

УДК 338.32, 658.5

# ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

**П.В. Овчинников**

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И.Платова*  
Россия, 346400, Новочеркасск, ул. Просвещения, 132  
E-mail: pvo78@yandex.ru

**И.С. Щедров**

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И.Платова*  
Россия, 346400, Новочеркасск, ул. Просвещения, 132  
E-mail: shchedrov64@mail.ru

**П.П. Савельчев**

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И.Платова*  
Россия, 346400, Новочеркасск, ул. Просвещения, 132  
E-mail: savelchev00@bk.ru

**Ключевые слова:** управление производством, цифровое моделирование, производственные процессы, оптимизационные задачи.

**Аннотация:** В работе представлен опыт решения практических задач моделирования производственных процессов в ходе реализации программ цифровой трансформации промышленных предприятий. Приведена классификация задач моделирования, возникающих в условиях современного цифрового управления производством. Охарактеризованы практически значимые результаты. Проведена оценка проблем, затрудняющих внедрение в реальную управленческую практику методов и инструментов цифрового моделирования.

Появление и широкое внедрение в практику новых цифровых технологий и инструментов (искусственного интеллекта, робототехники, интернета вещей, беспроводной связи и ряда других) приводит к неизбежной трансформации подходов и способов организации бизнеса и производства. В ближайшем будущем именно эффективное использование новых цифровых технологий будет во многом определять успешность и конкурентоспособность компаний, холдингов и целых отраслей [1]. При этом, если на предыдущих этапах научно-технического развития рост эффективности производства обеспечивался, в основном, за счет роботизации и расширения возможностей IT-инфраструктуры, то в настоящее время приоритетный характер приобретают масштабная автоматизация процессов управления производством, сбытом и снабжением, логистикой, финансами, иными аспектами бизнес-деятельности [2]. Все большую актуальность приобретают задачи предиктивной аналитики, моделирования и прогнозирования производственных ситуаций, формирования цифровых двойников (полноценных цифровых моделей) производственных и экономических систем.

Необходимо отметить, что отечественными исследователями накоплен значительный опыт моделирования бизнес-процессов [3-5]. Однако, развитие цифровых инструментов и технологий ставит перед специалистами в сфере

моделирования ряд новых задач и определяет специфические требования, предъявляемые к их решению.

На протяжении последних лет рабочая группа, состоящая из сотрудников ЮРГПУ(НПИ), во взаимодействии с партнерскими предприятиями (преимущественно из сферы дискретного машиностроения) решала ряд задач по оптимизации и управлению производственными процессами. Опыт такого сотрудничества позволил сделать выводы относительно важности и приоритетности различных направлений цифрового моделирования. В укрупненном виде задачи, обладающие особой актуальностью с точки зрения предприятий-партнеров, могут быть сгруппированы следующим образом:

1. Распределительные задачи (распределение работ между операторами, распределение работ между рабочими участками, определение оптимальной последовательности выполнения заданий);
2. Составление оптимального плана работ, решение задачи на сокращение сроков комплекса работ;
3. Выравнивание комплекса работ по ритмичности, загрузке персонала, ресурсам;
4. Логистические задачи: оптимизация плана перевозок, общее уменьшение длительности маршрутов, повышение (либо снижение) напряженности графиков;
5. Определение оптимальной величины запасов при управлении жизненным циклом продукции.
6. Имитационное сценарное моделирование.

Предприятия реального сектора экономики в процессе взаимодействия выступали в качестве заказчиков научно-исследовательских работ. При этом, выдвигался комплекс требований, обусловленных необходимостью внедрения результатов решения задач в практику управления производством:

1. Программная реализация построенных моделей теми средствами, которые удобны заказчику.
2. Интеграция разработанных цифровых моделей в информационную среду предприятия (интеграция с ERP и MES- системами).
3. Быстродействие разработанного инструментария (приоритет скорости получения решения над точностью).
4. Ориентация на целевые параметры, определяемые заказчиком.
5. Предварительное определение адекватности моделей.

Одной из успешно решенных задач стала разработка и программная реализация модели распределения операций сборочного цеха машиностроительного предприятия [6]. Сборочный цех данного предприятия включает в себя поточную линию, состоящую из определенного числа сборочных постов, которое может варьироваться в заданных пределах. Процесс сборки готового изделия представляет собой последовательность взаимосвязанных операций, распределяемых между сборочными постами. По требованию заказчика необходимо было распределить операции и персонал, их реализующий, таким образом, чтобы обеспечить выполнение заданного плана выпуска готовой продукции при условии соблюдения ограничений, связанных с загрузкой персонала и закреплением персонала.

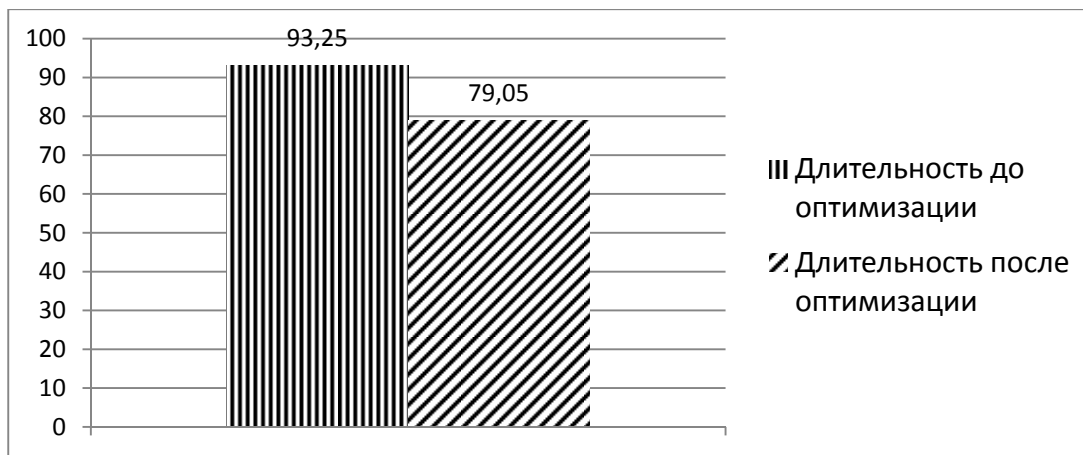
Основным подходом к решению задачи стало распределение персонала по операциям каждого поста таким образом, чтобы длительность каждого пути в рамках поста не превышала продолжительности такта (заданного времени пребывания на данном посту).

