

ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ПРОИЗВОДСТВ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ, СОЗДАННЫХ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

М.Е. Черненко, А.А. Малыханов (Ульяновск)

Введение

Имитационные модели дискретных производств позволяют принимать решения об операционных улучшениях, прогнозировать работу предприятия при изменении структуры заказов и обоснованно планировать инвестиции в основные фонды. Опыт показывает, что адекватные имитационные модели в судостроении, тяжелом машиностроении и авиакосмической промышленности невозможны без реализации алгоритмов планирования работы производства.

Именно взаимодействие имитационной модели и планировщика позволяет расширить горизонт проверки принимаемых решений до диапазонов, выходящих за рамки операционного планирования: модуль планирования составляет план-график работы предприятия на длительный срок, а имитационная модель проверяет его выполнимость и устойчивость к случайным факторам.

Однако такая комбинация обладает недостатком – имитационное моделирование выполняется строго после планирования, что не соответствует реальности, когда при значительном отставании от плана или наступлении существенного непредвиденного события выполняется перепланирование. Реализация перепланирования из любого состояния имитационной модели – отдельная задача, требующая специальных усилий. Решение этой задачи позволяет получить «цифровой двойник» – компьютерную модель, представляющую реальное предприятие с известной точностью, пригодную для планирования с учетом всех факторов, учтенных при ее создании.

Имитационные модели дискретных производств используются при поддержке принятия решений

Имитационные модели дискретных производств позволяют оценить устойчивость производственной системы к влиянию случайных процессов [1]. Кроме того, имитационные модели помогают оценивать загруженность производственных центров без трудоемких расчетов с использованием теории очередей [2], определять узкие места – «бутылочные горлышки» предприятий. С помощью имитационного моделирования можно, например, проверить, как изменится производительность при добавлении дополнительных единиц оборудования или изменении графиков его работы, сравнить результаты работы производства при различных конфигурациях оборудования. Таким образом, имитационные модели служат для поддержки принятия решений при стратегическом и среднесрочном планировании работы цехов, предприятий и групп предприятий.

Для адекватности имитационных моделей необходимо воспроизведение логики планирования

Несмотря на очевидные преимущества применения имитационных моделей, имитационного моделирования без планирования часто недостаточно для воспроизведения процессов реального мира. Рассмотрим маленький пример производства некоторого сборного изделия А, состоящего из комплектующих В и С (рисунок 1).



Рис. 1 – Состав и технологическая карта изделия А

Над каждым из комплектующих производится по 4 операции, и при этом используются 2 станка – WC1 и WC2. После выполнения обработки комплектующих В и С производится сборочная операция, в результате которой создается готовое изделие А.

На рисунке 2 приведен результат моделирования без предварительного планирования. В имитационной модели рассчитывается дата запуска производства изделия А исходя из максимальных длительностей выполнения операций при их выполнении среди всех возможных производственных центров со всеми возможными режимами работы. В результате формируется очередь операций для каждого производственного центра. При таком подходе в начале моделирования на станок 2 поступает длительная операция О-15 над комплектующим С и комплектующее В запускается в производство только после ее окончания. В примере видно, что в разное время каждый из станков простаивал длительное время в ожидании.

