

УДК 658.51:519.711.3

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ОПЕРАТИВНОМ УПРАВЛЕНИИ
ПРОИЗВОДСТВОМ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

И. Г. Оксанич, И. В. Шевченко, Н. В. Рылова

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, 39600, г. Кременчуг, Украина. E-mail: rylovanataly@rambler.ru

Рассмотрены основные задачи оперативного управления производством полупроводниковых материалов. Отражены основные этапы и характерные особенности производства. Проанализировано современное состояние проблемы моделирования производственной системы, выполнен анализ существующих подходов к математическому описанию системы оперативного управления производством. Приведена краткая характеристика математических методов, которые могут быть использованы для решения задач оперативного управления, и показана их взаимосвязь. Все методы условно разделены по группам: методы, основанные на интеллектуальных технологиях; методы экономической кибернетики, статистические методы; обособленно стоят методы теории автоматического управления.

Ключевые слова: оперативное управление, производство полупроводниковых материалов, математические методы, многостадийное производство, методы прогнозирования, теория адаптивных систем, теория искусственных нейронных сетей.

**МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ В ОПЕРАТИВНОМУ УПРАВЛІННІ
ВИРОБНИЦТВОМ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ**

І. Г. Оксанич, І. В. Шевченко, Н. В. Рылова

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна. E-mail: rylovanataly@rambler.ru

Розглянуті основні задачі оперативного управління виробництвом напівпровідникових матеріалів. Відображені основні етапи й характерні особливості виробництва. Проаналізовано сучасний стан проблеми моделювання виробничої системи, виконано аналіз існуючих підходів до математичного опису системи оперативного управління виробництвом. Наведена коротка характеристика математичних методів, які можуть бути використані для вирішення задач оперативного управління, та показано їх взаємозв'язок. Всі методи умовно розділені по групам: методи, які базуються на інтелектуальних технологіях; методи економічної кібернетики; статистичні методи; окремо стоять методи теорії автоматичного управління.

Ключові слова: оперативне управління, виробництво напівпровідникових матеріалів, математичні методи, багатостадійне виробництво, методи прогнозування, теорія адаптивних систем, теорія штучних нейронних мереж.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Важная роль в повышении эффективности функционирования современного производства отводится информационным управляющим системам, которые в своем составе содержат систему технико-экономического управления и систему оперативного управления производством. Последние две системы ориентированы на решение задач планирования и организации, учета и контроля, прогнозирования и выявления отклонений от запланированного хода производства, выработки и принятия управленческих решений.

Решение проблем, направленных на совершенствование планирования, организации и управления производством, требует переработки значительных объемов информации, отражающей цели и критерии функционирования, ограничения и регламентации производственных процессов. Выработка способов технико-экономического управления и принятия оперативных решений требует построения моделей производственных функций и прогнозных моделей производственных процессов.

Решение таких задач сопряжено с преодолением различного рода неопределенностей, которые приводят к некорректности постановок задач моделирования и оптимизации. Одна из причин некорректности состоит в том, что практически все управленческие решения принимаются как многокритериаль-

ные по совокупности технико-экономических показателей, а трудности, возникающие при решении рассматриваемого класса задач, объясняются высоким уровнем стохастичности производства, недостаточным уровнем автоматизации планово-учетных работ, отсутствием системного математического описания производственных процессов и алгоритмов эффективного управления.

Очевидно, что вследствие высокого уровня различного рода неопределенностей, порождаемых в процессе функционирования системы оперативного управления производством, для решения задач моделирования и оптимизации требуются устойчивые алгоритмы, позволяющие снижать уровень указанной неопределенности. Кроме того, возникающие трудности в решении указанных задач связаны с предельными возможностями методов и алгоритмов, входящих в состав специального математического обеспечения АСУ. Поэтому разработка и исследование алгоритмов моделирования и оптимизации оперативного управления производством представляется весьма актуальной задачей.

