

В. В. ЦЕХАНОВСКИЙ, В. Д. ЧЕРТОВСКОЙ  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург

## ОПТИМАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ МНОГОУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

*Отмечено, что оптимизация управления производствами является эффективным способом как при автоматизации производств, так и при применении режима оперативного перехода на выпуск новой продукции. Совместное рассмотрение вариантов с позиций системного анализа позволило сформировать методологию структурно-алгоритмического моделирования, на основе которого был предложен однородный математический метод. Представлены интересные результаты для технико-экономических процедур с агрегированным рассмотрением оперативных процедур. Одновременно получены результаты и для оперативных процедур (при детальном представлении) вместе с теорией описания. Отмечено, что более полного использования оптимизации необходимо совместное описание указанных предметных областей. Предлагаемое решение построено на базе киберфизических систем, методологии структурно-алгоритмического моделирования и однородного метода описания. Иллюстрация проведена на двухблочной модели системы. Сформулированы особенности оперативных процедур с позиций интегрального описания, представлено совместное описание предметных областей.*

**Введение.** Интерес к оптимальным производственным системам появился достаточно давно [1, 2]. Совместное изучение вариантов рассмотрено в работе [3]. Системы строились на основе системного анализа: структуризация модели системы, построение технологии математического описания и программной реализации. Предложена методология структурно-алгоритмического моделирования [2], которая дала возможность сформировать однородный метод математического описания системы, базирующийся на динамическом линейном программировании [2, 3].

Такой подход является одним из эффективных способов решения проблемы цифровизации экономики, позволяющего получить экономическую выгоду и конкурентные преимущества. Получены значительные результаты [2] для технико-экономических процедур с агрегированным рассмотрением оперативных процедур. С другой стороны, сформулированы результаты [4] и для оперативных процедур (при детальном представлении) совместно с теорией описания.

**Постановка задачи.** Раздельное планирование процедур не позволяет в полной мере использовать преимущества оптимизации и потому настоятельно требуется интеграция этих описаний процедур.

Оценке возможностей системного математического описания и исследования названных процедур посвящена настоящая работа. Системное построение процедур укладывается в современную концепцию информационных распределенных систем [5], получивших название киберфизических (КФС).

**Решение задачи.** В данном случае КФС является концепцией «сборки» блочной системы, показанной на рисунке. В качестве методологии для локальных систем предложено использовать структурно-алгоритмическое моделирование, а в качестве метода – однородный метод.

Методология предполагает определение цели исследования, выявление структуры системы и ее математическое описание, использование модели.

Целью исследования является изучение киберфизической системы (КФС). Структура такой системы состоит из двух основных блоков (блоки 1 и 2). Необходима интеграция блоков.

Системное описание блока 1 выполнено с использованием однородного метода и детально рассмотрено в работе [2].

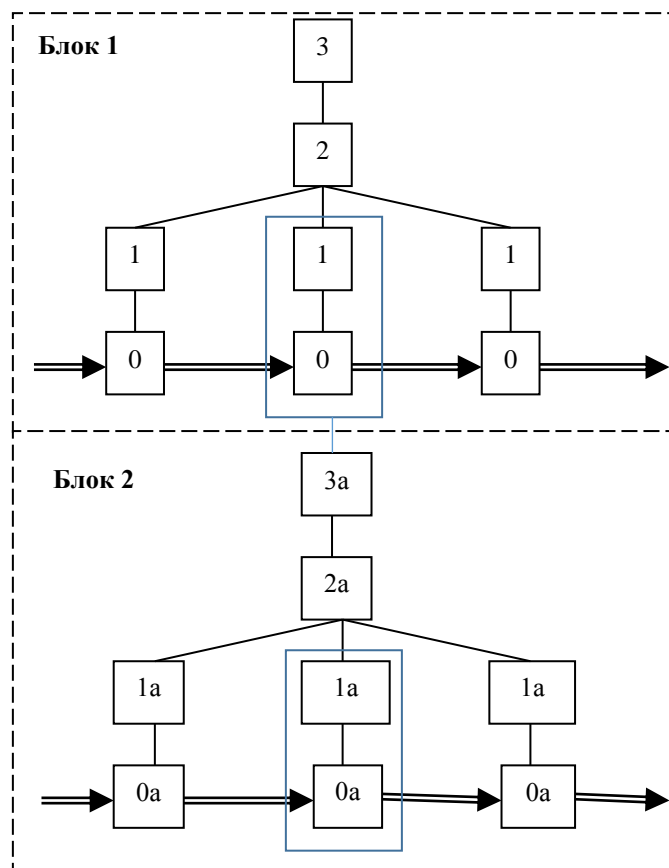


Рисунок. Общая структура системы: 0 – цехи; 1 – начальники цехов; 2 – диспетчер; 3 – руководство; 0а участки; 1а – начальник участка; 2а – цепочки участков; 3а – начальник цеха

Для блока 2 использован аппарат теории расписаний [6, 7]. Чтобы показать применимость однородного метода, обсудим специфику блока 2. Необходимо выделить синтез (проектирование) и функционирование системы. При функционировании необходимо согласование трех составляющих [6]: упорядочение, распределение и согласование.

