

Применение методов алгоритмизации в процессе имитационного моделирования технологических процессов

Е. Лийн¹, О. Хомутская, к. т. н.², С. Ванцов, к. т. н.³

УДК 338.32.053.4: 658.511.3

Общим местом в настоящее время является факт увеличения спектра выпускаемой приборостроительной продукции на фоне уменьшения величин партий изготавливаемых изделий. Эта тенденция означает, что приборостроительное производство, значительной частью которого являются электронные изделия и, в частности, комплектующие и устройства авионики, становится всё более мелкосерийным, что вступает в противоречие с требованием увеличения эффективности использования производственных фондов, основным критерием которой является коэффициент загрузки производственного оборудования.

ВВЕДЕНИЕ

Понятие «загрузка оборудования» неразрывно связано с эффективностью использования внутрисменного рабочего времени, в том числе с энергозатратами и оплатой труда работников. Особенностью современного мелкосерийного производства является также и то, что значение коэффициента загрузки меняется в зависимости от спроса на выпускаемую продукцию.

Вместе с тем современное производственное оборудование для многономенклатурного мелкосерийного производства всё более начинает отвечать требованиям цифрового производства, то есть становится всё более гибким, способным к переналадкам на новое производственное задание, как в программном, так и в аппаратном смысле.

Под аппаратной гибкостью следует понимать способность производственной базы к переструктурированию без изменения состава используемого технологического оборудования за счет возможности изменения маршрутов перемещения объектов обработки внутри производственных участков и использования промышленных роботов как непосредственно для выполнения вспомогательных технологических операций, так и перемещения объектов обработки между стационарными

рабочими позициями. Это приводит к увеличению вариантов маршрутов перемещения и изготовления изделий, с учетом очередности и одновременности их запуска в производство.

Целевой функцией выбора оптимального маршрута перемещения объекта и момента его попадания на рабочее место в соответствии с технологическим маршрутом является с экономической точки зрения обеспечение наибольшего коэффициента загрузки оборудования и сокращение времени его простоя.

Определение численных значений целевой функции – достаточно сложная комбинаторная задача, которая для своего решения требует существенных затрат времени при отсутствии гарантированности достижения максимального значения искомой функции. Однако именно так строго решается задача формирования сменно-суточных заданий для производственных участков.

На практике приблизительное получение оптимальных решений задачи очередности запуска сменно-суточных заданий, как правило, осуществляется на основании имеющегося производственного опыта плановых отделов предприятия и отчасти вступает в противоречие с волюнтаристическими решениями руководства, связанными с желанием наискорейшего выполнения полученных портфелей заказов. Однако «быстрее» не означает, что выбрано экономически оптимальное решение.

С учетом возрастающей степени цифровизации производства и, соответственно, увеличением вычислительных возможностей на каждом из его структурных

¹ МАИ (НИУ), студент каф. 307, elijn@bk.ru.

² МАИ (НИУ), доцент, khomutskayaov@gmail.com.

³ МАИ (НИУ), доцент, vancov@medpractica.ru.

уровней эффективным средством формирования сменно-суточных заданий становится проведение имитационного моделирования различных вариантов организации последовательности запуска и маршрута выполнения технологических операций на основе данных об имеющемся на предприятии производственном оборудовании. При этом учитывается как размещение оборудования в производственном помещении, так и возможные пути перемещения исходного материала и полуфабрикатов.

Применение имитационного моделирования, сопровождаемого непрерывным визуальным отображением его результатов, позволяет повысить прозрачность осуществления выполняемых операций на производственном участке, а также дает возможность пошаговой оценки ситуации на каждом этапе действий. Результаты пошаговой оценки ситуации являются ключевой информацией для выбора оптимального варианта аппаратной гибкости производственного участка для данного набора имеющихся в портфеле производственных заданий.

