

УДК 519

О. А. Криводубский

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

МЕТОДОЛОГИЯ, ОПРЕДЕЛЯЮЩАЯ ПРАВИЛА РАЗРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ИНФОРМАЦИОННОЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

О. А. Krivodubsky

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

METHODOLOGY THAT DEFINES THE RULES FOR DEVELOPING MODELS AND ALGORITHMS FOR CONTROL SYSTEMS IN THE CONTEXT OF INFORMATION AND TECHNOLOGICAL TRANSFORMATION

О. А. Криводубський

Державна освітня установа вищої професійної освіти
«Донецький національний технічний університет», м. Донецьк
83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58

МЕТОДОЛГІЯ, ЩО ВИЗНАЧАЄ ПРАВИЛА РОЗРОБКИ МОДЕЛЕЙ І АЛГОРИТМІВ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ В УМОВАХ ІНФОРМАЦІЙНОЇ І ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

В статье рассмотрены правила, определяющие содержание и постановку задач управления в виде пятиуровневой системы. Система вмещает в себя решение технико-экономических задач на первом уровне и оптимальное управление технологическими процессами на пятом уровне.

Ключевые слова: уровень, модель, критерий, алгоритм, решение, поиск, численная процедура.

The article considers the rules that determine the content and formulation of management tasks in the form of a five-level system. The system includes the solution of technical and economic problems at the first level and optimal process management at the fifth level.

Keywords: level, model, criterion, algorithm, solution, search, numerical procedure.

У статті розглянуті правила, що визначають зміст і постановку завдань у вигляді п'ятирівневої системи. Система складається з вирішення техніко-економічних завдань на першому рівні та оптимального керування технологічними процесами на п'ятому рівні.

Ключові слова: рівень, модель, критерій, алгоритм, вирішення, пошук, чисельна процедура.

Введение

В современной практике разработка алгоритмов систем управления опирается на многоуровневость подразделений и служб управления в задачах АСУП, которые поддерживаются задачами АСУТП.

Согласно этому можно привести оценочную таблицу соотношений решаемых задач. На предприятиях можно выделить пять уровней:

- 1 уровень – предприятие в целом, в совокупности решаемых задач.
- 2 уровень – производственные цеха.
- 3 уровень – передельные цехов.
- 4 уровень – производственные участки.
- 5 уровень – технологические агрегаты.

В соответствии с этой иерархией оценочное соотношение решаемых задач представлено табл. 1.

Таблица 1 – Соотношение задач АСУП и АСУТП

Доля решаемых задач %	Уровни				
	1	2	3	4	5
АСУП	97 – 99	94 – 96	60 – 65	40 – 45	5 – 10
АСУТП	1 – 3	4 – 6	35 – 40	55 – 60	90 – 95

Постановки многоуровневых задач управления

В перечень задач, решаемых на 1-м уровне, входят функциональные особенности служб управления предприятием. Как правило, основные задачи этих служб:

- формирование портфеля заказов;
- планирование заданий производственным цехам;
- материальное и финансовое обеспечение;
- оборачиваемость средств;
- управление налогами;
- техническое обеспечение;
- ремонт и межремонтное обслуживание;
- модернизация оборудования.

Физическая постановка задачи управления при формировании портфеля заказов может быть сформулирована следующим образом: определить позиции портфеля заказов таким образом, что общий доход от реализации производственной продукции был максимальным. Тогда формальная постановка задачи имеет вид:

$$J'_1 = F(\bar{x}', \bar{y}', \bar{z}') \rightarrow \max_{\bar{x}', \bar{y}', \bar{z}'} \quad (1)$$

Нижний индекс функционала означает уровень (первый), верхний – номер задачи этого уровня.

Решение задачи (1) представлено вектором \bar{x}' :

$$\bar{x}' = \{x'_1, x'_2, x'_3, x'_4, x'_5\},$$

где x'_1 – потребитель, x'_2 – вид продукции, x'_3 – цена, x'_4 – количество, x'_5 – стоимость, \bar{y}' – объем реализованной продукции, \bar{z}' – доход от реализации объема.