Составляющая распределение определяет расположение обрабатываемой продукции по элементам оборудования. Она характерна только для обработки на уровне участков.

Согласование предполагает совместную работу отдельных участков и применяется как при обработке, так и при сборке.

Составляющие должны быть интегрированы. Посмотрим характеристики отдельных составляющих с позиций системности.

Составляющая «упорядочение» суть выстраивание продукции в очередь для обработки.

Составляющая «распределение» подробно представлена в работах [6, 7].

Достаточно общее описание распределения для процедуры обработки имеет следующий вид [4]. Максимизируемый функционал для такой модели (элемент 1б рисунка) определяет наибольшую прибыль от обработки выбранных деталей:

$$J = \alpha_1 \sum_{i=1}^L c_i x_i - \alpha_2 \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^m d_{ij} \wedge t_{ij}, \quad (1)$$

где  $x_i$  ( $i = 1, L$ ) – переменные,  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – весовые коэффициенты,  $d_{ij}$  – стоимость подготовки и установки одного комплекта технологической оснастки и инструмента для обработки деталей  $i$ -го типа на  $j$ -м оборудовании.

Балансовые ограничения по времени имеют вид:

$$\sum_{i=1}^L x_i (t_{ij} + z_{ij} r_{ij}) + \wedge t_j \leq y_j T, \quad j = 1, 2, \quad (2)$$

где  $t_{ij}$  – время обработки  $i$ -й детали на  $j$ -м станке,  $\wedge t_j$  – вспомогательные параметры простоев,  $r_{ij}$  – время переналадки  $j$ -го оборудования на обработку деталей  $i$ -го типа,  $z_{ij}$  – количество оборудования  $j$ -го типа, которое будет использовано для обработки деталей  $i$ -го типа,  $y_j$  – количе-

ство единиц  $j$ -го оборудования, которое входит в состав производственного участка,  $T$  – интервал времени. Величины  $z_{ij}$  и  $u_j$  задаются.

Отметим, что в составляющей «согласование» в процессе обработки можно использовать [2] задачу линейного программирования. Для процесса сборки пригоден более сложный и точный вариант с использованием аппарата сетей Петри.

В публикации-обзоре [7] анализируются следующие методы решения составляющей «упорядочение»: комбинаторный анализ, математическое программирование, статистическое моделирование и направленный перебор по методу ветвей и границ. Из них наиболее распространенными являются комбинаторный анализ и перебор по методу ветвей и границ. Однако перспективным считается сочетание комбинаторного метода и метода оптимизации.

Проведенное исследование позволяет заключить, что составляющая «распределение» рассмотрена для случая обработки, составляющая «согласование» фактически не обсуждается и для сборки приведена лишь словесная модель. Для составляющей «упорядочение» наиболее подходит комбинаторно-оптимизационный метод.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Muhammad Haseeb, Hafezali Iqbal Hussain, Beata Slusarczyk and Kittisak Jermstittiparsert.** Industry 4.0: A Solution towards Technology Challenges of Sustainable Business Performance // Soc. Sci. **8** 00154
2. **Чертовской В.Д.** Основы теории адаптивных автоматизированных систем управления производством // Труды Всероссийского совещания по проблемам управления (ВСПУ-2019, Совещание). Москва: ИПУ, 2019, С. 2676–2679.
3. **Чертовской В.Д.** Моделирование процессов адаптивного автоматизированного управления производством. СПб: Лань, 2019. 216 с.
4. **Хоботов Е.Н.** Использование оптимизационно-имитационного подхода для решения задач планирования и выбора маршрутов обработки. // Автоматика и телемеханика, 1996, выпуск 1, 121–128, выпуск 2, 147–155.
5. **Фрадков А.Л.** Кибернетическая физика: принципы и примеры. Санкт-Петербург: Наука, 2003. 208 с.
6. **Павлов К.С., Хоботов Е.Н.** Модели выбора и замены оборудования в производственных системах машиностроительных предприятий. // Автоматика и телемеханика, 2015, № 12. С. 105-143.
7. **Левин В.И., Мирецкий И.Ю.** Оптимальное планирование работ в конвейерных системах. // Автоматика и телемеханика, 1996, выпуск 6, с. 3–30; выпуск 2, с. 129–136.

V.D. Chertovskoy, V.V. Tsehanovsky (Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", St. Petersburg)

#### **Optimal Model of Manufacturing Control System**

It is noted that the optimization of manufacturing control is an effective way both in the automation of production and in the application of the regime of an operational transition to the release of new products. Joint consideration of the options from the standpoint of system analysis made it possible to form a methodology of structural-algorithmic modeling, on the basis of which a homogeneous mathematical method was proposed. Interesting results are presented for technical-economic procedures with an aggregate consideration of operational procedures.

At the same time, results were obtained for operative procedures (with detailed presentation) together with the theory of description. It is noted that a more complete use of optimization requires a joint description of the specified subject areas. The proposed solution is built on the basis of cyber-physical systems, methodology of structural-algorithmic modeling and a homogeneous method of description. The illustration is carried out on a two-block model of the system. The features of operative procedures are formulated from the standpoint of an integral description, a joint description of subject areas is presented.