Вместе с тем создание имитационных моделей технологических процессов требует определения образующих модель элементов и взаимосвязей между ними, а также анализа возможных допущений и накладываемых ограничений для обеспечения их адекватности.

ПЛАНЫ-ГРАФИКИ КАК ИНСТРУМЕНТ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА

Наглядность хода имитационного моделирования с визуальной оценкой состояния, как отдельных технологических рабочих мест, так и производственных участков в целом, делает возможным использование вариантов

построения планов-графиков прохождения объекта производственного задания по технологическому маршруту (рис. 1).

За счет использования планов-графиков реализуется возможность рассмотрения работы в каждый момент времени не только целиком производственного участка, но и детально каждой рабочей позиции на участке: в каком состоянии она находится в данный момент, в каких отношениях со смежными позициями, и находится ли на ней полуфабрикат. При этом при увеличении количества отслеживаемых параметров и позиций перманентно усложняется процесс построения плана-графика. При отсутствии структурированного подхода уследить и описывать состояния большого количества позиций становится практически невозможно, не говоря уже об описании взаимодействия двух и более производственных участков, включающих в себя свои рабочие позиции. Для решения данной проблемы предлагается алгоритмизировать процесс построения планов-графиков.

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОСТРОЕНИЯ ПЛАНОВ-ГРАФИКОВ РАБОТЫ ПРОИЗВОДСТВА

Для работы с алгоритмом необходимо иметь данные о количестве позиций, количестве полуфабрикатов, над которыми будет производиться работа в рамках производственного участка, времени работы каждой позиции (каждая операция занимает некоторое время, в зависимости от специфики производства время операций может составлять как секунды, так и часы, поэтому введем абстрактную величину времени, называемую тактами), знать маршруты полуфабрикатов/сборочных единиц (последовательность позиций, на которые приходит полуфабрикат) и время переходов между позициями.

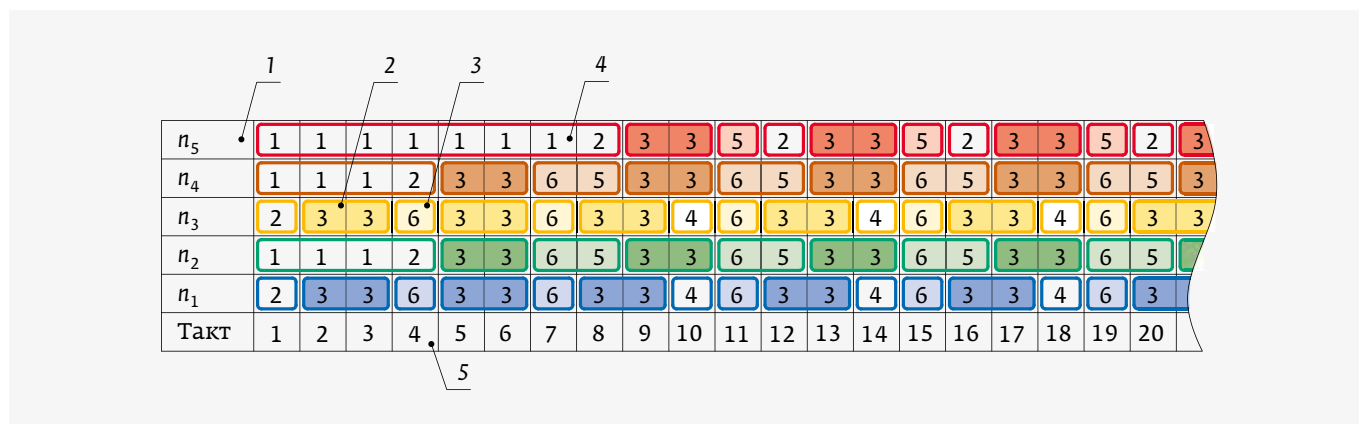


Рис. 1. Пример представления плана-графика. 1 – обозначение номера рабочей позиции (n_i); 2 – цветовой обозначение (интенсивный фон) для отображения состояния позиции «работает»; 3 – цветовой обозначение (бледный фон) отображения вспомогательных операций; 4 – обводка (без фона) для состояний типа «простой»; 5 – номер текущего такта

