

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОСТРОЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

© 2023 А.Н. Коптев, С.Ф. Тлустенко

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва,
г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 13.02.2023

Предложена методика оптимизации производства летательных аппаратов, технологических систем и процессов. Показан способ упорядочения и систематизации исходных данных при постановке и решении задачи распределения ресурсов производства. Рассмотрен способ синтеза и анализа производственной среды как дискретно-непрерывного пространства, в пределах которого можно выделить относительно однородные локальные подструктуры, для описания которых можно построить эффективные адекватные математические модели, предложить способы их формализованного описания, методы оптимизации при синтезе конкретных производственных схем. Введено понятие множеств в его приложении к процессам формирования баз данных граничных управляемых переменных по оптимальным значениям выходных переменных. Показана методика построения и вычисления главной целевой функции оптимизации ПС, которая включает и определяется структурой и взаимосвязями входящих подсистем с их характеристическими локальными целевыми функциями.

Ключевые слова: производственные процессы, информационная система, математическая модель, компактные множества, матричное описание процессов, локальные подсистемы, упорядочения баз данных, целевая функция, факторы эффективности.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-1-43-47

Оптимизация организационно-технических систем (ОТС) производства в настоящее время является одним из основных факторов устойчивого развития предприятий аэрокосмического профиля. Определяющим фактором эффективности производственной системы (ПС) является качество и производительность труда при минимальных затратах ресурсов. Анализ ПС показал, что такие требования выполняются в условиях комплексной автоматизации производства. Построение оптимальной модели реальной технологической системы (ТС) и процесса как объекта управления и производства определяется тем, что такие системы и процессы в основном не стационарны, не линейны, многомерны по внутренним прямым и обратным структурным и функциональным связям. Сложной задачей является создание баз данных по априорной информации, о форме и степени взаимосвязи между переменными в динамике в реальном масштабе времени. Это значительно усложняет получение адекватного (изоморфного) математического описания производственных и технологических процессов как объектов управления (автоматов) при некотором множестве варьируемых элементов $N=\{1,2,\dots, n\}$.

Коптев Анатолий Никитович, доктор технических наук, профессор института авиационной техники. Тлустенко Станислав Федотович, кандидат технических наук, доцент. E-mail: titan250@mail.ru

Систематизация производственных процессов связана с решением задач упорядочения. Для определения и оценки исходных значений баз данных необходимо выполнить построение одной или более перестановок, удовлетворяющих определенным ограничениям и соответствующих экстремуму некоторых функций, определенных на рассматриваемом множестве значений параметров и начальных условий. Вариант перестановки можно представить последовательностью элементов из множества $N=\{1,2,\dots, n\}$, или при символической записи в виде: $\pi = (i_1, i_2, \dots, i_n)$, где i_n - элемент из N , занимающий в последовательности π k -е слева место в рассматриваемой последовательности мест K , или в виде матрицы $\|x_{ij}\|$ размерности $n \times n$, элементами которой являются числовые значения параметров процессов. При этом значение $x_{ij} = 1$ соответствует записи (i, j) , а сумма элементов в такой матрице, стоящих в каждой строке и каждом столбце, равна 1. Рассмотрим два n -мерных вектора $(\alpha = \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ и $(\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n))$, компоненты которых - действительные числа. Обозначим через $\pi = (i_1, i_2, \dots, i_n)$ некоторую перестановку элементов множества $N=\{1,2,\dots, n\}$. В этом случае построение оптимальных перестановок можно выполнить по формуле: $f_1(\pi) =$

$$f_1(\pi) \sum_{i=1}^n \alpha_k \cdot \beta_k .$$

Покажем пример построения перестановки π^* элементов множества N , кото-

рой соответствует наименьшее значение $f_1(\pi)$. Будем предполагать, что компоненты вектора α и β пронумерованы так, что $\alpha_1 \leq \alpha_2 \leq \dots \leq \alpha_n$.

Для расчёта и анализа вариативных показателей эффективности производства рассмотрим вариант перестановки π^1 , отличающийся от варианта π транспозицией элементов i_k и i_{k+1} . При этом $f_1(\pi^1) - f_1(\pi) = (\alpha_k - \alpha_{k+1})(\beta_{ik+1} - \beta_{ik})$. Если $\beta_{ik} \geq \beta_{ik+1}$, то эта разность неотрицательна.