Для создания систем оперативного управления производством требуется изучение большого количества взаимосвязанных бизнес-процессов, учета тренда характеристик и проявления внешней среды. Поэтому целью работы является обзор приложений

математических методов для выработки и принятия управленческих решений, связанных с оперативным управлением производством, и отображение взаимосвязи методов между собой.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

1. *Производство монокристаллов полупроводников как представитель класса многостадийных дискретных производств.*

Производство монокристаллических слитков подразумевает реализацию следующих основных этапов:

- формирование календарного плана производства;
- материально–техническое обеспечение производства согласно технологическим нормативам;
- входной контроль качества сырья, материалов и оснастки;

- подготовка шихты и компоновка загрузок для плавки в установках выращивания;
- выращивание монокристаллических слитков;
- предварительная обработка слитков;
- контроль параметров слитков согласно требований спецификаций;
- доводка слитков и оформление готовой продукции.

Укрупненная технологическая схема получения монокристаллов кремния охватывает следующие подразделения организационной структуры: отдел технического контроля, участок компоновки, участок выращивания, участок механической обработки, измерительная лаборатория, химическая лаборатория, отдел сбыта (рис. 1). Каждое из подразделений реализует определенную совокупность технологических операций.

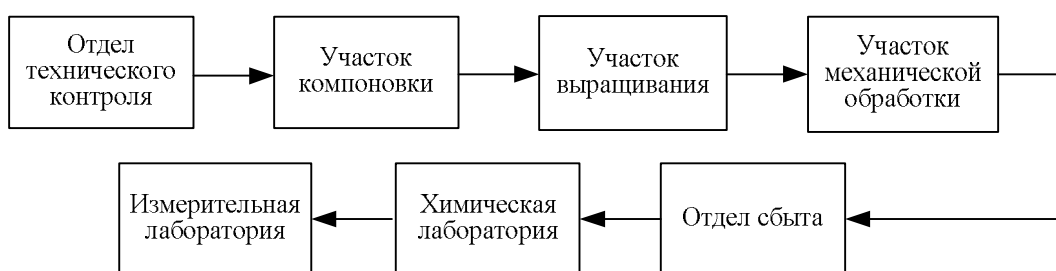


Рисунок 1 – Укрупненная технологическая схема получения монокристаллов кремния

Отдел технического контроля реализует входной контроль сырья, тиглей, материалов, оснастки, инструмента, а также выходной контроль качества готовой продукции.

На участке компоновки реализуются следующие технологические операции:

- проверка и подготовка поликристаллического кремния;
- развешивание поликристаллического кремния;
- сортировка оборотного кремния по удельному электросопротивлению и типу проводимости;
- развешивание оборотного кремния;
- приготовление навесок лигатуры;
- формирование загрузок и их контроль.

Производство полупроводниковых материалов можно рассматривать как совокупность последовательно связанных частичных производственных процессов. Объективно существующие условия пропорциональности между этими частичными процессами не являются саморегулирующимися и часто нарушаются из-за недостаточно высокого уровня организации производства и оперативного планирования. Подобные нарушения приводят к аритмии выпуска продукции и снижению экономической эффективности работы предприятия. Поэтому оперативное управление, как составляющая часть внутризаводского управления, должно обеспечить поддержку пропорций между частичными производственными процессами, причем эти пропорции должны быть оптимальными. Роль оперативного управления в поддержке эффективной про-

порциональности развития частичных производственных процессов заключается в усовершенствовании работы, как отдельных рабочих мест, так и производственных участков и цехов. Эта роль является исключительно важной, потому что чем больше согласованы и связаны между собой в пространстве и времени разного рода работы, тем меньше затраты времени в процессе их использования и тем выше уровень непрерывности производственных процессов.

Производственный процесс, в принципе, должен протекать соответственно заданному плану. Но из-за сложности этого процесса, его стохастического характера, наличия неопределенности относительно некоторых его элементов всегда будут существовать отклонения фактического состояния производства в каждый отдельный момент времени от его расчетного состояния. Это обуславливает усиление роли и значения тех функций оперативного управления, которые направлены на локализацию и устранение разных отклонений, которые возникают в ходе выполнения плановых заданий. Эти функции реализуются подсистемой оперативного регулирования ходом производства. Очевидно, что подсистема оперативного регулирования должна тесно взаимодействовать с подсистемой планирования, и это взаимодействие должно выполняться на всех уровнях управления. Связь планирования с оперативным регулированием необходима для повышения уровня стабильности календарных планов путем синтеза оперативных планов, которые играют в данном случае роль управляющих воздействий на ход произ-

водства. Корректирование планов на основе оперативной информации о состоянии производства с целью уменьшения воздействия возмущений на ход производственного процесса – одна из основных функций системы оперативного управления производством полупроводниковых материалов.