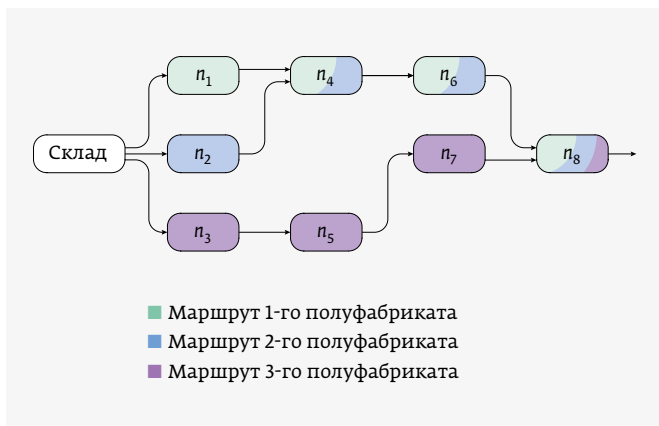


Рис. 2. Схематическое представление примера производственного участка с обозначением маршрутов полуфабрикатов

По наличию информации о количестве позиций, полуфабрикатов и о маршрутах можно представить производственный участок в схематическом виде. Например, имея входные данные:

1. Количество позиций: 8;
2. Количество полуфабрикатов: 3;
3. Маршруты:
 - 3.1. $n_1-n_4-n_6-n_8$;
 - 3.2. $n_2-n_4-n_6-n_8$;
 - 3.3. $n_3-n_5-n_7-n_8$.

получаем схематическое представление производственного участка с указанием маршрутов, приведенное на рис. 2.

На схеме рис. 2 можно проследить маршруты каждого из трех полуфабрикатов, отметив при этом позиции, на которых они собираются, образуя сборочные единицы (рис. 2, n_4, n_8). На начальном этапе предполагается, что все дополнительные детали уже находятся на соответствующих рабочих позициях и не оказывают влияния на время прохождения технологического маршрута. Параметры, необходимые для описания вида производственного участка, будем называть первичными. Данные об остальных параметрах (время работы позиций, время переноса полуфабриката между позициями, время доставки полуфабриката со склада) назовем вторичными. Табл. 1 является примером представления необходимых вторичных данных для производственного участка.

Для описания работы алгоритма необходимо ввести состояния, в которых позиции могут находиться в определенном такте:

1. «Свободен» – n_i не работает, не ждет полуфабриката, не передает его на следующую позицию n_{i+1} , а также не ждет, чтобы передать;
2. «Ожидает материал» – n_i ожидает, пока с предыдущей позиции n_{i-1} или со склада доставят полуфабрикат для работы (n_{i-1} находится в состоянии «несет»);
3. «Работает» – n_i совершает основную технологическую операцию: обрабатывает материал;
4. «Ожидает передачи» – n_i ждет, пока следующая позиция n_{i+1} освободится и будет готова принять полуфабрикат от n_i ;
5. «Несет» – n_i несет полуфабрикат на следующую позицию n_{i+1} .

На основе описанной задачи построим блок-схему функционирования позиции производственного участка (рис. 3).

Каждый блок имеет заранее заданные правила функционирования, поэтому мы имеем возможность построить для него алгоритм обработки. Представленный алгоритм будет работать при учете определенных правил работы производственного участка для имитационной модели:

- пока n_{i+1} работает над полуфабрикатом, он не может принять еще один готовый полуфабрикат от позиции n_i ;
- пока на позиции n_i находится полуфабрикат, над которым уже произведена работа, позиция не может приступить к работе над следующим полуфабрикатом;
- на позицию n_i для работы могут передаваться полуфабрикаты с одной и более линий;
- позиция n_i может начать работу, только когда все необходимые полуфабрикаты получены.

