

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПОТОКАМИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

С.А. Баркалов, *bsa610@yandex.ru*
В.Е. Белоусов, *belousov@vgasu.vrn.ru*
Д.В. Дорофеев, *upr_stroy_kaf@vgasu.vrn.ru*
К.А. Нижегородов, *eng@gmail.com*
Е.А. Серебрякова, *sea-parish@mail.ru*

Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

Аннотация. В данной работе формулируется задача формирования эффективной информационной поддержки процессов управления иерархическим производством, включающим операции комплектования изделия, узлов, подузлов и так далее, вплоть до подузлов заданного уровня, при заданных нормативных уровнях числа комплектов с учетом длительности сборочных циклов и уровней комплектных запасов. Описанная схема реализует многоуровневое управление с оператором высшего уровня иерархии, однако не предусматривает резервирования производственных мощностей на цели управления, что противоречит задачам системы и обуславливает актуальность данной статьи. **Цель исследования** заключается в необходимости повышения эффективности автоматизированных информационных систем управления производственными структурами на основе статистических имитационных моделей. **Методы исследования.** Рассмотрим основные принципы, положенные в основу метода вероятностно-автоматного моделирования. Метод базируется на теории автоматов, заключающейся в использовании результатов машинного эксперимента при создании сложных самоорганизующихся информационных систем, а также в системах автоматизации производственных процессов. Вероятностно-автоматная модель информационной системы представляет собой не что иное как агрегативную модель при раздроблении системы на самые мелкие одномерные агрегаты. Основными понятиями автоматного моделирования являются вероятностный автомат и система вероятностных автоматов. **Результаты.** С ростом сложности производственной системы переход к двухуровневому, а затем и к многоуровневому управлению обеспечивает более эффективное использование ресурсов (мощностей и запасов) в целях упорядочения процесса выпуска готовой продукции. **Заключение.** Определено, что полная гармония интересов объектов управления достижима только при мощности потоков, равном 1. Двухуровневое управление обеспечивает достижение целей системы управления даже при полной дисгармонии интересов объектов управления. Для повышения эффективности использования ресурсов информационной поддержки необходимо строить не двухуровневую, а многоуровневую систему управления, в которой число «нижестоящих» операторов, подчиняющихся одному «вышестоящему» оператору, достаточно мало, чтобы обеспечить требуемый уровень гармонии их интересов. Таким образом, многоуровневое управление наряду с другими задачами решает важнейшую проблему обеспечения определенного уровня гармонии целей системы как целого и ее элементов.

Ключевые слова: автомат, агрегаты, знания, модели, имитация, система, состояние, параметры, управление

Для цитирования: Информационная модель поддержки процессов управления производственными потоками автоматизированного производства / С.А. Баркалов, В.Е. Белоусов, Д.В. Дорофеев и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2023. Т. 23, № 4. С. 47–56. DOI: 10.14529/ctcr230405

INFORMATION MODEL OF SUPPORT OF PROCESSES OF MANAGEMENT OF PRODUCTION FLOWS OF THE AUTOMATED PRODUCTION

S.A. Barkalov, *bsa610@yandex.ru*
V.E. Belousov, *belousov@vgasu.vrn.ru*
D.V. Dorofeev, *upr_stroy_kaf@vgasu.vrn.ru*
K.A. Nizhegorodov, *eng@gmail.com*
E.A. Serebryakova, *sea-parish@mail.ru*

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

Abstract. In this work the problem of forming to effective information support of processes of management of the hierarchical production including operations of completing of a product, nodes, subnodes and so on up to subnodes of the set level, at the set normative levels of number of sets taking into account duration of assembly cycles and levels of complete stocks is formulated. The described scheme implements multilevel management with the operator of the highest level of hierarchy, however do not provide reservation of production capacities on the purpose of management that contradicts problems of a system and causes relevance of this article. **The research objective consists** in need of increase in efficiency automated information to management systems by production structures on the basis of statistical simulation models. **Research methods.** Let's consider the basic principles which are been the basis for a method of probabilistic and automatic modeling. The method is based on the automata theory consisting in use of results of a machine experiment during creation of complex self-organizing information systems and also in the systems of automation of productions. The probabilistic and automatic model of an information system represents no other than aggregate model when smashing a system to the smallest one-dimensional units. The basic concepts of automatic modeling are the probabilistic automatic machine and the system of probabilistic automatic machines. **Results.** With growth of complexity of a production system transition to two-level, and then and to multilevel management provides more effective use of resources (capacities and stocks) for the purpose of streamlining of process of release of finished goods. **Conclusion.** It is defined that the full harmony of interests of control objects is achievable only at the power of flows equal 1. Two-level management provides achievement of goals of management system even at full disharmony of interests of control objects. For increase in efficiency of use of resources of information support it is necessary to build not two-level, but multilayer system of management in which the number of the “subordinate” operators submitting to one “higher” operator is not enough to provide the required level of harmony of their interests. Thus, multilevel management, along with other tasks, solves the most important problem of ensuring a certain level of harmony of the purposes of a system as whole and its elements.