Функционал (1) целесообразно дополнить уравнениями математической модели прогноза, вида

$$\bar{y}' = f(x'_1, x'_2, x'_4) \quad Z' = f(x'_1, x'_2, x'_3, x'_4, x'_5)$$

В условиях достаточно высокого уровня конкуренции постановка задачи может быть дополнена аналогичными показателями конкурентов.

Оптимальным решением задачи (1) будет вектор (матрица), что содержит наилучшие значения $L = (\bar{x}^*, \bar{y}^*, \bar{z}^*)$ позиций портфеля заказов. На сегодня существует достаточно большое количество предприятий, у которых формированием портфеля заказов ведаёт менеджерская фирма-надстройка. Для этого случая постановка задачи (1) столь же действенна.

Планированием производства ведают планово-производственные службы предприятия (пользователи). Разработанный ими план содержит показатели: что, где когда, какой ценой, будет произведено определяющие загрузку производственных мощностей предприятия во всей совокупности производственных цехов. Кроме этого службы определяют потребности в сырьевых материалах и комплектующих, как составных частей готовой продукции.

Постановка этой задачи: определить очередность выполнения позиций портфеля заказов $L = (\bar{x}^*, \bar{y}^*, \bar{z}^*)$ таким образом, чтобы себестоимость выпуска продукции была минимальной. Формально эта постановка представлена функционалом вида (2).

$$J_1^2 = F(\bar{x}_1^2, \bar{y}_1^2, \bar{z}_1^2, \bar{T}_1^2, \bar{S}_1^2, \bar{A}_1^2) \rightarrow \min, \quad (2)$$

$\bar{x}_1^2 = \{x_2^1, x_4^1\}$, $\bar{y}_1^2 = \{\bar{y}_{1k}^2\}$ – объёмы каждого вида $K_{\bar{u}}$ продукции, \bar{L}_1^2 – производственная цеха $\bar{L}_1^2 = \{\bar{L}_{1m}^2\}$, \bar{T}_1^2 – текущий период (сутки), \bar{S}_1^2 – себестоимость (затратный механизм) $\bar{S}_1^2 = \{\bar{S}_{1k}^2\}$, $\bar{A}_1^2 = \{\bar{A}_{1n}^2\}$ – количество сырья.

Функционал вида (2) целесообразно дополнить математическими моделями прогноза.

Физические показатели плана влияют друг на друга, поэтому модели могут быть представлены квадратичными полиномами:

прогноза количества

$$\bar{y}_{1k}^2 = bo + \sum_{i=1}^{\mu} bix_{2i}^2 + \sum_{i=1}^{\mu} \sum_{\sigma=1}^{\eta} bix_{2i}^1 x_{2j}^1,$$

прогноза загрузки цеха

$$\bar{L}_{1m}^2 = bo + \sum_{i=1}^{\mu} bix_{2i}^1 + \sum_{i=1}^{\mu} \sum_{\sigma=1}^{\eta} bix_{2i}^1 x_{2j}^1,$$

план на сутки

$$\bar{T}_{1m}^2 = bo + \sum_{i=1}^{\mu} bix_{2i}^1 + \sum_{i=1}^{\mu} \sum_{\sigma=1}^{\eta} bix_{2i}^1 x_{2j}^1,$$

себестоимость

$$\bar{S}_{1k}^2 = bo + \sum_{i=1}^{\mu} biS_{1k}(x_{2i}^1) + \sum_{i=1}^{\mu} \sum_{\sigma=1}^{\eta} bij S_{1k}(x_{2i}^1) S_{1k}(x_{2j}^1).$$

Период планирования на предприятии имеет в глубину один месяц. Разбивка плановых заданий на сутки может осуществляться как на первом, так и на втором уровнях управления (в цехах) с последующим согласованием позиций. Решением задачи (2) будет вектор, содержащий оптимальные значения показателей, т.е.

$$\bar{U}_1^2 = \{\bar{x}_1^{2*}, \bar{y}_1^{2*}, \bar{L}_1^{2*}, \bar{T}_1^{2*}, \bar{S}_1^{2*}, \bar{A}_1^{2*}\}.$$

Приведенная выше постановка задачи планирования актуальна, т.к. на предприятиях СНГ энергозатраты (себестоимость) в 3 – 3,5 раза выше, чем в развитых странах.