Таблица 1. Форма представления входных данных

Номер позиции	Время работы позиции (t_i), такт	Время переноса полуфабриката с позиции на следующую (k_{ij}), такт	Время доставки полуфабриката со склада на позицию (k_{0j}), такт
n_1			
n_2			
...			
n_8			

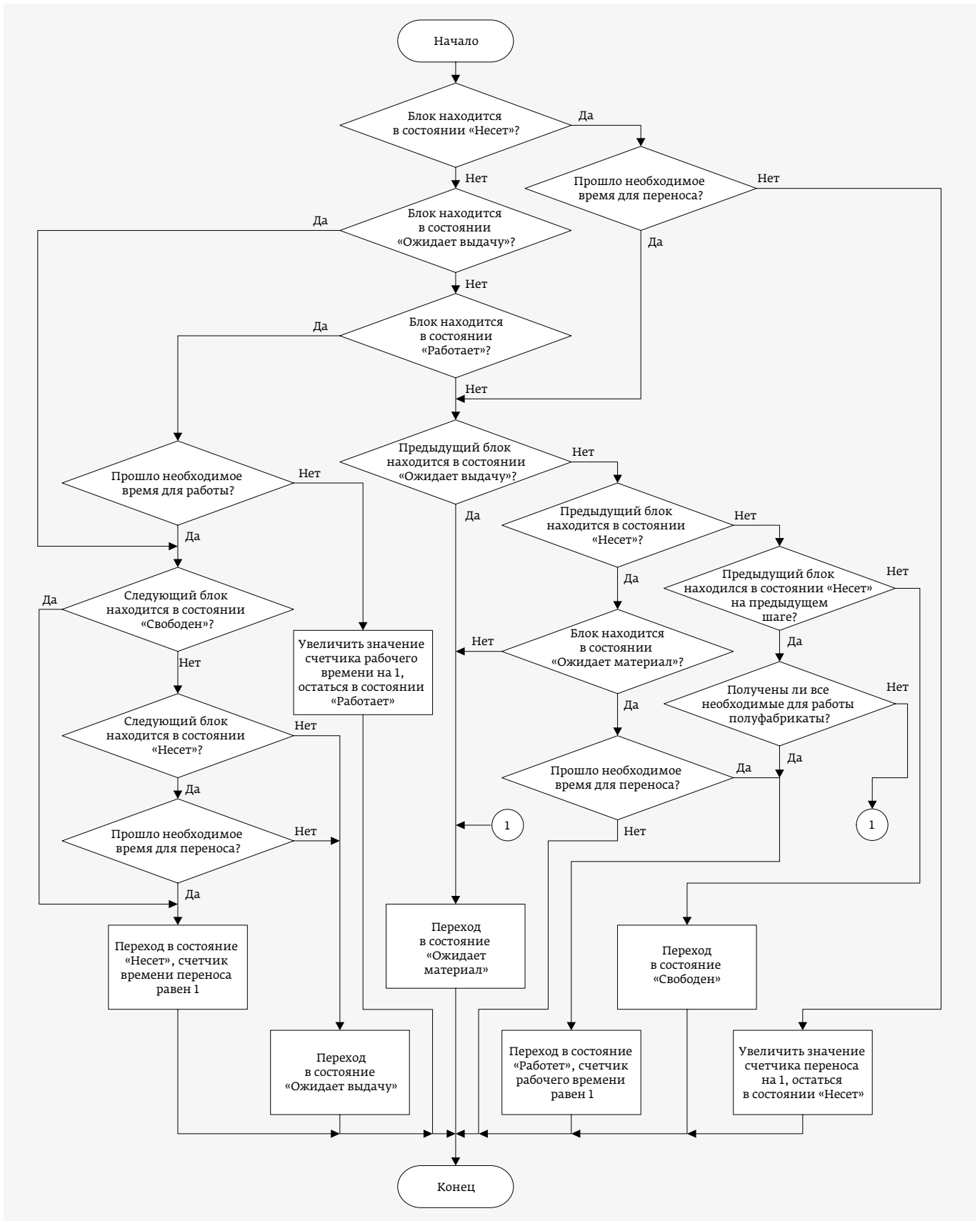


Рис. 3. Блок-схема алгоритма функционирования позиции

За счет заданных правил функционирования для блоков появляется фактор общности, на основании чего каждый блок может обрабатываться одним и тем же алгоритмом.

Кроме того, что необходимо создать алгоритм для обработки состояний позиций производственного участка, также необходимо реализовать процесс переходов между позициями, то есть супервизор позиций (рис. 4).