Keywords: task, knowledge, models, rules, system, status, resource, elements, experts

For citation: Barkalov S.A., Belousov V.E., Dorofeev D.V., Nizhegorodov K.A., Serebryakova E.A. Information model of support of processes of management of production flows of the automated production. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*. 2023;23(4):47–56. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr230405

Введение

Производственные структуры древовидного типа, к которым относятся автоматизированные системы управления производством, требуют иерархического управления, так как оно в наибольшей мере соответствует организационной структуре объекта и демонстрирует как трансформируется система управления применительно к рассматриваемым объектам. Тогда на выходе такого производства формируется конечный продукт как состав потока полных комплектов (ПК). Информационная поддержка данных процессов управления включает операции комплектования изделия, узлов, подузлов и так далее, вплоть до подузлов заданного уровня, при заданных нормативных уровнях числа комплектов с учетом длительности сборочных циклов и уровней комплектных запасов.

Описанная схема реализует многоуровневое (многоуровневое, согласно [1]) управление с оператором высшего уровня иерархии. Необходимо также учесть, что производственных мощностей для

целей управления должно быть тем больше, чем выше порядковый номер органа управления, т. е. чем далее от конечной операции находится наш объект в древовидной производственной структуре.

Отметим, что действующие методики и нормативы [2, 3] не предусматривают резервирования производственных мощностей на цели управления, что противоречит задачам системы и обуславливает актуальность данной статьи.

Анализ исследуемой системы

Настоящая работа посвящена процессам управления в классе производств, функционирование которых характеризуется свойствами потока комплектов (ПК). Таковы сборочные, а также многие другие типы производств, в которых поток готовой продукции образуется путем «смешения» в определенной пропорции продуктов, поступающих по многим питающим потокам [4, 5].

Каждый из потоков $x_i(t)$ выдается производственным объектом θ_i , управляемым «собственной» системой регулирования V_i , на вход которой поступает сигнал рассогласования:

$$q_i(t) = X_i^0(t) - Q_i - X_i(t), \quad (1)$$

где $X_i^0(t)$ – программа выпуска продукции, задаваемая объекту θ_i ;

$X_i(t)$ – суммарный (накопленным итогом) выпуск продукции объектом θ_i , полученный интегрированием в блоке Σ потока $X_i(t)$;

Q_i – параметр, связанный с нормативным запасом, i -го продукта.

При надлежащем выборе единиц измерения продуктов, поступающих по питающим потокам, без нарушения общности можно положить, что в комплект входит по единице каждого из n продуктов.

Тогда ПК в каждый момент времени будет определяться самым «отсталым» из потоков:

$$x(t) = \frac{d}{dt} X(t), \quad (2)$$

$$X(t) = \min_{1 \leq i < n} X_i(t).$$

Одной из основных задач настоящей работы является обоснование эффективности двух- и многоуровневого управления в исследуемых производственных системах, в то время как существующая практика ориентирована на использование лишь одноуровневого независимого управления каждым потоком [6, 7].

Двухуровневое управление (рис. 1) обеспечивается сочетанием операторов V_i нижнего с оператором V верхнего уровня.