Таким образом, упорядочивая числа β_i в порядке их не возрастания, получаем искомый результат: $\pi_1^* = (i_1^*, i_2^*, \dots, i_n^*)$, где $\beta_{ik}^* \geq \beta_{ik+1}^*$ для всех k .

Так как показатели эффективности зависят от граничных условий и целей исследования, условий работы конкретной ПС или входящей в неё ТС и системы управления, то эти показатели можно представить некоторой математической моделью, эквивалентной ПС, включающей отдельные требования и характеристики общей цели. Такое описание ПС может содержать целевое указание на связь между отдельными элементами системы и целевыми функциями в пределах общего влияния структуры системы на показатель эффективности, а также заданием условий её функционирования и связей между конкретными параметрами системы и составляющими показателей эффективности для вычисления количественных оценок этих показателей, используя данные о структуре и параметрах системы.

При исследовании общего влияния структуры на показатели эффективности рассмотрим характеристики структурной эффективности ТС производства при достижении многих целей с контролем, анализом и оптимизацией сразу нескольких выходных величин (рисунок 1). Общая система состоит из структурных входящих подсистем, которые описываются выражениями:

$$\varphi_j = f_j(x_1, \dots, x_m), \quad j = 1, 2, \dots, r,$$

где x_i – управляемые переменные; j_j – выходные переменные. Главная целевая функция зависит от локальных целевых функций, определяемых через j_j , от структуры связей между подсистемами, от вида функций j_j .

Пусть задача некоторой управляющей системы заключается в получении максимума выражения $\Phi(G - M)$, где G – ресурсы, а M – расход.

Если система может управлять двумя переменными: x_1 и x_2 , то имеем: $G = f_1(x_1, x_2)$, $M = f_2(x_1, x_2)$, тогда: $\max \Phi(G - M) = \max_{(x_1, x_2)} [f_1(x_1, x_2) - f_2(x_1, x_2)]$.

В современных условиях развития автоматизированных производственных систем необходимо совершенствовать методологическую базу формализованного описания процессов и систем, позволяющую оперативно корректировать существующие знания и закономерности, на базе которых уже созданы и функционируют системы автоматизации ТС при условии, что процесс управления должен включать следующие элементы (рисунок 1).

Оптимизация производственных решений в такой системе необходима как на уровне проектирования и построения новых структур, так и в действующем производстве. В соответствии с иерархией производства предлагается исследование составляющих подсистем общей производственной системы как локально функционирующих структур с условием их оптимального синтеза в последующих процессах интеграции в единую систему и вычисления основных критериев функционирования.

На вероятностном уровне причинно-следственная связь между входной $X_{\text{впр}}$ и выходной $Y_{\text{вык}}$ функциями для ТС устанавливается оператором $A_t: y(t) = A_t x(t)$. В блоке управления может реализоваться и обратный оператор:

$$\bar{A}_t : x(t) = \bar{A}_t y(t),$$

так как в этом случае следствие $y(t)$ выступает в роли причины, а причина $x(t)$ – в роли следствия, что имеет значение в зависимости от постановки целей решаемых задач.

Иерархическая структура и характер функционирования ПС позволяют вводить количественные оценки эффективности взаимодействия её компонент в процессе построения адекватной условиям производства математической модели. Получение количественных и качественных оценок функционирования технологической системы связано с определением наиболее вероятных условий ее работы с учетом ограничений.

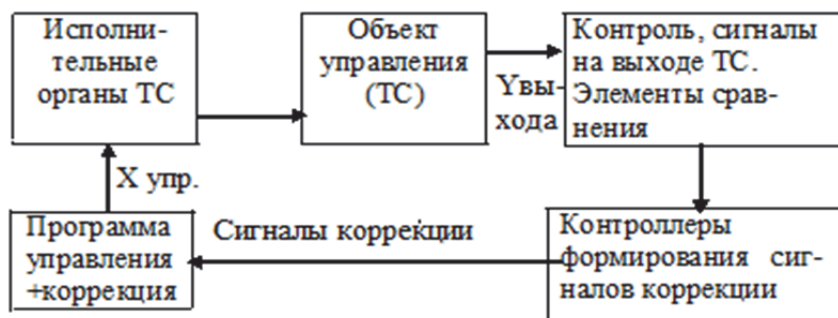


Рисунок 1. Блок-схема процесса многокритериального управления ТС производства в условиях автоматизации