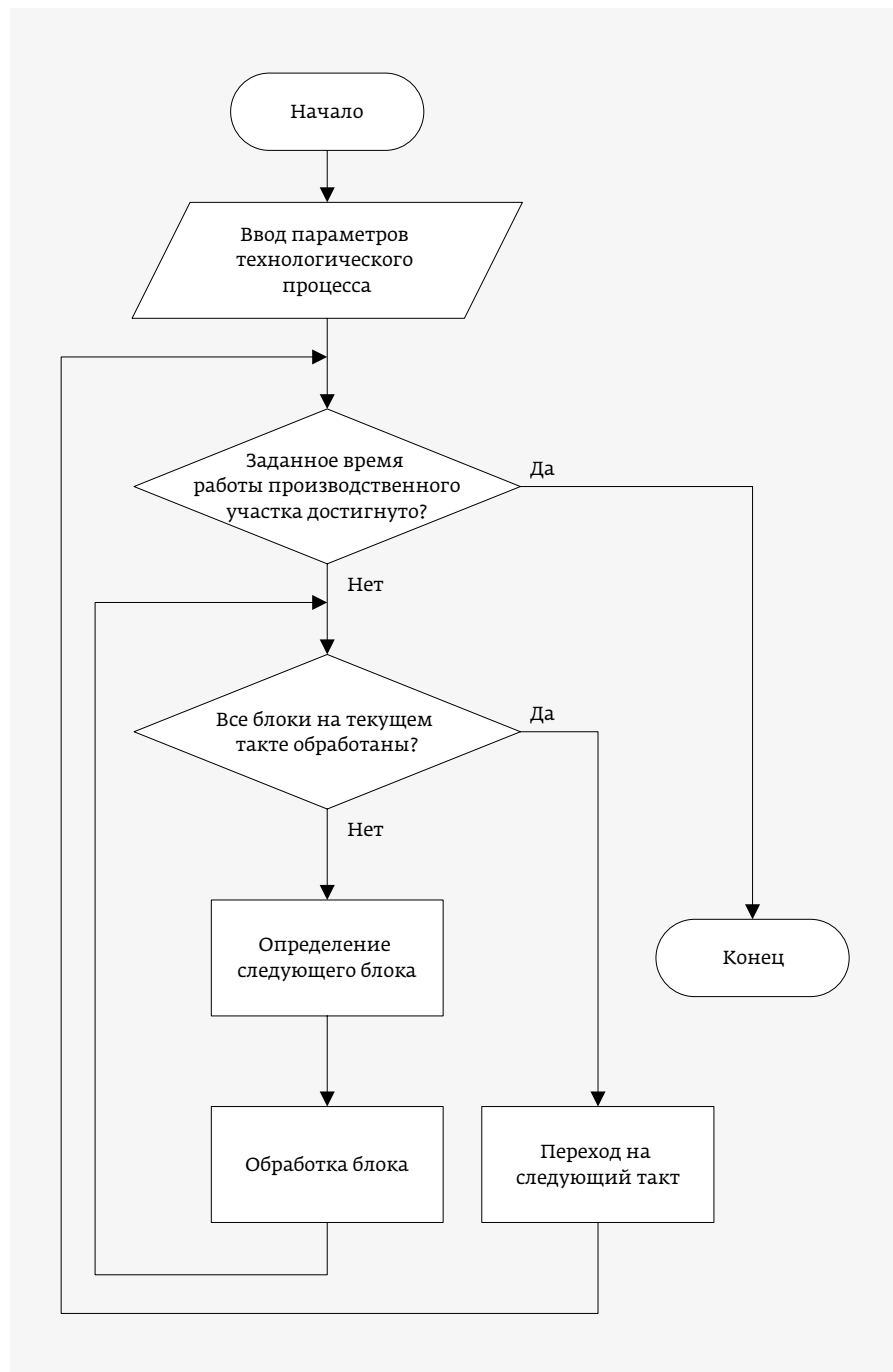


Рис. 4. Блок-схема алгоритма работы супервизора позиций

Так как работа на производственном участке может идти параллельно на нескольких позициях, то появляется необходимость отслеживания порядка обработки позиций супервизором. Для этого введем понятие уровня, определяемого количеством предыдущих позиций относительно текущей (рис. 5). Если данная позиция не может начать работу, пока полуфабрикат не пройдет одну любую позицию до этого, то этой позиции присваивается второй уровень. В случае, если полуфабрикат должен пройти ранее N уровней позиций, позиция, на которую он в результате приходит, получает уровень $N+1$ (в случае, если ранее было более одной позиции, но каждая из них имеет первый уровень, следующей позиции присваивается второй уровень).

На основе уровней позиции можно определить порядок обработки позиций супервизором: сначала необходимо обработать все позиции первого уровня, затем – второго и т.д. При этом порядок опроса позиций одного уровня не имеет значения.

Для того чтобы определиться, какой блок относится к какому уровню, рассмотрим представленный ранее маршрут деталей по линии производства в представленном примере.