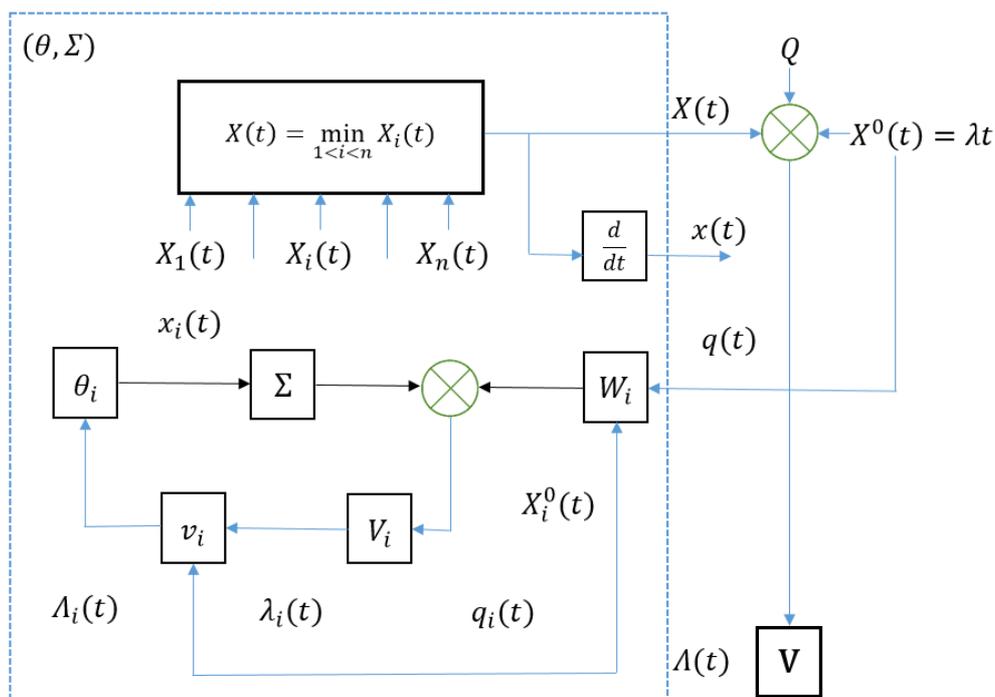


Рис. 1. Модель двухуровневого управления процессом формирования потока комплектов из заданных питающих потоков

Fig. 1. Model of two-level process control of forming of a flow of sets from the set feeding flows

Двухуровневая модель управления питающими потоками ПК

Вмешательство оператора V в работу объектов θ_i осуществляется с помощью вспомогательных операторов v_i и w_i , влияя на формирование программ $X_i^0(t)$ и корректируя в интересах системы решения $\lambda_i(t)$ операторов V_i , исходящих в своей работе из «эгоистических» интересов подведомственных им производств [8].

Оператор V вырабатывает координирующие решения путем преобразования сигнала рассогласования:

$$q_i(t) = X_i^0(t) + Q - X_i(t), \quad (3)$$

где $X^0(t) = \lambda t$ – заданная системе программа выпуска комплектов, принимаемая далее линейной функцией времени;

Q – параметр, задающий нормативный уровень комплектных запасов в системе.

В современной практике управления [9] рассматриваемые производственные системы соответствуют одноуровневому независимому управлению каждым из потоков:

$$V = \begin{cases} \Lambda_i(t) = \lambda_i(t) \\ X_i^0(t) = X^0(t) \end{cases}, \quad (4)$$

которые отражают невмешательство оператора V в функционирование системы.

$X_i(t)$ соответствуют операторы v_i и w_i , обеспечивающие соотношения.

Согласно работе [6, 10], в такого рода системах процесс (поток) $x(t)$ относится к классу управляемых, т. е. дисперсия сигнала рассогласования $q(t)$ будет ограниченной даже при

$$\lim_{n \rightarrow \infty} D(n) < \infty, \quad (5)$$

что вытекает из сформулированных выше утверждений E и F .

Таким образом, начиная с некоторой сложности системы, определяемой величиной n_k^i числа питающих потоков в ней, двухуровневая система управления (оператор V на верхнем уровне и операторы V_i – на нижнем) способна обеспечить более высокую упорядоченность ПК, нежели одноуровневое независимое управление каждым питающим потоком (рис. 2).

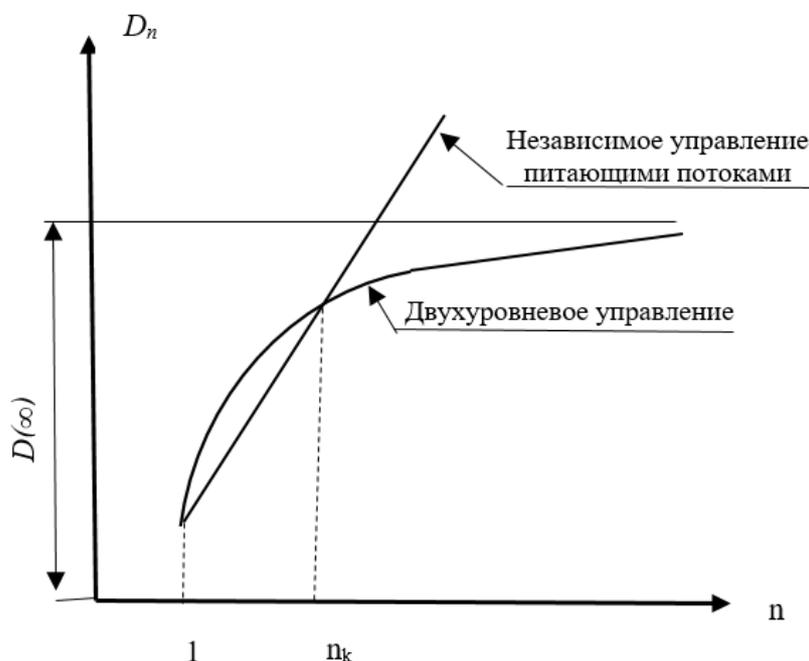


Рис. 2. Сравнительные графики оценки упорядоченности одноуровневого и двухуровневого управления питающими потоками
Fig. 2. Comparative diagrams of assessment of orderliness of single-level and two-level management of the feeding flows

Многие реальные производственные системы, моделируемые рис. 1, состоят из сотен и даже многих тысяч питающих потоков [7, 11].