Задачи (1) и (2) предполагают рассмотреть деятельность предприятия как стационарный процесс, описываемый регрессионными полиномами. В современных условиях деятельности предприятий возникают коллизии двух видов: возникновение новых заказов в течение планового периода или срыв плановых заданий в результате отказов оборудования или отключения энергии.

В обоих случаях эта ситуация может рассматриваться как нестационарный процесс и с соответствующими допущениями описываться системой нелинейных дифференциальных уравнений вида:

$$\leftarrow \forall L_1^2 \exists \frac{d\bar{y}_1^2}{dt} = f(\bar{d}, \bar{x}_1^2, \bar{y}_1^2, \bar{L}_1^2, \bar{T}_1^2, \bar{S}_1^2, \bar{A}_1^2),$$

$$\frac{d\bar{L}_1^2}{dt} = f(\bar{d}, \bar{x}_1^2, \bar{y}_1^2, \bar{L}_1^2, \bar{T}_1^2, \bar{S}_1^2, \bar{A}_1^2),$$

\bar{L} – параметры модели.

Решение этих уравнений выполняет роль корректировок месячного плана. При этом возникающие невязки «план – факт» выполняют назначение начальных условий задачи Коши для приведенной системы уравнений. Для сформированного плана, подчинённого J_1^2 , необходимо решить задачи материального и финансового обеспечения производства. Физическая постановка задачи материального обеспечения аналогична задаче J_1^1 .

Назначение этой задачи – обеспечить предприятие необходимым сырьём и комплектующими, определяющими выполнение планового заказа. Пользователи этой подсистемы – менеджеры службы снабжения предприятия. Постановка задачи заключается в следующем: определить оптимальные значения портфеля заказов на поставку сырья и материалов таким образом, чтобы сумма затрат на их приобретение была минимальной.

Формальная постановка задачи:

$$J_1^3 = F(A_1^{2*}, C_1^{3*}) \rightarrow \min, \quad (3)$$

C_1^{2*} – стоимость сырья.

Решением этой задачи является вектор $u_1^3 = \{A_1^{2*}, C_1^{3*}\}$, обеспечивающий минимум затрат на сырьё и материалы.

Задача финансового обеспечения физически формулируется следующим образом: определить объём финансов, необходимый для выполнения плановых позиций таким образом, чтобы сумма заёмных средств (кредита) была минимальна.

Формальная запись этой задачи:

$$J_1^4 = F(\bar{A}_1^{2*}, C_1^{2*}, D_1^4) \rightarrow \min, \quad (4)$$

D_1^4

D_1^4 – заёмные средства.

Оптимальным решением этой задачи будет вектор $u_1^4 = \{A_1^{2*}, C_1^{2*}, D_1^{4*}\}$.

В современных условиях, когда налоговые отчисления авансируются в счёт будущих доходов, эта задача актуальна. В современном мире кредитование производственных программ предусмотрено для всех предприятий, производящих продукцию.

Для больших производственных корпораций, обладающих собственным банком, эта задача может совмещаться с постановкой задачи оптимального управления процессом кредитования. В существующей практике дефицита оборотных средств решение задачи управления оборачиваемости средств является едва ли не самой актуальной. Постановка задачи: определить оптимальные показатели оборота средств, вкладываемых в закупку сырья при производстве продукции таким образом, чтобы сроки оборачиваемости были минимальны.