Для того чтобы определиться, какой блок относится к какому уровню, рассмотрим представленный ранее маршрут деталей по линии производства в представленном примере.

Позиции n_1 , n_2 и n_3 могут работать без участия остальных позиций, поэтому им присваивается первый уровень. Позиции n_4 и n_5 зависят каждая от задач предыдущего уровня и, следовательно, являются вторым уровнем. Позиции n_6 и n_7 также зависят от предыдущих позиций второго уровня, соответственно, им присваивается уровень выше – третий; с n_8 ситуация аналогичная, поэтому – четвертый уровень.

Таким образом, рассмотренный алгоритм позволяет в автоматическом режиме строить план-график производственного процесса, определяемого описанными ранее условиями. Алгоритм прост для реализации с помощью современных программных средств, что позволит существенно упростить задачу построения планов-графиков

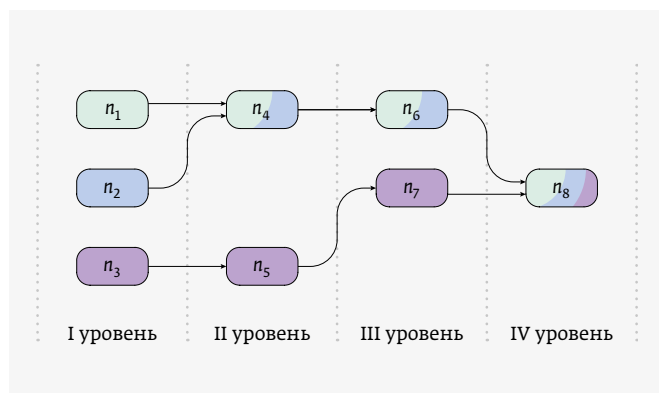


Рис. 5. Уровни позиций производственного участка

и сосредоточить внимание на основной проблеме оптимизации технологических процессов.