Существующая практика управления такого рода системами основана на принципе незави-

симого управления каждым потоком, т. е. на выполнении условий (4). Девиз такого управления: «Система будет работать ритмично, если все питающие потоки ритмичны».

Будучи в принципе правильным, этот девиз толкает на максимальное «выжимание» ритмичной работы каждого питающего потока [8, 12].

Однако если таких потоков много, то даже небольшая неупорядоченность каждого из них приводит к хаотическому поведению ПК, вынуждая поддерживать высокие уровни управления, и работа должна быть построена таким образом, чтобы обеспечить ритмичный выпуск продукции при неритмичных шатающихся потоках.

Эффективность такого подхода иллюстрирует один из возможных подходов к координации деятельности объектов θ_i , состоит в выработке оператором V сигнала Λ_i , задающего интенсивность ПК; операторы v_i и w_i соответствуют равенствам:

$$\begin{cases} \Lambda_i(t) = \frac{\Lambda(t)}{\lambda} \lambda_i(t); \\ \frac{dx_i^0(t)}{dt} = \frac{\Lambda(t)}{\lambda} \cdot \frac{dx^0(t)}{dt} = \Lambda(t) \end{cases} \quad (6)$$

комплектных запасов в качестве средства, сглаживающего выпуск готовой продукции.

Предложенный выше переход к двухуровневому управлению системой потоков реализует подход, свидетельствующий о пренебрежении индивидуальными особенностями объектов θ_i и регуляторов V_i . Учет таких особенностей потребовал провести сбор больших объемов статистической информации, соответствующей ее обработке и воплощению полученных результатов в алгоритмах v_i и w_i .

Если все объекты θ_i характеризуются тем, что величина $\Lambda_i(t)$ пропорциональна интенсивности всех внутренних процессов объекта, формирующих поток $x_i(t)$, а операторы V_i безынерционны, то вмешательство в функционирование i -го замкнутого контура может быть интерпретировано как управление «ходом времени» в нем [2, 6, 13].

Действительно, при сделанных выше допущениях относительно свойств θ_i , V_i , v_i и w_i мы можем представить, что все контуры в замкнутых системах функционируют взаимозависимо, руководствуясь часами, отсчитывающими время τ , а оператор Λ вмешивается в скорость хода этих часов таким образом, что

$$\frac{d\tau(t)}{dt} = \frac{\Lambda(t)}{\lambda}. \quad (7)$$

За интервал натурального времени длительностью t процессы в объектах θ_i и в целом в замкнутых системах, генерирующих питающие потоки, «проживут» $\tau(t)$ часов. Указанным способом можно интерпретировать, например, управление продолжительностью рабочего дня (введение сверхурочных работ), либо управление скоростью движения сборочного конвейера [12, 14].

Совершенно естественным будет допущение, что процесс $\tau(t)$ удовлетворяет условиям:

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \cdot \int_{-T}^T \frac{d\tau(t)}{dt} \cdot dt = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{\tau(T) - \tau(-T)}{2T} = 1; \quad (8)$$

$$0 \leq \Lambda(t) = \lambda \cdot \frac{d(\tau)}{dt} \leq \Lambda^* > \lambda, \quad (9)$$

первое из которых свидетельствует о том, что ресурсы, находящиеся в распоряжении оператора V , используются только для корректировки поведения ПК, а не для компенсации недостатка ресурсов, подведомственных операторам V_i ; второе условие (9) свидетельствует об ограниченности ресурсов, находящихся в централизованном подчинении оператора V .

Очевидно, что для выполнения условий (8) и (9) необходимо, чтобы

$$0 \leq \lambda_i(t) \leq \lambda_i^* = \Lambda_i^* \cdot \frac{\lambda}{\Lambda^*} > \lambda, \quad (10)$$

т. е. операторы V_i должны располагать собственными резервами производственной мощности, обеспечивающими возможность выполнения программы $X^0(t)$.