Формальная постановка задачи:

$$J_1^5 = F(\bar{A}_1^{2*}, \bar{C}_1^{2*}, \bar{T}_1^{2*}, \bar{y}_1^{2*}, \bar{K}_1^{2*}, \bar{TK}_1^{2*}) \rightarrow \min, \quad (5)$$

В силу того, что процесс оборачиваемости средств зависит от времени, т.е. является нестационарным, модели прогноза представлены системой дифференциальных, нелинейных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{d\bar{y}_1^5}{dt} &= f(\bar{A}_1^{2*}, \bar{C}_1^{2*}, \bar{T}_1^{2*}, \bar{y}_1^{2*}, \bar{K}_1^{2*}, \bar{TK}_1^{2*}) \\ \frac{d\bar{A}_1^5}{dt} &= f(\bar{A}_1^{2*}, \bar{C}_1^{2*}, \bar{T}_1^{2*}, \bar{y}_1^{2*}, \bar{K}_1^{2*}, \bar{TK}_1^{2*}) \\ \frac{d\bar{K}_1^5}{dt} &= f(\bar{y}_1^{2*}, \bar{TK}_1^{2*}). \end{aligned}$$

Физическая постановка задачи управления налогами может быть сформулирована следующим образом: определить условия и сроки выплаты предприятием налогов и сборов таким образом, чтобы суммы налогов были минимальны (в рамках законов и Положений фискальных служб).

Формальная постановка задачи:

$$J_1^6 = F(\bar{P}_1^6, \bar{T}_1^6, \bar{N}_1^6) \rightarrow \min. \quad (6)$$

Решением этой задачи в рамках законных ограничений является вектор $u_1^6 = \{\bar{P}_1^6, \bar{T}_1^6, \bar{N}_1^6\}$, определяющий суммы и сроки выплат налогов.

Задача управления техническим обучением решается службами главного инженера предприятия, где определяются технические условия выпуска новой продукции, необходимость модернизации производственных агрегатов и их замена. Постановка этой задачи: определить техническую политику предприятия таким образом, чтобы увеличить производительность оборудования.

Формальная постановка задачи:

$$J_1^7 = F(\bar{L}_1^6, \prod_1^6, G_1^6) \rightarrow \max. \quad (7)$$

Решение этой задачи сопровождается совокупностью технической документации, актов испытаний, технических условий. Для конкретного предприятия эта совокупность может быть отражена в ограничениях.

Постановка задачи ремонта и межремонтного обслуживания может быть сформулирована следующим образом: определить виды и сроки ремонтов и межремонтного обслуживания таким образом, чтобы суммарные затраты на эти работы были минимальны.

Такая постановка задачи существует в развитых странах, где эти работы выполняют специализированные сторонние организации. В условиях стран СНГ ещё существуют собственные службы главного механика и главного энергетика, которые выполняют большую часть работ. В соответствии с современными тенденциями формально рассматриваются исполнители сторонние и собственные. Тогда формальная постановка задачи имеет вид:

$$J_1^8 = F(L_1^8, R_1^8, SL_1^8, R_1^8) \rightarrow \min. \quad (8)$$

Решение этой задачи сопровождается уравнениями прогноза объёмов и сроков ремонтных работ, а также загрузки собственных служб и сторонних организаций с условиями оплаты.

Перечисленные задачи (1) – (8) отражают формальную сущность алгоритмов системы управления производственными показателями предприятия. Решение задач осуществляется с интервалом квантования сутки с выдачей плановых заданий цехам. Пользователи задач (1) – (8) – это, как правило, службы заводоуправления. Службы оснащаются вычислительной сетью радиально-кольцевого типа. Формально представленные задачи (1) – (8) могут быть описаны нейросетью. При последовательном решении задач могут возникнуть неантагонистические противоречия в конечных решениях подсистем. Эти противоречия решаются межкомпьютерным согласованием плановых показателей, после чего полученные плановые задания поступают в планово-производственные службы основных цехов, т.е. на второй уровень управления. Выработанное на первом уровне плановое задание на втором уровне дробится на интервалы, кратные времени смен, т.е. интервал квантования 6 – 8 часов.

