

УДК 519.876.5:658.5

РАЗРАБОТКА ОБОБЩЕННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛОГИСТИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В. Н. ДОБРЫНИН, А. Н. САЛОВ, Л. С. ТИМОНИНА,
Е. С. КОНДРАШОВА, Н. Э. КОЗЛОВ

Научный руководитель А. А. МИЛОВИДОВА, канд. техн. наук, доц.
Государственный университет «Дубна»
Дубна, Россия

Для описания и анализа производственных процессов, представленных логистико-технологическими системам (ЛТС), требуется модель, сохраняющая единые принципы расчета при изменении состава операций, ресурсов и параметров конкретного производства. Дискретно-событийное моделирование позволяет описывать такие процессы через события, состояния и правила переходов [1, 2]. *Цель работы* состоит в разработке обобщенной математической модели ЛТС и ее использовании в информационно-аналитической мульти-агентной адаптивной системе (ИАМАС-ЛТС). Прикладная область разработки – производство изделий из ячеистого бетона.

Основой подхода является разделение инвариантного расчетного ядра и параметризуемого описания конкретной ЛТС. Обобщенная модель включает ориентированный граф технологической схемы G , множество ресурсов R , множество объектов обработки и партий O , параметры операций и ресурсов Θ , начальные условия S_0 , правила функционирования Π , множество пользователей и ролей U и множество решаемых задач Z .

$$M_{LTS} = \langle G, R, O, \Theta, S_0, \Pi, U, Z \rangle.$$

Конкретная производственная схема формируется заданием значений этих компонентов без изменения структуры расчетного ядра. Обобщенность модели тем самым определяется не фиксированной конфигурацией оборудования, а единым способом описания состояний, ресурсов, маршрутов и правил переходов. Граф технологической схемы задает процессы, буферы, разделители, синхронизаторы, операции передачи продукта и граничные точки. Для каждой партии фиксируются идентификатор, тип, масса, показатели качества, текущее состояние, местоположение, маршрут и ресурсный носитель.

ИАМАС-ЛТС является информационно-аналитической надстройкой над математической моделью. Мультиагентный подход используется для разделения функций и координации действий участников производственного управления [3]. Математическое ядро принимает параметры ЛТС и формирует полученные результаты. Семантическая оболочка отвечает за источники данных,

взаимодействие подсистем и агентов, действий пользователей и представление результатов для конкретных пользователей. Для доступа к ядру используется каталог классов задач и производственная ролевая модель. Доступные исходные данные, уточнение результатов, права для корректировки и границы ответственности определяются ролью пользователя.

Взаимодействие с системой осуществляется через текстовый запрос. Программа «Консультант ИАМАС-ЛТС» формирует задание для расчетного ядра из входных данных пользователя, класса задачи, роли и доступного контекста. Данный способ разделяет математическую модель и семантический интерфейс. Подход продолжает развитие интеллектуальных сред поддержки мультидисциплинарного взаимодействия, в которых согласование контекста и ролей отделяется от собственно вычислительных процедур [4].

Первичная апробация модели была параметризована для технологической схемы производства изделий из ячеистого бетона. Проверялась возможность изменения состава операций, ресурсов, начальных условий и пользовательских задач без изменения структуры расчетного ядра. Полученная конфигурация воспроизводит прохождение партии по графу технологических операций и позволяет формировать расчеты для различных ролевых запросов. Научный результат работы состоит в разработке параметризуемой графовой дискретно-событийной модели ЛТС, в которой общие правила расчета отделены от конфигурации конкретного производственного процесса. Для подтверждения адекватности модели следующим этапом предусмотрено сопоставление расчетных результатов с фактическими характеристиками работы предприятия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Law, A. M.** Simulation Modeling and Analysis / A. M. Law. – 5th ed. – New York : McGraw-Hill Education, 2015. – 804 p.
2. **Cassandras, C. G.** Introduction to Discrete Event Systems / C. G. Cassandras, S. Lafortune. – 2nd ed. – New York : Springer, 2008. – 769 p.
3. **Wooldridge, M.** An Introduction to MultiAgent Systems / M. Wooldridge. – 2nd ed. – Chichester : Wiley, 2009. – 484 p.
4. **Milovidova, A.** Architecture of an Intelligent Environment for Multidisciplinary Research / A. Milovidova // Creativity in Intelligent Technologies and Data Science : CCIS. – Cham : Springer, 2026. – Vol. 2803. – P. 370–381.