Проблемы современного управления производством, обусловленные необходимостью повышения его эффективности, требуют оперативного принятия оптимальных решений в случаях изменения, детерминировано или случайно, условий производства. Значение элемента мобильности в управлении непрерывно связано с эффективным использованием выделенных для производства материальных, трудовых и финансовых ресурсов. Это в полной мере относится и к оперативному управлению производством полупроводниковых материалов, важная роль которого заключается в рациональной организации движения предметов труда, в повышении уровня эффективности использования основных и оборотных средств, в определении рациональной очередности обработки полуфабрикатов. Характерное свойство ресурсов – их ограниченность. Именно она приводит к возникновению конфликтных ситуаций в управлении производством. Решение этих конфликтов, причем наиболее эффективным образом, и есть заданием системы оперативного управления производством полупроводниковых материалов. Реализуя функцию распределения ресурсов, оперативное управление тем самым прямо влияет на экономику производства.

Процесс изготовления различных полупроводниковых материалов имеет вероятностный характер, ему свойственно низкое отображение результатов, причиной которого является влияние многих неконтролируемых факторов. Это производство характеризуется многостадийностью, групповой технологией обработки полуфабрикатов на всех стадиях, наличием между соседними стадиями накопителей полуфабрикатов, низкой точностью контроля некоторых основных параметров технологических режимов и нестабильностью портфеля заказов в течение планового периода. Кроме того, низкий уровень автоматизации планово-учетных и управленческих процедур усложняет процесс принятия управленческих решений. Это вызывает объективную необходимость корректировки оперативных планов, их согласование с изменяющимися условиями производства.

Для повышения эффективности оперативного управления производством необходимо разработать инструментарий, ориентированный на класс объектов организационно-технологического управления и предназначенный для моделирования и оптимизации системы оперативного управления производством. Это позволит учесть особенности функционирования производственной системы и проявления внешней среды. Будучи проблемно-ориентированным на объекты организационно-технологического типа и на задачи моделирования и оптимизации управления, инструментарий должен обладать достаточной гиб-

костью методов и программных реализаций, которые в равной мере применимы для решения различных функциональных задач.

Для решения этих задач может быть использован широкий спектр математических методов, используемых для планирования и контроля выполнения заданий, прогнозирования состояния производственных процессов, корректировки плановых заданий, оперативного управления материально-техническим снабжением производства и сбытом готовой продукции.

2. Математические методы решения задач оперативного управления.

Математическое описание системы оперативного управления производством ориентируется на выполняемые функции и соподчиненность производственных подразделений. С функциональной точки зрения можно выделить модели производственного планирования, модели контроля (учета и анализа) хода производства, модели краткосрочного и долгосрочного прогнозирования, модели оперативного управления производством.

На нижнем уровне иерархии элементы производственно-технологических комплексов описываются с помощью дифференциальных, конечно-разностных уравнений, рядов динамики, аппарата математического программирования и теории массового обслуживания. Для описания элементов системы оперативного управления используются лингвистические, теоретико-множественные и абстрактно-алгебраические модели. Поэтому алгоритмизацию бизнес-процессов оперативного управления производством целесообразно осуществлять на основе совместного применения экономико-статистических методов и методов, основанных на интеллектуальных технологиях.

Основные математические методы, используемые при решении задач оперативного управления, а также возможные связи этих методов, приведены на рис. 2. Все методы условно разделены по группам: методы, основанные на интеллектуальных технологиях; методы экономической кибернетики, статистические методы; обособленно стоят методы теории автоматического управления. Использование тех или иных методов во многом зависит от свойств объекта управления и от объема известной априорной информации.