Постановка задачи планирования на этом уровне может быть сформулирована следующим образом: определить плановые задания конкретной смене (бригаде) таким образом, чтобы количество простоев оборудования было минимальным. Формально эта задача представлена функционалом

$$J_2 = F(\bar{x}_2, \bar{y}_2, S\bar{M}_2) \rightarrow \min. \quad (9)$$

где $S\bar{M}_2$ – рабочие бригады (смены); \bar{x}_2 – плановое задание цехам на сутки, полученное из системы первого уровня; \bar{y}_2 – фактический выпуск продукции.

Решением задачи (9) является вектор $M(\bar{x}_2^*, \bar{y}_2^*, S\bar{M}_2^*)$, определяющий оптимальную загрузку подразделений цеха.

В рамках общецеховой системы управления производственные процессы рассматриваются как стационарные, поэтому задача (9) может быть дополнена системой нелинейных статистических моделей (полиномов) вида:

$$\bar{y}_2 = bo + \sum_{i=1}^n bi\bar{x}_{2i} + \sum_{i=1}^n \sum_{v=1}^m biv\bar{x}_{2i}\bar{x}_{2j}.$$

Эти модели могут выполнять роль ограничений задачи (9), а, кроме того, являются инструментом прогноза выходных показателей смены.

При сетевой организации системы управления второго уровня в вычислительную сеть цеха входят микропроцессоры и цеховые компьютеры; различают комплектации, на которых реализуются системы управления четвертого и пятого уровней. При разработке этих систем, особенно, если на пятом уровне находится агрегат, в котором осуществляются сложные физические или физико-химические превращения

(например, металлургическая печь) приходится учитывать сложные технические и экономико-технические коллизии. Экономико-технические заключаются в том, что предлагаемые вместе с технологическим оборудованием управляющие вычислительные комплексы ориентированы на нормализацию сырьевых материалов по физическим, физико-химическим и гранулометрическим показателям.