Отметим также, что условиям (4) независимого функционирования питающих потоков соответствует равенство

$$\tau(t) = t, \quad -\infty \leq t \leq +\infty. \quad (11)$$

В связи с этим далее исследуется общий случай двухуровневой координации, из которого найдем частный случай независимого управления каждым из n питающих потоков, полагая справедливым условие (11). В рассматриваемом общем случае вместо условий (1) и (2) запишем (с учетом (10)):

$$\begin{cases} q_i(\tau(t)) = X^0(\tau(t) + Q_i - X_i(\tau(t))); \\ q(t) = X^0(t) + Q - X(\tau(t)). \end{cases} \quad (12)$$

Введем также специальное обозначение для рассогласования $q(t)$ при отсутствии координации, т. е. при условии

$$\tilde{q}(t) = q(t)_{\tau(t)=t} = X^0(t) + Q - X(t) \quad (13)$$

с учетом формул (13) и (3) получим

$$q(t) = \tilde{q}(\tau(t)) + \lambda \cdot [t - \tau(t)]. \quad (14)$$

Показав эффективность двухуровневого управления, мы должны установить: не потребует ли такое управление дополнительных ресурсов – запасов и производственных мощностей в качестве «платы» за упорядоченность ПК.

Проанализируем это на примере координации, использующей управление «ходом времени» в автономных контурах управления [9, 10].

Использование ресурсов

Исследуем уровень некомплектного запаса t -го продукта, определяемый соотношением

$$z_{i,n}(\tau(t)) = X_i(\tau(t)) - X(\tau(t)) = \tilde{q}(\tau(t)) - q_i(\tau(t)) + Q_i - Q. \quad (15)$$

Характеристики системы определяются средними по времени уровнями запасов. Рассмотрим результаты усреднения по времени отдельных слагаемых выражения (15).

Введем для операции усреднения по времени некоторой функции $\psi(t)$ обозначение

$$\int_T^* \psi(t) dt = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \cdot \int_{-T}^T \psi(t) dt, \quad (16)$$

с учетом которого, а также равенства (16) имеем

$$\lambda^2 \cdot \int^* [\tau(t) - t] \cdot d[\tau(t) - t] = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \cdot \frac{1}{2} \cdot [\tilde{q}(\tau(t)) - q(t)]^2 \Bigg|_{t=-T}^{t=T}. \quad (17)$$

Последний предел равен нулю по вероятности в силу ограниченности дисперсий сигналов $\tilde{q}(\tau(t))$ и $q(t)$.

Теперь рассмотрим результат усреднения процесса $\tilde{q}(\tau(t))$ с учетом соотношений (15), (17) и (10):

$$\begin{aligned} \int^* \tilde{q}(\tau(t)) d(t) &= \int^* \tilde{q}(\tau(t)) d\tau(t) - \int^* q(t) \cdot \left[\frac{\Lambda(t)}{\lambda} - 1 \right] \cdot dt = \\ &= \bar{q}(n) - \int^* q(t) \cdot \left[\frac{\Lambda(t)}{\lambda} - 1 \right] dt. \end{aligned} \quad (18)$$

Второе слагаемое в этом выражении есть коэффициент корреляции процессов $q(t)$ и $\Lambda(t)$, детерминистская связь между которыми определяется оператором V .

Для последнего естественно предположить выполнение условий:

$$\frac{\lambda(t)}{\lambda} - 1 = \begin{cases} > 0, q(t) > q^* \\ 0, q(t) = q^* \\ < 0, q(t) < q^* \end{cases}, \quad (19)$$

где $<, =, >$ – параметр системы управления.

Условия, подобные (19), всегда выполняются алгоритмами регулирования, используемыми в практике управления производством [10, 15].

Из условий (18) и равенства (19) следует

$$\int^* \tilde{q}(\tau(t)) d(t) \leq \bar{q}(n) = \int^* \tilde{q}(t) dt, \quad (20)$$

причем равенство имеет место при условии (13), когда согласно равенству (9)

$$\Lambda(t) = \lambda, \quad -\infty \leq t \leq +\infty. \quad (21)$$

Отметим, что левая и правая части неравенства (21) отличаются друг от друга на конечную величину

$$\int^* q(t) \cdot \left[\frac{\Lambda(t)}{\lambda} - 1 \right] \cdot dt \quad (22)$$

коэффициента корреляции, в то время как правая часть неограниченно возрастает с ростом числа n питающих потоков.

Перейдем теперь к усреднению второго слагаемого в формуле (16):

$$\int^* q(\tau(t)) dt = \int^* q_i(\tau(t)) \cdot \frac{\lambda}{\Lambda(t)} \cdot d\tau(t). \quad (23)$$

Примем при этом во внимание статистическую независимость процессов $\tilde{q}(\tau)$ и $q(\tau)$ при $n \rightarrow \infty$, откуда вытекает асимптотическая взаимозависимость обоих сомножителей под знаком интеграла в равенстве (23), так что при достаточно большом числе n питающих потоков

$$\int^* q_i(\tau(t)) dt \cong \int^* q_i(t) dt = \bar{q}_i \quad (24)$$

из питающих потоков. При этом разность правой и левой частей неравенства есть величина конечная и относительно малая.