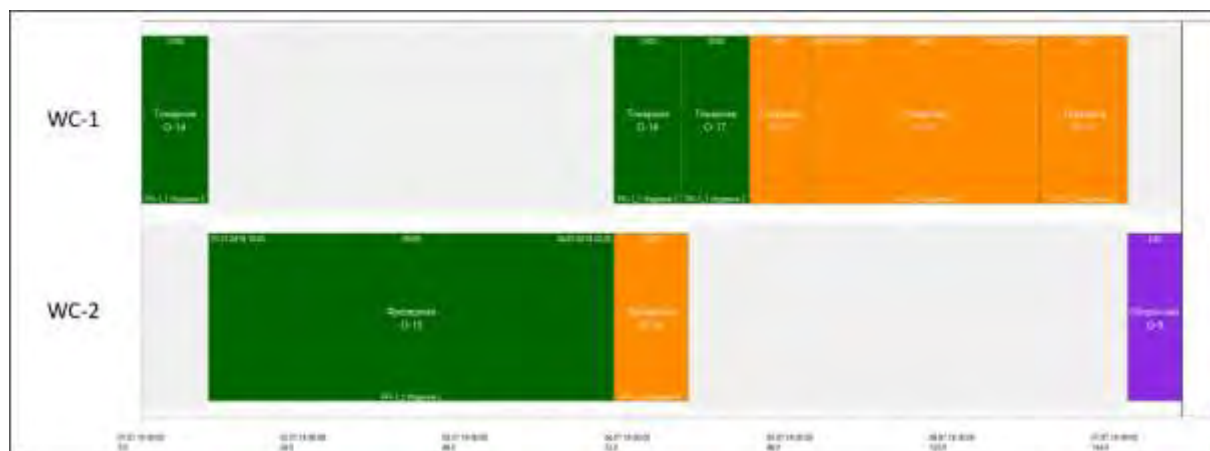


Рис. 2 – Пример моделирования без планирования

Для создания резерва времени при расчете даты начала производства может использоваться временной буфер, который прибавляется к длительности операций и создает запас времени на выполнение операции. Но из-за сложности технологических маршрутов, взаимных зависимостей изделий и большого количества операций практически невозможно подобрать правильные значения временных буферов для каждой операции даже при большом количестве имитационных экспериментов.

На рисунке 3 приведен результат моделирования того же сценария, но с использованием плана, заранее составленного модулем планирования. Алгоритм модуля планирования просчитывает разные варианты последовательности операций и выбирает тот, который уменьшает длительность производственного цикла. В результате получается план, при котором некоторые операции выполняются параллельно, и суммарное время простоев обоих станков значительно уменьшается.

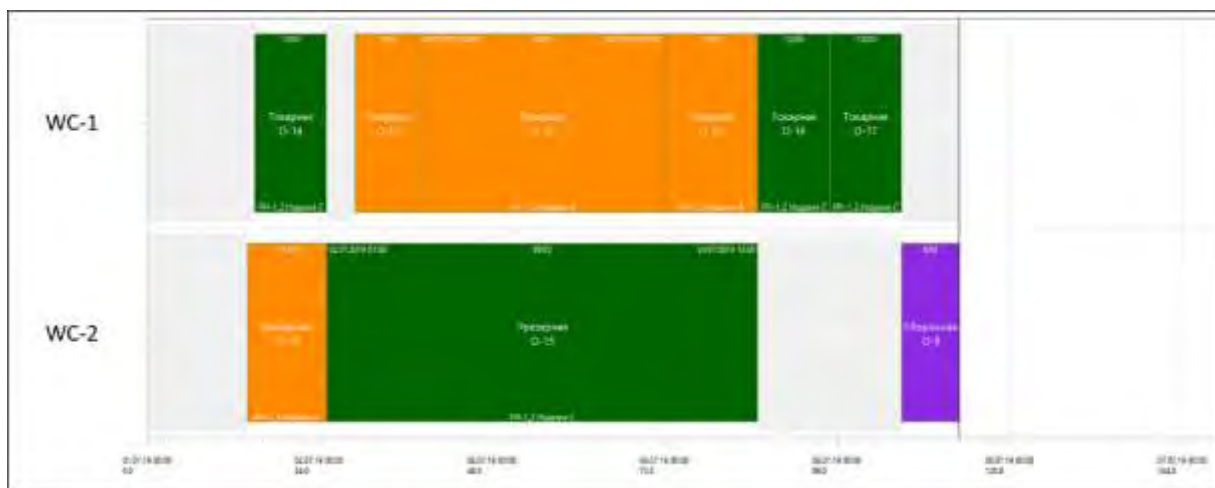


Рис. 3 – Пример моделирования на основе плана

Таким образом, использование планирования позволяет повысить адекватность имитационного моделирования, приблизить моделирование к процессам, происходящим в реальном производстве, позволяет избежать нереалистичного и заведомо неэффективного моделирования производственных процессов.