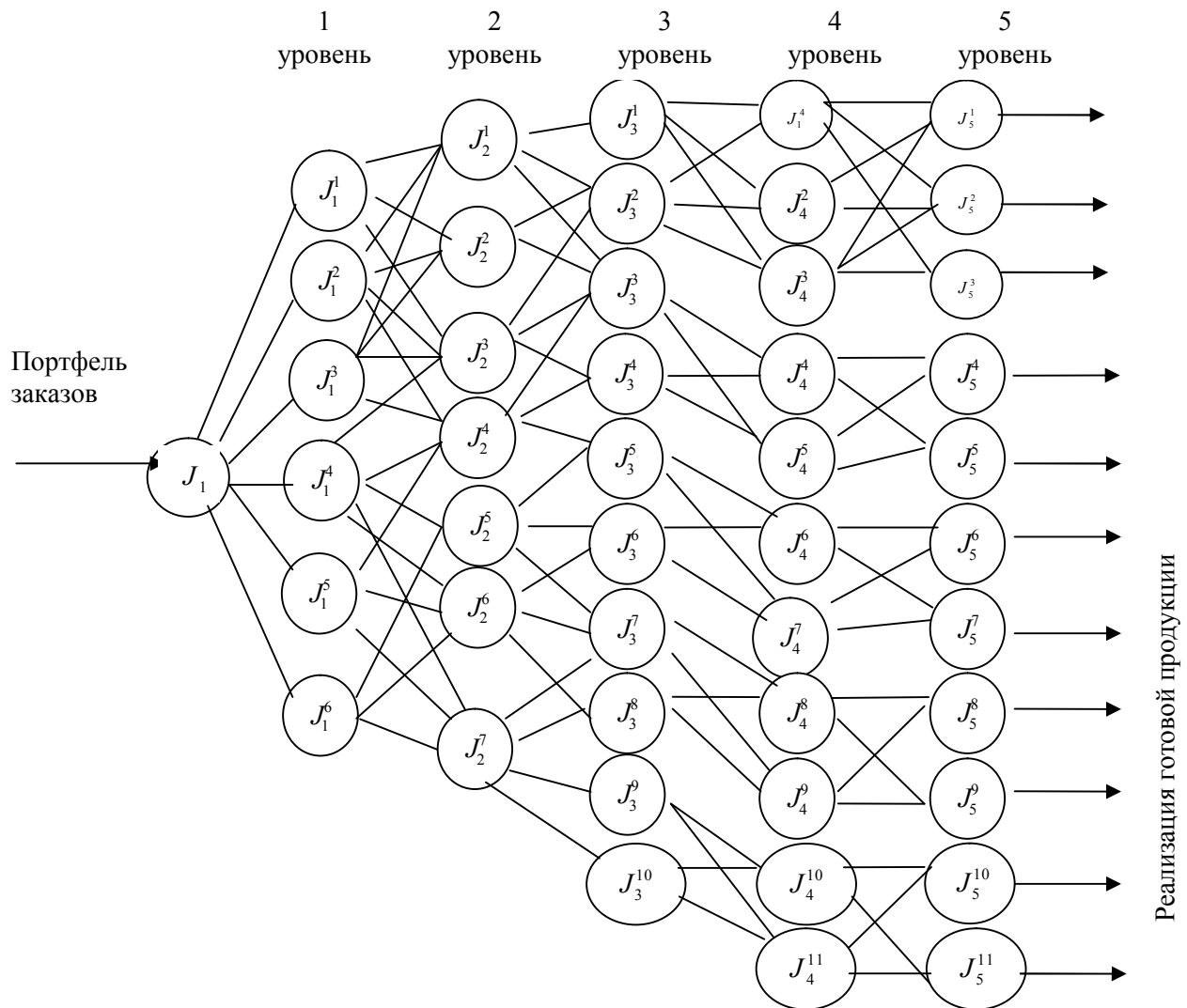


Рисунок 1 – Активная пятиуровневая нейросеть системы управления предприятием

Тогда согласно [1] мы получаем систему управления с полной информацией об объекте, которая управляет процессом по жёсткому, фиксированному алгоритму. При этом количество моделей-инструментария прогноза невелико, а вычислительные процедуры достаточно несложны. В практиках предприятий СНГ нормализация сырьевых материалов не производится. Отсюда следует, что в таких системах управления необходимо непрерывно определять численные значения входных, выходных, управляющих переменных и переменных состояния. В системах управления такого типа мы вынуждены рассматривать их как системы с неполной информацией об объекте. В этом случае усложняется инструментарий прогноза и требуется большое количество измерений переменных, позволяющих адаптировать модели и алгоритмы

систем управления. При этом возникают сложности технико-экономического характера, связанные со стоимостью комплекса технических средств системы. Так, если стоимость вычислительной техники с 1980 года стала меньше на 2 порядка, то стоимость датчиков, измерительных и коммутирующих устройств выросла на 3 – 4 порядка. Учитывая вышесказанное, в этом случае процессы, протекающие на 5 уровне, рассматриваются как нестационарные и инструментарий прогноза представлен системами нелинейных дифференциальных уравнений вида:

$$\begin{aligned}\frac{d\bar{y}_6}{dt} &= f(\bar{x}_6, \bar{y}_6, u_6, B) \\ \frac{d\bar{x}_6}{dt} &= f(\bar{x}_6, \bar{y}_6, u_6, B) \\ \frac{d\bar{u}_6}{dt} &= f(\bar{x}_6, \bar{y}_6, u_6, B),\end{aligned}$$

где B – вектор (матрица) параметров модели.

