производственной деятельностью предприятий СНГ. Представление алгоритмов систем управления в пятиуровневой производственной структуре в виде образов и их отображений может быть исследовано для обучения активной нейросети, на которой реализуются эти алгоритмы.

## Список литературы

1. Криводубский О. А. Методология, определяющая правила разработки моделей и алгоритмов систем управления в условиях информационной и технологической трансформации [Текст] / О. А. Криводубский // Международный рецензируемый научно-теоретический журнал «Проблемы искусственного интеллекта». – 2020. – № 1 (16). – С. 18–27.
2. Криводубский О. А. Метод эквивалентных отображений в алгоритмах систем управления [Текст] / О. А. Криводубский // Информатика и кибернетика. – 2018. – № 2(20). – С. 48–53.
3. Криводубский О. А. Представление систем управления в функциональных пространствах [Текст] / О. А. Криводубский // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія Обчислювальна техніка та автоматизація. – 2003. – Вип. 64. – С. 205–211.
4. Криводубский О. А. Обобщенное представление систем управления [Текст] / О. А. Криводубский // Искусственный интеллект. – 2003. – № 1 – С. 62–66.
5. Криводубский О. А. Задачи планирования и управления в многоуровневых системах [Текст] / О. А. Криводубский // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2004. – № 125. – С. 98–106.
6. Криводубский О. А. Задачи и функционалы управления предприятием [Текст] / О. А. Криводубский // Научные работы Донецкого национального технического университета. Серия: Вычислительная техника и автоматизация. – 2004. – Вип. 74. – С. 233–240.
7. Криводубский О. А. Обобщенное представление задач управления производством [Текст] / О.А. Криводубский // Искусственный интеллект. – 2005. – №4. – С. 489–497.

## References

1. Krivodubsky O. A. Metodologiya, opredelyayushchaya pravila razrabotki modeley i algoritmov sistem upravleniya v usloviyakh informatsionnoy i tekhnologicheskoy transformatsi [Methodology that defines the rules for developing models and algorithms of control systems in the conditions of information and technological transformation]. *Mezhdunarodnyy retsenziruyemyy nauchno-teoreticheskiy zhurnal «Problemy iskusstvennogo intellekta»* [Problems of Artificial Intelligence], No. 1 (16), pp. 18-27.

2. Krivodubsky O. A. Metod ekvivalentnykh otobrazheniy v algoritmakh sistem upravleniya [Method of equivalent mappings in algorithms of control systems]. *Informatika i kibernetika* [Informatics and Cybernetics], 2018, No. 2(20), pp. 48-53.
3. Krivodubsky O. A. Predstavleniye sistem upravleniya v funktsional'nykh prostranstvakh [Representation of control systems in functional spaces]. *Naukovi pratsi Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Seriya Obchyslyvalnaya tekhnika ta avtomatyzatsiya* [Scientific works of Donetsk National Technical University. Series Computer technology and automation] 2003, Vip. 64. pp. 205-211.
4. Krivodubsky O. A. Obobshchennoye predstavleniye sistem upravleniya [Generalized representation of control systems]. *Iskusstvennyy intellekt* [Artificial intelligence], 2003, No. 1, pp. 62-66.
5. Krivodubsky O. A. Zadachi planirovaniya i upravleniya v mnogourovnevnykh sistemakh [Problems of planning and management in multilevel systems] *Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya i pribory avtomatiki* [Automated control systems and automation devices], 2004, No. 125, pp. 98-106.
6. Krivodubsky O. A. Zadachi i funktsionaly upravleniya predpriyatiyem [Tasks and functions of enterprise management] *Nauchnyye raboty Donetskogo natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Vychislitel'naya tekhnika i avtomatizatsiya* [Scientific works of Donetsk national technical University. Series: Computer engineering and automation], 2004, Vip. 74, pp. 233-240.
7. Krivodubsky O. A. Obobshchennoye predstavleniye zadach upravleniya proizvodstvom [Generalized representation of production management tasks]. *Iskusstvennyy intellekt* [Artificial intelligence], 2005, No. 4, pp. 489-497.

## RESUME

*S. A. Zori, O. A. Krivodubsky*

### *Representation and Display of Algorithms Multilevel Systems of Equations as Images*

The proposed method is based on the representation of the control system in a three-port space. The mathematical and software of the control system in this representation is characterized by a certain figure, and in the orthonormal space by a rectangular parallelepiped. Methodically presented figure is considered as an image. The paper suggests comparing the image of the management system that accompanies modern technological equipment with the image that reflects the technological and economic realities of CIS enterprises. With this difference mapping, it is possible to identify incomplete information about the control object and determine possible options for developing algorithms and software adapted to the conditions of technological and economic fluctuations of domestic enterprises.

## РЕЗЮМЕ

*С. А. Зори, О. А. Криводубский*

### *Представление и отображение алгоритмов многоуровневых систем уравнения как образов*

В основу предлагаемой методики положено представление системы управления в трёхортном пространстве. Математическое и программное обеспечение системы управления в таком представлении характеризуется некой фигурой, а в ортонормальном пространстве прямоугольным параллелепипедом. Методически представленная фигура рассматривается как образ. В работе предлагается по образу системы управления, сопровождающей современное технологическое оборудование, сопоставлять его с образом, отображающим технологические и экономические реалии предприятий СНГ. При таком разностном отображении возможно выявить неполноту информации об объекте управления и определить возможные варианты разработки алгоритмов и программного обеспечения, адаптированные к условиям технологических и экономических флуктуаций отечественных предприятий.

Статья поступила в редакцию 27.03.2020.