Если рассматривать процесс управления производством в целом, то методы теории автоматического управления предоставляют большие возможности. Как правило, при этом используется принцип управления по отклонению, так как применение разомкнутой системы для оперативного управления противоречит сущности этапов оперативного управления. К сожалению, в процессе оперативного управления невозможно измерять уровни всех возмущений, оказывающих влияние на производственный процесс. Невозможно даже перечислить потенциальные источники возмущений. Однако принцип управления по отклонению позволяет компенсировать действие многих возмущений и его применение может быть весьма эффективным.

В теории оперативного управления производством наиболее широкое развитие получили, в основном, два направления [1, 2]: теория сетевых моделей и теория управления запасами.

Сетевые методы являются весьма эффективным средством управления бизнес-процессами производства. В зависимости от способов описания операций производственного процесса, сетевые методы делятся на детерминированные и вероятностные, причем последние являются, весьма эффективным средством решения задач связанных с отказом оборудования [3]. Несмотря на то, что сетевые методы имеют широкое применение, использование их в чистом виде для большинства производственных задач является мало приемлемым из-за ограниченности ресурсов предприятия. Кроме того, построение сетей для процессов с непродолжительными циклами сопряжено с тем, что могут оказаться несоизмеримыми затраты времени и средств на разработку сети, по сравнению с результатами, которые сеть дает при ее использовании в управлении этими процессами.

Теория расписаний возникла на базе календарного планирования производства. Первой работой, послужившей толчком к развитию методов теории расписаний, считается работа С. Джонсона (впервые сформулирована и решена задача определения оп-

тимальной очередности обработки деталей для случая двух станков). На сегодняшний день задача оптимальной загрузки оборудования в полном объеме теоретически решена лишь для трех станков. Именно для данного числа единиц оборудования можно составить точное производственное расписание. Это связано с трудоемкостью проводимых расчетов, ведь в реальных производственных условиях это число зачастую составляет более сотни станков. Поэтому для решения практических задач больших размерностей, используются эвристические методы, которые моделируют деятельность человека, решающего данную задачу [4].

Примеры использования методов динамического программирования для решения задач оперативного управления производством присутствуют в работах [5, 6]. Особенностью этих задач является то, что процесс принятия решений в них распадается на ряд последовательных этапов. Естественно, что многоэтапность ассоциируется, прежде всего, с развитием процесса во времени. Поэтому динамическое программирование хорошо применимо к динамическим задачам, в которых должно быть принято не однократное оптимальное решение, а ряд последовательных во времени решений, обеспечивающих оптимальность всего развития в целом.