Система условий производства имеет несколько обобщенный характер по отношению к объектам и предметам труда. Однако логично в постановке и решении задач принимать во внимание лишь те из этих условий, которые существенным образом влияют на основные исследуемые факторы и, соответственно, результаты: виды и объемы потребляемых ресурсов, реализуемые производственные и технологические схемы, в последующем действии, а также лишь некоторые из значений, принимаемых этими условиями. Целью такого подхода в исследуемом процессе является обособление системы. Соответствующее формализованное описание таких систем можно создать на основе систематизации граничных условий по целевому критерию решаемой задачи по методике, согласно которой предполагаем:

- число учитываемых условий равно W_r , где $r = 1, 2, \dots, t$; (1);

- реализации упорядочиваются: $\omega_{r\min} \leq \omega_{rs} \leq \omega_{r\max}$, где $S = 1, 2, \dots, u$ для каждого из условий W_r (2).

- обособленную систему W , которая характеризуется упорядоченным множеством условий, можно представить в виде матрицы:

$$W = \begin{bmatrix} \omega_{11} & \omega_{12} & \dots & \omega_{1u} \\ \omega_{21} & \omega_{22} & \dots & \omega_{2u} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \omega_{t1} & \omega_{t2} & \dots & \omega_{tu} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Тогда для обеспечения определения наиболее вероятных по оптимальности условий необходимо (кроме значения условий реализации) знать вероятности (частоты) проявления условия W_r :

$$E = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1u} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2u} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{t1} & v_{t2} & \dots & v_{tu} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

В матрице (2) v_{rs} представляет собой вероятность (частоту) s -й реализации r -го условия.

Матрицу W в математической модели мы будем называть матрицей условий, а матрицу E – матрицей вероятностей.

Наиболее вероятные условия определяются в результате умножения элементов матрицы условий на соответствующие им элементы матрицы вероятностей с последующим суммированием произведений по строкам:

$$EW = \begin{bmatrix} EW_1 \\ EW_2 \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ EW_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{s=1}^u \omega_{1s} & v_{1s} \\ \sum_{s=1}^u \omega_{2s} & v_{2s} \\ \dots & \dots \\ \dots & \dots \\ \dots & \dots \\ \sum_{s=1}^u \omega_{ts} & v_{ts} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Алгоритм расчётов общей суммы эксплуатационных и производственных затрат аналогичен получению по данной схеме общей зависимости производственных затрат. Однако эксплуатационные затраты в отличие от производственных зависят от времени, так как потребление ресурсов в эксплуатации происходит с течением времени эксплуатации, то есть в течение всей продолжительности последующего действия τ_r . Следовательно, потребление ресурсов будет выражаться показательными функциями, то есть как потребление, приходящееся на единицу времени. Обозначим такое потребление через N_v^*, n_v^* . В этом случае суммарное потребление ресурсов в подготовительной части последующего действия составит $N_v = N_{v\tau v}^*$ или $n_v = n_{v\tau v}^*$. Для определения интегрального показателя эффективности производства и качества изделий и с учётом характеристики потребления в виде показательной функции рассмотрим наиболее общий случай определения эксплуатационных затрат.

Допустим, задано: $i = k, r = t$. Обозначим через n_{vir}^* потребление ресурсов i -го вида при r -м условии, получим:

$$n_{vir}^* = [g(X)]_r / EW_r.$$

Построим матрицу затрат ресурсов (4), в которой элементы этой матрицы представляют элементарные затраты: i -ая строка матрицы характеризует потребление i -ого вида ресурсов при наличии всех t условий, а ее r -й столбец – потребление всех видов ресурсов при r -м условии.

$$N_v^* = \begin{bmatrix} n_{v11}^* & n_{v12}^* & \dots & n_{v1t}^* \\ n_{v21}^* & n_{v22}^* & \dots & n_{v2t}^* \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ n_{vk1}^* & n_{vk2}^* & \dots & n_{vkt}^* \end{bmatrix}. \quad (6)$$