Выбор функционала цели и постановка задачи уравнения на 5 уровне варьируются в зависимости от характера процессов, протекающих на объектах управления. Следует отметить, что алгоритм системы управления нестационарными процессами должен содержать математические модели, численные процедуры их решения, численные методы параметрической идентификации, численные процедуры поиска экстремума функционала цели. Всё перечисленное предназначено для определения управляющих воздействий в реальном масштабе времени. Прогноз по модели должен обладать погрешностью не более 0,3 %, но, с другой стороны, сложность и количество уравнений вместе с вычислительной процедурой должны быть соизмеримы, или на порядок меньше времени изменений характеристик объекта. Процедуры поиска экстремума функционала цели, в зависимости от точки начала поиска, варьируются в порядке скоростных характеристик процесса и быстродействия приводных устройств. Поэтому могут применяться как сложные поисковые процедуры, так и их комбинации. В связи с тем, что система управления такого типа обладает неполной информацией об объекте, целесообразно рассматривать её как систему с идентификатором в контуре управления, что позволяет с каждым технологическим циклом адаптировать алгоритм работы системы, увеличивая точность прогноза по моделям и параметрам функционала цели.

Выводы

Предлагаемые в статье методологические правила создания пяти уровней системы управления дают возможность представлять её в виде активной нейросети. Активными центрами этой нейросети являются рабочие станции кольцевых и радиальных вычислительных устройств системы управления. Сложным является обучение такой нейросети, т.к. метод обратного восстановления ошибки непригоден для активной нейросети такой конфигурации.

Список литературы

1. Пшекоп В. Ю. Математические модели прироста цены финансовых инструментов на основе симметричного и асимметричного распределения Лапласа, с использованием гамма-распределения [Текст] / В. Ю. Пшекоп // Проблемы искусственного интеллекта. – 2019. – № 2 (13). – С. 87–92.

References

1. Pshekop V. Yu. Matematicheskiye modeli prirosta tseny finansovykh instrumentov na osnove simmetrichnogo i asimmetrichnogo raspredeleniya Laplasy, s ispol'zovaniyem gamma-raspredeleniya [Mathematical models of increase in the price of financial instruments based on the symmetric and asymmetric Laplace distribution, using the gamma distribution]. *Problemy iskusstvennogo intellekta* [Problems of artificial intelligence], Donetsk, GU IPII, 2019, No. 2 (13), Pp. 87-92.

RESUME

O. A. Krivodubsky

Methodology that Defines the Rules for Developing Models and Algorithms for Control Systems in the Context of Information and Technological Transformation

The advance of taxes and fees determines the deficit of working capital of enterprises, which should be reflected in the models and algorithms of the enterprise management system. Management systems supplied in the CIS are focused on the normalization of raw materials, which is not available in the CIS enterprises. As a result, modern equipment functions without management, which worsens its performance. It is proposed to create adaptive algorithms and models that will allow you to manage this equipment.

The article is based on the assessment as a system with illogical information about the management object and its active replenishment.

Rules for creating a five-level enterprise management system that can be represented by an active neural network are proposed.

Creating a five-level enterprise management system will allow you to vary working capital at the first level and increase the efficiency of equipment at the fifth level - on modern types of equipment supplied.

РЕЗЮМЕ

О. А. Криводубский

Методология, определяющая правила разработки моделей и алгоритмов систем управления в условиях информационной и технологической трансформации

Авансирование налогов и сборов определяет дефицит оборотных средств предприятий, что должно отразиться в моделях и алгоритмах системы управления предприятием. Системы управления, поставляемые в СНГ, ориентированы на нормализацию сырьевых материалов, которая отсутствует на предприятиях СНГ. В результате современное оборудование функционирует без управления, что ухудшает показатели его работы. Предложено создание адаптивных алгоритмов и моделей, которое позволит управлять этим оборудованием.

Статья основана на оценке, как системы с нелогичной информацией об объекте управления и её активным пополнением.

Предложены правила создания пятиуровневой системы управления предприятием, которая может быть представлена активной нейросетью.

Создание пятиуровневой системы управления предприятием позволит варьировать оборотными средствами на первом уровне и повысить эффективность оборудования на пятом уровне – на современных типах поставляемого оборудования.

Статья поступила в редакцию 10.01.2020.