Рассмотрим поведение уровня комплектного запаса, который в соответствии с формулами (16) и (17) равен

$$z(t) = X(\tau(t)) - X^0(t) = Q - q(t) = Q - \tilde{q}(\tau(t)) - \lambda \cdot [t - \tau(t)], \quad (25)$$

и отметим, что поддержание комплектного запаса обеспечивает ритмичность выдачи продукции сборочными производствами, для которых величина

$$P(z(t) < 0) \leq p \quad (26)$$

есть вероятность «срыва» производственной программы, характеризующая качество функционирования системы, ограниченное заданным значением p .

Очевидно, что организация двухуровневой координации может рассматриваться в качестве одного из способов выполнения условия (26) путем стабилизации комплектного запаса на среднем уровне

$$\bar{z}(p, n) = \int^* z(t) \cdot dt = Q - \int^* q(t) dt < \infty, \quad (27)$$

определяемом путем надлежащего выбора параметра

$$Q = Q(p, n).$$

Сопоставление полученных выше соотношений (22) и (24) с выражением (17) приводит к справедливому при большом n соотношению

$$\int^* z_{i,n}(\tau(t)) \cdot dt \leq \int^* z_{i,n}(t) = \bar{z}_{i,n}, \quad (28)$$

утверждающему, что в условиях двухуровневой координации средний уровень некомплектных запасов не превысит уровня, образующегося в условиях независимого управления каждым

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \bar{z}(p, n) = \bar{z}_p = \infty$$

в силу ограниченности дисперсии сигнала $q(t)$ согласно условию (9).

Переходя к условию (15), определяющему одноуровневое независимое управление каждым питающим потоком, имеем из формул (26), (17)

$$\bar{z}(p, n) = Q - \int^* \tilde{q}(t) dt = Q - \bar{q}(n),$$

откуда с учетом равенств (7) и (8) следует

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \bar{z}(p, n) = \infty. \quad (29)$$

Отсюда, сравнивая выражения (28) и (29) и учитывая при этом равенство (25), сделаем вывод: основной эффект при переходе к двухуровневому управлению достигается за счет сокращения уровня комплектных запасов в системе, что иллюстрируется рис. 1.

Очевидно, что при $n > n_{k,i}$ суммарный запас в условиях двухуровневой координации будет ниже запаса при одноуровневом независимом управлении каждым из питающих потоков [2, 11, 14]. Однако это потребовало введения в эксплуатацию дополнительной производственной мощности, подведомственной оператору V верхнего уровня.

Величина введенных дополнительно ресурсов мощности для объекта составит согласно равенствам (5) и (13)

$$\left[\frac{\Lambda^*}{\lambda} - 1 \right] \cdot \Lambda_i^*.$$

Снижения суммарного запаса в системе можно достичь, также и не привлекая извне дополнительных ресурсов, но централизуя распоряжение частью мощности, имеющейся у объектов Q_i .

Снижение производственной мощности, подведомственной операторам V_i , приведет к тому, что поведение запасов будет соответствовать пунктирным кривым на рис. 1, так что двухуровневое управление будет эффективным при

$$n > n_{k,i}^* > n_{k,i}.$$

Таким образом, с ростом сложности производственной системы (см. рис. 1) переход к двухуровневому, а затем и к многоуровневому управлению обеспечивает более эффективное использование ресурсов (мощностей и запасов) в целях упорядочения процесса выпуска готовой продукции.

Заключение

Рассматривая построение многоуровневой системы, можно обратить внимание на то, что, стремясь к достижению целей системы (см. рис. 1), мы не учитывали цели отдельных ее элементов, т. е. в нашем случае – операторов V_i .

Судить о том, насколько гармонируют решения, принимаемые оператором V , реализующим цели системы, и решения, принимаемые операторами V_i , стремящимися к достижению собственных целей, можно, воспользовавшись в качестве меры этой гармонии какой-либо статистической характеристикой связи между процессами. Например, в роли такой меры может выступить коэффициент корреляции этих процессов.

Система кривых, обозначенных жирными линиями, иллюстрирует поведение запаса i -го продукта с ростом числа питающих потоков. Очевидно, что при $n > n_{k,i}$ суммарный запас в условиях двухуровневой координации будет ниже запаса при одноуровневом независимом управлении каждым из питающих потоков.