ВЫВОДЫ

В работе исследована возможность применения алгоритмов при построении имитационных моделей технологических процессов в формате планов-графиков.

В процессе работы сформированы принципы формализации и подготовки информации о производственном участке к алгоритмизации, на основе чего разработаны алгоритмы автоматического создания планов-графиков производственного процесса. Внедрение и освоение такого инструмента позволит снизить трудозатраты при построении плана-графика, освобождая временной ресурс непосредственно для решения задач, в большей степени требующих творческого участия – таких, как изучение методов организации производства и влияния определенных действий на параметры и эффективность работы производственного участка.

К ограничениям разработанного подхода построения имитационных моделей относятся: отсутствие возможности моделировать обратные связи и вероятностные процессы, ограничения на структуру моделируемого производства, а также отсутствие учета влияния человеческого фактора. Однако данный подход может являться основой для построения полноценной системы моделирования технологических процессов, в которой основным фактором является гибкость системы, включающая возможности добавления новых взаимосвязей и ограничений, а также возможность отойти от принципов метода генерализации, углубляясь в процесс и учитывая более мелкие детали.

Дальнейшее развитие данной тематики предполагает распространение представленных подходов к проведению имитационного моделирования производственных заданий произвольного объема и использованию генетических алгоритмов моделирования.

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук (МК-582.2022.4).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Smirnov K., Nazarov A.** Hardware and Software Complex for the Automation of Functional Control of Super-Large Integrated Circuits // Телекоммуникации. 2017. № 12. С. 70.
2. **Рахмилевич И., Хомутская О., Ванцов С.** Коллективное использование производственных мощностей в условиях цифровой экономики // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2020. № 5 (196). С. 144–148.
3. **Лийн Е. А.** Анализ методов оптимизации производственных процессов. В книге: Гагаринские чтения – 2022 // Сборник тезисов работ международной молодежной научной конференции XLVIII. Москва, 12–15 апреля 2022, с. 261–262.
4. **Хомутская О. В.** Управление качеством технологического процесса с использованием интеллектуального анализа данных // 14-я Международная конференция «Авиация и космонавтика – 2015» тезисы, Москва, 16–20 ноября 2015, с. 465–467.
5. **Лийн Е. А.** Разработка системы имитационного моделирования технологических процессов для анализа простоев на производстве // Сборник аннотаций конкурсных работ. XIV Всероссийский межотраслевой молодежный конкурс научно-технических работ и проектов «Молодежь и будущее авиации и космонавтики». М.: Издательство «Перо», 2022. С. 83.
6. **Коробков М. А., Васильев Ф. В.** Применение искусственного интеллекта в управлении технологическими процессами // Тезисы докладов 20-й Международной конференции «Авиация и космонавтика», Москва, 22–26 ноября 2021 года, с. 233–234.
7. **Коробков М. А.** Исследование проблем создания цифрового производственного участка // Сборник тезисов работ XLVII Международной молодежной научной конференции, Москва, 20–23 апреля 2021, с. 311–312.

ООО
СМП

ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН

www.SMD.ru

электронные
для поверхностного
монтажа

НОВОЕ В ПРОГРАММЕ ПОСТАВОК

- Катушки индуктивности на токи до 10 А
- U.FL разъемы и pigtail со SMA

Москва, Ленинградский пр., 80 к. 32. e-mail: sale@smd.ru
Тел.: (499) 158-7396, (495) 943-6244, (499) 943-6780



Стоимость 2200 р. за номер
Периодичность: 10 номеров в год
www.electronics.ru



Стоимость 1450 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.photonics.ru



Стоимость 1450 р. за номер
Периодичность: 6 номеров в год
www.j-analytics.ru

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛЫ

www.technosphere.ru



Стоимость 1300 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.lastmile.ru



Стоимость 1300 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.nanoindustry.ru



Стоимость 1800 р. за номер
Периодичность: 4 номера в год
www.stankoinstrument.ru