После построчного суммирования элементов матрицы, имеющих одну и ту же единицу размерности, получим следующую матрицу затрат:

$$N_v^* = \begin{bmatrix} \sum_{r=1}^t n_{v1r}^* \\ \sum_{r=1}^t n_{v2r}^* \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \sum_{r=1}^t n_{vk}^* \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Умножая элементы матрицы (5), как и по методике с определением производственных затрат, на соответствующие им элементы матрицы (6) весовых коэффициентов, придающих одинаковую размерность всем видам ресурсов:

$$\begin{bmatrix} \dot{a}_1 \\ \dot{a}_2 \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \dot{a}_k \end{bmatrix}, \quad (8)$$

получим матрицу эксплуатационных затрат в стоимостном выражении:

$$\bar{N}_v^* = \begin{bmatrix} a_1 \sum_{r=1}^t n_{v1r}^* \\ a_2 \sum_{r=1}^t n_{v2r}^* \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ a_k \sum_{r=1}^t n_{vk}^* \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Поскольку элементы этой матрицы имеют одинаковую размерность, их можно суммировать в виде (8):

$$\bar{N}_v^* = \sum_{i=1}^k a_i \sum_{r=1}^t n_{vr}^*. \quad (10)$$

После преобразования получим:

$$\bar{N}_v^* = \sum_{r=1}^t n_{vr}^*. \quad (11)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При таком подходе, учитывая возможность вариации вводимых ограничений при задании начальных условий по исследуемым производственным схемам, можно строить некоторое множество вариантов моделей с адекватными получаемыми результатами решений в диапазоне допустимых вариаций. Применительно к специфике производства такая методика позволяет вводить и оперировать с некоторым существенным множеством факторов при допустимой погрешности для определения ресурсов производственных и эксплуатационных мощностей по различным условиям эксплуатации и по подразделениям производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приоритеты авиационных технологий: В 2-х кн. / Науч. ред. А.Г. Братухин. М.: Изд-во МАИ, 2004. – Кн. 1. – Гл. 1-12. – 696 с.
2. *Норенков, И.П.* Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии / И.П. Норенков, П.К. Кузьмик. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с.
3. *Еленева, Ю.А.* Экономика машиностроительного производства / Ю.А. Еленева. – М.: Academia, 2016. – 297 с.
4. *Головицына, М.В.* Методы, модели и алгоритмы в автоматизированной подготовке и оперативном управлении производством РЭС: Монография / М.В. Головицына. – М.: Инфра-М, 2016. – 317 с.

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR CONSTRUCTING AND RESEARCHING TECHNOLOGICAL SYSTEMS IN THE CONTEXT OF AUTOMATION OF THE PRODUCTION OF AIRCRAFT

© 2023 A.N. Koptev, S.F. Tlustenko

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov, Samara, Russia

The methodology for optimizing the production of aircraft, technological systems and processes is proposed. The method of streamlining and systematizing the source data is shown when setting and solving the problem of distribution of production resources. The method of synthesis and analysis of the production environment as a discrete and non-abstract space is considered, within which you can

distinguish relatively homogeneous local substructures, for the description of which you can build effective adequate mathematical models, propose methods of their formalized description, methods of optimization in the synthesis of specific production schemes. The concept of sets in his appendix to the processes of forming databases of boundary controlled variables on the optimal values of the output variables was introduced. The methodology for constructing and calculating the main target function of optimizing the PS, which includes and is determined by the structure and relationships of incoming subsystems with their characteristic local target functions.

Key words: production processes, information system, mathematical model, compact sets, matrix description of processes, local subsystems, streamlining databases, target function, efficiency factors.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-1-43-47

REFERENCES

1. *Prioritety aviacionnyh tekhnologij: V 2-h kn. / Nauch. red. A.G Bratuhin. M.: Izd-vo MAI, 2004. – Kn. 1. – Gl. 1-12. – 696 s.*
2. *Norenkov I.P. Informacionnaya podderzhka naukoemkih izdelij. CALS-tekhnologii / I.P. Norenkov, P.K. Kuz'mik. – M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2002. – 320 s.*
3. *Eleneva, Yu.A. Ekonomika mashinostroitel'nogo proizvodstva / Yu.A. Eleneva. – M.: Academia, 2016. – 297 c.*
4. *Golovicyna, M.V. Metody, modeli i algoritmy v avtomatizirovannoj podgotovke i operativnom upravlenii proizvodstvom RES: Monografiya / M.V. Golovicyna. – M.: Infra-M, 2016. – 317 c.*