Однако это потребовало введения в эксплуатацию дополнительной производственной мощности, подведомственной оператору V верхнего уровня. Величина введенных дополнительно ресурсов мощности для объекта составит согласно равенствам (5) и (13)

$$\left[\frac{\Lambda^*}{\lambda} - 1 \right] \cdot \Lambda_i^*.$$

Снижения суммарного запаса в системе можно достичь, также и не привлекая извне дополнительных ресурсов, но централизуя распоряжение частью мощности, имеющейся у объектов Q_i .

Снижение производственной мощности, подведомственной операторам V_i , приведет к тому, что поведение запасов будет соответствовать пунктирным кривым на рис. 1, так что двухуровневое управление будет эффективным. Очевидно, что максимум достигается при $n = 1$, когда $\Lambda(t)$ и $\lambda_i(t)$ связаны между собой детерминированной зависимостью.

Изложенное может трактоваться следующим образом:

во-первых, полная гармония интересов V и V_i достижима только при $n = 1$;

во-вторых, можно говорить о полной дисгармонии интересов, но, несмотря на это, цели системы достигаются;

в-третьих, если при построении системы (см. рис. 1) мы, повышая эффективность использования ресурсов, хотим сохранить некоторый допустимый уровень гармонии интересов операторов верхнего и нижнего уровня, в результате естественно приходим к необходимости строить не двухуровневую, а многоуровневую систему управления, в которой число «нижестоящих» операторов, подчиняющихся одному «вышестоящему» оператору, достаточно мало, чтобы обеспечить требуемый уровень гармонии их интересов.

Многоуровневое управление наряду с другими задачами решает важнейшую проблему обеспечения определенного уровня гармонии целей системы как целого и ее элементов.

Список литературы

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Издат. центр «Академия», 2003. 576 с.
2. Белоусов В.Е., Нгуен В.Т. Алгоритм выбора наилучшего варианта проведения натурального эксперимента в многокритериальных задачах моделирования сложных технических объектов // Системы управления и информационные технологии. 2016. № 1 (63). С. 55–59.
3. Белоусов В.Е., Кончаков С.А. Алгоритм для оперативного определения состояний объектов в многоуровневых технических системах // Экономика и менеджмент систем управления. 2015. № 3.2. (17). С. 227–232.
4. Бурков В.Н., Данев Б.К., Еналеев А.К. Большие системы: моделирование организационных механизмов. М.: Наука, 1989. 245 с.
5. Бурков В.Н., Кондратьев В.В. Механизмы функционирования организационных систем. М.: Наука, 1981. 301 с.
6. Белоусов В.Е., Нижегородов К.И., Соха И.С. Алгоритмы получения упорядоченных правил предпочтения в задачах принятия решений при планировании производственных программ // Управление строительством. 2019. № 1 (14). С. 105–111.
7. Белоусов В.Е., Баркалов С.А., Нижегородов К.А. Ресурсно-временной анализ в задачах календарного планирования строительных предприятий // Материалы XVI Всероссийской школы-

конференции молодых ученых «Управление большими системами». Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2019. Т. 1. С. 98–101.

8. Jordan M.I. Attractor dynamics and parallelism in a connectionist sequential machine // The Eighth Annual Conference of the Cognitive Science Society. Amherst, MA, 1986. P. 531–546.

9. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания. М.: Высшая школа. 2004. 341 с.

10. Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М. Анализ временных рядов и прогнозирование. М.: Финансы и статистика, 2001. С. 203–211.

11. Моделирование системы оценки компетенций в управлении профессорско-преподавательским составом вуза / С.А. Баркалов, В.Е. Белоусов, Н.Ю. Калинина и др. // XXI Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2018): сб. докл. в 2 т. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2018. Т. 1. С. 355–358.

12. Вапник В.Н. Восстановление зависимости по эмпирическим данным. М.: Наука, 1979. 295 с.

13. Губко М.В., Караваев А.П. Согласование интересов в матричных структурах управления // Автоматика и телемеханика. 2001. № 10. С. 132–146.

14. Баркалов С.А., Бурков В.Н., Порядина В.Л. Механизмы активной экспертизы в задачах комплексного оценивания // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2009. Т. 5, № 6. С. 64–67.

15. Hart O.D., Holmstrom B. Theory of contracts // Advances in economic theory. 5-th World Congress. Cambridge: Cambridge Univ. Press; 1987. P. 71–155.

References

1. Venttsel' E.S. *Teoriya veroyatnostey* [Probability theory]. Moscow: Publishing center “Akademiyu”; 2003. P. 576. (In Russ.)

2. Belousov V.E., Nguyen V.T. Algorithm of the choice of the best option of carrying out natural experiment in multicriteria problems of design of difficult technical objects. *Sistemy upravleniya i informatsionnyye tekhnologii*. 2016;1(63):55–59. (In Russ.)

3. Belousov V.E., Konchakov S.A. [Algorithm for operational definition of statuses of objects in multilayer technical systems]. *Ekonomika i menedzhment sistem upravleniya*. 2015;3.2(17):227–232. (In Russ.)