Задача распалась на две подзадачи:

- Производилось «сжатие» по времени путей внутри такта (уменьшение длительности операций за счет увеличения количества занятых на операциях работников);

- Осуществлялось перераспределение работников между операциями с целью выравнивания интенсивности задействования работников каждой категории (бригады).

Результатом решения данной задачи стало общее сокращение времени (в часах) сборки готового изделия (рис. 1).



**Рис 1.** Сокращение времени производства изделия в результате оптимизации сборочного процесса.

Следующей задачей, решенной рабочей группой ЮРГПУ(НПИ) стало **составление** оптимального плана производства для цеха механической обработки машиностроительного предприятия. На территории цеха размещен ряд обрабатывающих центров (станков и участков, далее - ОЦ). Цех должен обеспечить производство деталей определенной номенклатуры в требуемом количестве в заданные моменты времени. Каждая деталь в ходе обработки проходит последовательность технологических операций, которые осуществляются на соответствующих операциям обрабатывающих центрах. Последовательность операций, обеспечивающая полную обработку детали, называется маршрутной картой (МК). Необходимо составить график загрузки обрабатывающих центров таким образом, чтобы выполнить план выпуска деталей с минимальными дополнительными затратами на переналадку центров и сверхурочную работу. Алгоритм решения задачи представлен в работе [7].

В результате решения данной задачи удалось составить несколько вариантов плана выполнения МК за заданный рабочий период (90 дней) для различных начальных условий (таблица 1).

**Таблица 1.** Выполнение плана работы цеха при различных условиях.

	Составление расписания с учетом приоритетности сборки (в зависимости от длительности МК)		Составление расписания без учета приоритетности сборки	
	Вариант с исходной длительностью интервалов доступности	Вариант с расширением интервалов доступности для наиболее загруженных ОЦ	Вариант с исходной длительностью интервалов доступности	Вариант с расширением интервалов доступности
Выполнено МК полностью	1340	1343	4883	5113
Запущено МК в обработку	3929	3924	2453	2225
Не начато	4438	4440	2371	2369

Под интервалами доступности в таблице 1 понимается продолжительность интервала времени, в течение которого доступен тот или иной ОЦ, не включающий в себя периоды нахождения в нерабочем состоянии, обслуживания, переналадки и т.д.\

Опыт взаимодействия с предприятиями реального сектора показывает, что даже успешно решенные с формальной точки зрения задачи моделирования зачастую не могут быть полноценно использованы в практике управления. Проблемы, возникающие в ходе взаимодействия с заказчиками:

1. Отсутствие четко поставленной задачи на момент начала работ, неполное описание критериев оптимизации.
2. Неполнота исходной информации.
3. Формат предоставления исходной информации.
4. Корректировка условий задачи заказчиком в процессе ее решения.

Дальнейшая работа по цифровому моделированию производственных процессов требует формирования подходов к решению указанных проблем.

## Список литературы

1. Прохоров А., Коник Л. Цифровая трансформация. Анализ, тренды, мировой опыт / Издание второе, исправленное и дополненное. М.: ООО «КомНьюс Групп», 2019. 368 с.
2. Абдрахманова Г.И., Васильковский С.А., Вишневский К.О., Гершман М.А., Гохберг Л.М. и др. Цифровая трансформация: ожидания и реальность // XXIII Ясинская (Апрельской) междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества. Москва, 2022 г. / Рук. авт. кол. П. Б. Рудник; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2022. 221 с.
3. Бурков В.Н., Губко М.В., Коргин Н.А., Новиков Д.А. Теория управления организационными системами и другие науки об управлении организациями // Проблемы управления. 2012. № 4. С. 2-10. EDN PBCMMH.
4. Мауэргауз Ю.Е. «Продвинутое» планирование и расписания (AP&S) в производстве и цепочках поставок. М.: Экономика, 2012. 574 с. EDN QVJFOJ.
5. Ткачев А.Н., Багдасарова М.В. Имитационное моделирование финансово-хозяйственной и производственной деятельности предприятий методами системной динамики // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. С. 371. EDN SZVNPR.
6. Овчинников П.В., Гиммельберг Д.А., Савельчев П.П. Применение эвристических алгоритмов при решении задач планирования производства на предприятиях дискретного машиностроения // Управление инновациями – 2020: Материалы международной научно-практической конференции. Москва, 16-18 ноября 2020 года / Под редакцией Р.М. Нижегородцева, Н.П. Горидько. М.: Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, 2020. С. 55-58. DOI: 10.34981/Lab-67.2020.innovconf.10-ovchinnikov. EDN TBORGF.
7. Овчинников П.В., Гиммельберг Д.А., Савельчев П.П. Алгоритм формирования расписания работы цеха механической обработки машиностроительного предприятия // Вестник Южно-Российского государственного технического университета (НПИ). Серия: Социально-экономические науки. 2020. Т. 13, № 3. С. 73-78. DOI: 10.17213/2075-2067-2020-3-73-78. EDN PAEDZW.