Моделирование перепланирования позволяет учесть реакцию системы на непредвиденные вероятностные события

Даже если в начале моделирования используется идеальный план производства, в реальности отклонения от плана могут возникнуть очень быстро. Например, производственный центр, выполняющий операции, может выйти из строя на длительный период времени, например, на рабочую смену. В реальности изделия, которые, согласно плану, должны обрабатываться на нем, будут перенаправлены на альтернативные производственные центры. В имитационной модели, следующей плану, этого не произойдет и возникнет задержка в производстве запланированных изделий. Для уменьшения влияния таких случайных факторов можно применять некоторый временной буфер и запускать изделия в производство немного раньше, чем это запланировано планировщиком. Но это приведет к накоплению запасов незавершенного производства и не уменьшит отклонение поведения модели от процессов реального мира. Поэтому помимо планирования необходима реализация перепланирования, которое будет перестраивать ранее составленный план исходя из изменившихся производственных условий.

На рисунке 4 приведены пример моделирования плана без перепланирования при наступлении поломки производственного центра и пример моделирования с перепланированием.

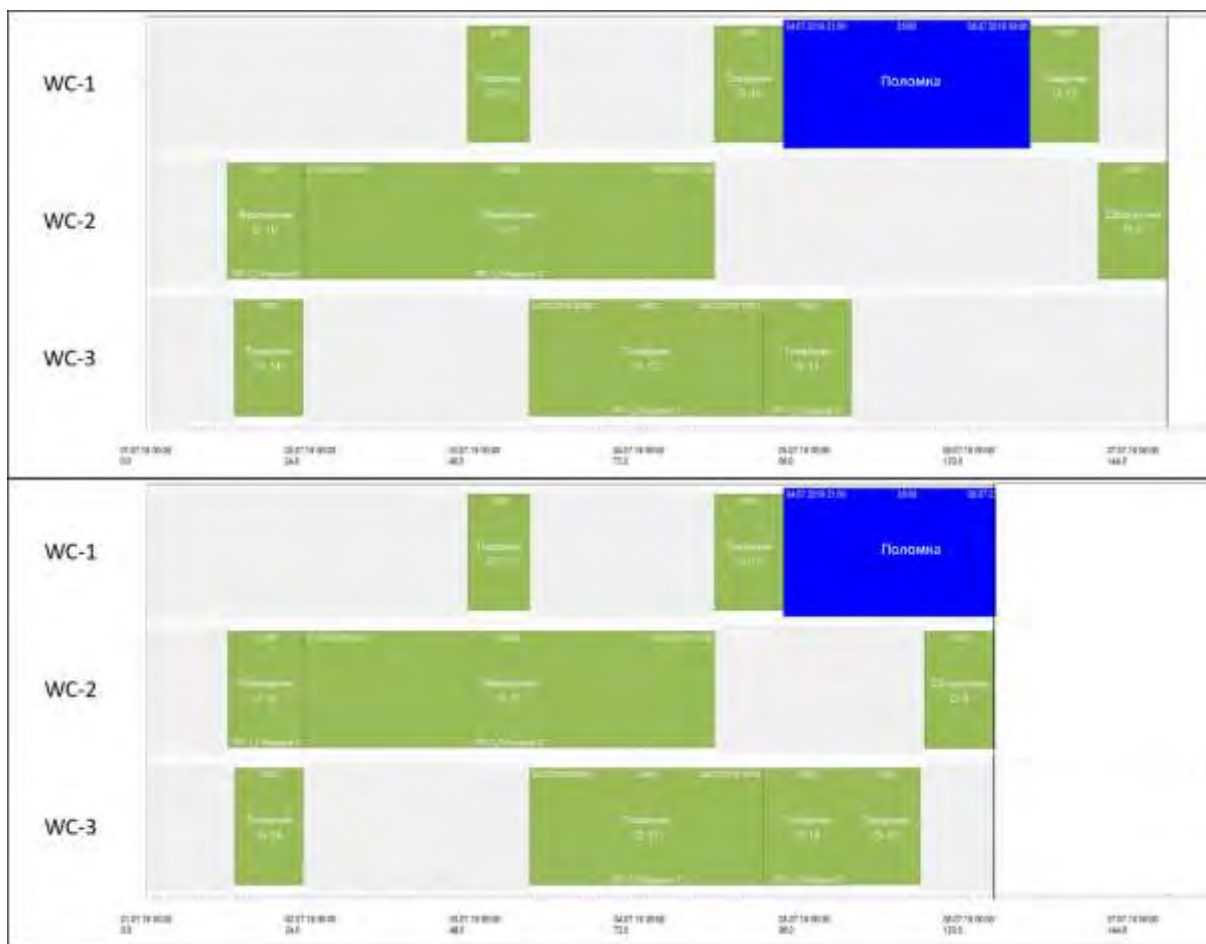


Рис. 4 – Пример моделирования без перепланирования и с перепланированием

В примере с перепланированием после возникновения аварийного простоя станка WC-1 завершающая операция O-17 над изделием С и сборочная операция O-9 передаются на альтернативный станок WC-3, благодаря чему конечное изделие А производится без отставания от производственного плана.

Применение перепланирования потребует учета намного большего количества данных о промежуточном состоянии производственной системы [3]. Для перепланирования необходима информация о том, какие операции уже начали выполняться и на каких производственных центрах, через какое время операции завершатся, где находятся изделия, транспортируемые от одного производственного центра к другому для последующей обработки, какие покупные изделия и в каком количестве уже заказаны и находятся в пути, когда они ожидаются и т.д. Но без перепланирования не стоит даже пытаться приблизить моделирование к реальности. Поэтому для того, чтобы в полной мере использовать все возможности имитационного моделирования дискретных производств, необходима реализация не только планирования, но и перепланирования.