4. Burkov V.N., Danev B.K., Enaleev A.K. *Bol'shie sistemy: modelirovanie organizatsionnykh mekhanizmov* [Big systems: modeling of organizational mechanisms]. Moscow: Nauka; 1989. 245 p. (In Russ.)

5. Burkov V.N., Kondrat'ev V.V. *Mekhanizmy funktsionirovaniya organizatsionnykh sistem* [Mechanisms of functioning of organizational systems]. Moscow: Nauka; 1981. 301 p. (In Russ.)

6. Belousov V.E., Nizhegorodov K.A., Soha I.S. Algorithms of obtaining the ordered rules of preference in problems of decision-making when planning production programs. *Upravleniye stroitel'stvom*. 2019;1(14):105–111. (In Russ.)

7. Belousov V.E., Barkalov S.A., Nizhegorodov K.A. [Resource timing analysis in problems of scheduling of the construction enterprises]. In: *Materials of the XVI All-Russian school conference of young scientists “Management of big systems”*. Tambov: TSTU Publ.; 2019. Vol. 1. P. 98–101. (In Russ.)

8. Jordan M.I. Attractor dynamics and parallelism in a connectionist sequential machine. In: *The Eighth Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Amherst, MA; 1986. P. 531–546.

9. Gorelik A.L., Skripkin V.A. *Metody raspoznavaniya* [Recognition methods]. Moscow: Vysshaya shkola; 2004. 341 p. (In Russ.)

10. Afanas'ev V.N., Yuzbashev M.M. *Analiz vremennykh ryadov i prognozirovaniye* [Analysis of time series and forecasting]. Moscow: Finansy i statistika; 2001. P. 203–211. (In Russ.)

11. Barkalov S.A., Belousov V.E., Kalinina N.Yu., Nasonova T.V., Fomina M.A., Leksashov A.V. [Modeling of a system of assessment of competences of management of the faculty of higher education institution]. *XXI International conference on soft calculations and measurements (SCM-2018)*, in 2 volumes. St. Petersburg: Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”; 2018. Vol. 1. P. 355–358. (In Russ.)

12. Vapnik V.N. *Vosstanovlenie zavisimosti po empiricheskim dannym* [Recovery of dependence according to empirical data]. Moscow: Nauka; 1979. 295 p. (In Russ.)

13. Goubko M.V., Karavaeva A.P. Interest Reconciliation in Matrix Control Structures. *Automation and Remote Control*. 2001;62(10): 1658–1672. DOI: 10.1023/A:1012414500272
14. Barkalov S.A., Burkov V.N., Porjadina V.L. Mechanisms of active examination in problems complex estimation. *Bulletin of Voronezh state technical university*. 2009;5(6):64–67. (In Russ.)
15. Hart O.D., Holmstrom B. Theory of contracts. In: *Advances in economic theory. 5-th World Congress*. Cambridge: Cambridge Univ. Press; 1987. P. 71–155.

Информация об авторах

Баркалов Сергей Алексеевич, д-р техн. наук, проф., декан факультета экономики, менеджмента и информационных технологий, заведующий кафедрой управления, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия; bsa610@yandex.ru.

Белouсов Вадим Евгеньевич, канд. техн. наук, доц., заведующий базовой кафедрой кибернетики в системах организационного управления, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия; belousov@vgasu.vrn.ru.

Дорофеев Дмитрий Валериевич, аспирант кафедры управления, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия; upr_stroy_kaf@vgasu.vrn.ru.

Нижегородов Кирилл Александрович, аспирант кафедры управления, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия; eng@gmail.com.

Серебрякова Елена Анатольевна, канд. экон. наук, доц., доц. кафедры цифровой и отраслевой экономики, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия; sea-parish@mail.ru.

Information about the authors

Sergey A. Barkalov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Dean of the Faculty of Economics, Management and Information Technologies, Head of the Department of Management, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia; bsa610@yandex.ru.

Vadim E. Belousov, Cand. Sci. (Eng.), Ass. Prof., Head of the Basic Department of Cybernetics in the Systems of Organizational Management, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia; belousov@vgasu.vrn.ru.

Dmitry V. Dorofeyev, Postgraduate student of the Department of Management, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia; upr_stroy_kaf@vgasu.vrn.ru.

Kirill A. Nizhegorodov, Postgraduate student of the Department of Management, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia; eng@gmail.com.

Elena A. Serebryakova, Cand. Sci. (Econ.), Ass. Prof., Ass. Prof. of the Department of Digital and Industrial Economics, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia; sea-parish@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 22.04.2023

The article was submitted 22.04.2023