Выводы

Компьютерная модель, в которой хранится информация о промежуточном состоянии производственной системы в каждый момент времени, способная планировать производство, перестраивать план в процессе выполнения имитационного эксперимента, и проверять выполнимость плана с помощью имитационной модели, может использоваться для имитационного управления, т.е. управления производством с

помощью имитационной модели. Такую компьютерную модель можно рассматривать как цифровой двойник производственного предприятия.

Термин «цифровой двойник» неоднозначный. Применительно к любому сложному объекту, каким является производственное предприятие, можно говорить о нескольких цифровых двойниках, в зависимости от целей их создания. Например, для постройки нового завода будет использоваться не тот же цифровой двойник, какой целесообразно использовать при планировании производства. Мы говорим о цифровом двойнике, созданном для целей динамического оперативного управления производством. На наш взгляд, наиболее эффективный путь к построению такого цифрового двойника лежит через имитационное моделирование. При выборе и обосновании закупки тех или иных станков используется имитационная модель. Для проверки выполнимости сложных производственных программ, состоящих из разных изделий с разными технологическими маршрутами, нужен планировщик, который позволит оценить нагрузку на разные станки. Для учета реакции на непредвиденные события, такие, как поломки станков или задержки поставок комплектующих изделий, необходима логика перепланирования. Все эти компоненты составляют «цифровой двойник», пригодный для имитационного управления производственным предприятием.

Литература

1. Имитационное моделирование: учеб. пособие / М. С. Эльберг, Н. С. Цыганков. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2017. – 128 с.
2. **Рыжиков Ю.И.** Имитационное моделирование и теория очередей// Материалы III Всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2007, Санкт-Петербург). СПб.: ФГУП ЦНИИТ, 2007. С. 47-57.
3. **Морозов А.Л., Малыханов А.А.** Моделирование внепечной обработки меди: создание планировщика и библиотеки моделирования мостовых кранов // Девятая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2019). Труды конференции, 16–18 октября 2019 г., Екатеринбург: Урал. гос. пед. ун-т., 2019.– 678 с. - ISBN 978-5-91450-172-0. С. 185-190.