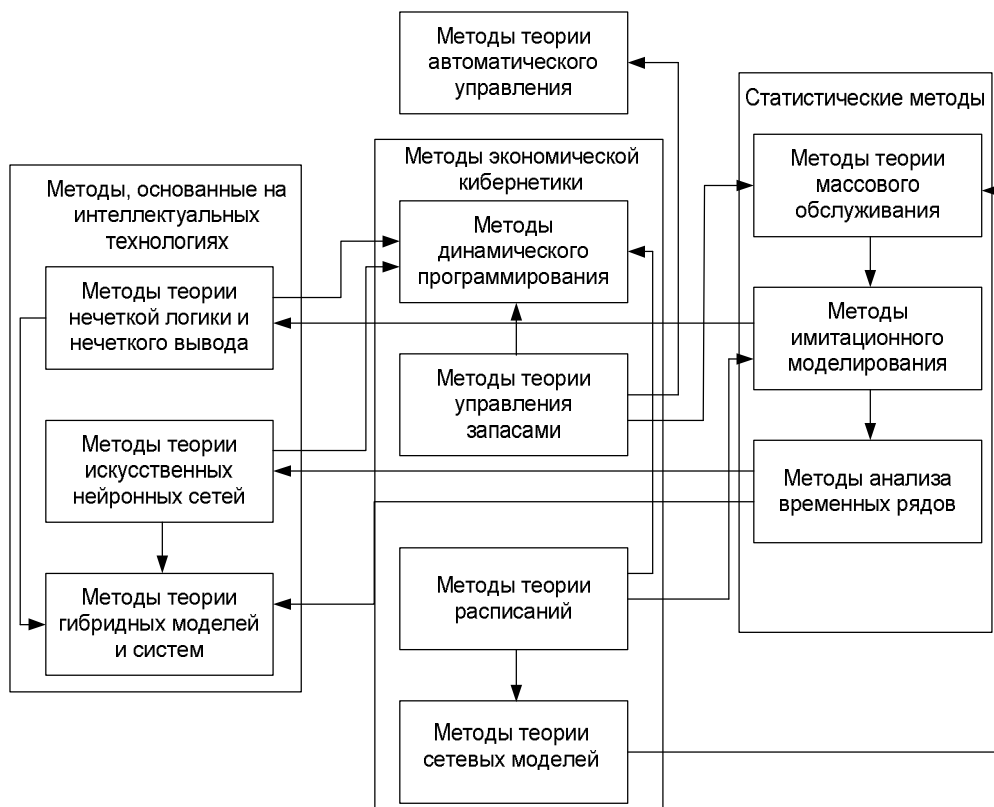


Рисунок 2 – Математические методы, используемые при решении задач оперативного управления, и связи этих методов

Необходимо отметить, что и многие задачи статического характера оказывается возможным сформулировать и решать как задачи динамического программирования. В то же время задачи динамиче-

ского программирования успешно решаются методами линейного и нелинейного программирования. Но поскольку характерной особенностью оперативного подхода является использование текущей ин-

формации для корректировки ранее принятых решений, при формализации проблем оперативного управления целесообразно опираться на адаптивные динамические модели.

В практической деятельности предприятия используются модели обеспечения его разнообразными материальными ресурсами. Решение возникающих при этом задач – предмет теории управления запасами. Поскольку на практике запасы являются динамическим элементом производства, то для управления ими создаются методы, учитывающие изменяющиеся периодичность и размеры запасов, а также стохастические условия. Для оперативного управления ходом производства наиболее интересны задачи управления запасами полуфабрикатов (заготовки, структуры, прошедшие обработку на определенной части операций производственного процесса). Взаимосвязь этих задач с задачами оперативного управления обусловлена тем, что управление запасами полуфабрикатов имеет целью обеспечение плана-графика выпуска продукции, выполнение которого, в свою очередь, ограничено фактическими запасами полуфабрикатов. Традиционным методом решения задач управления запасами является динамическое программирование [7]. Следует отметить, что в условиях многономенклатурного и многостадийного производства из-за большой размерности этот метод не приводит к желаемому результату. В этом случае используются методы линейного и нелинейного программирования, методы массового обслуживания и методы теории автоматического управления. Использование последних особенно эффективно, так как позволяет применять хорошо отработанную технику синтеза оптимальных алгоритмов управления.

При исследовании сложных внутренних и внешних взаимодействий бизнес-процессов оперативного управления производством с целью их оптимизации используют имитационное моделирование. Имитационное моделирование представляет собой численный метод проведения на ЭВМ экспериментов с математическими моделями, описывающими поведение бизнес-процесса в течение заданного или формируемого периода времени и направлено на отыскание оптимальных решений, которые получают в результате неоднократного проигрывания на модели определенных ситуаций с последующей их оценкой. Известные имитационные модели либо жестко привязаны к конкретному производству, либо являются слишком обобщенными, и поэтому реализация их на практике сопряжена с большими трудностями.

Но, тем не менее, они играют очень большую роль при решении задач оперативного управления производством, поскольку позволяют моделировать различные условия производственного процесса и исследовать влияние разных факторов на ход производства.

В системах оперативного управления производством важное место отводится методам прогнозирования (методам анализа временных рядов). С наиболее общих позиций прогноз представляет собой ве-

роятностное суждение о состоянии производственного процесса в определенный момент в будущем [8]. На основании прогнозных значений могут быть сформированы дополнительные управляющие воздействия, предназначенные для ликвидации отклонений от намеченной планом траектории развития процесса.

В настоящее время насчитывается около 200 различных методов прогнозирования, из которых большая часть использует количественную информацию о прошлом поведении процесса. В зависимости от назначения, достоверности исходной информации и предъявляемых требований, методы прогнозирования делятся на итеративные и работающие по полной выборке, адаптивные и не обладающие такой возможностью, использующие стандартные и индивидуальные инструментальные средства. Для прогнозирования производственного процесса необходимо сначала собрать ретроспективную информацию о фактических наблюдениях за процессом и влияющими на него факторами за определенный интервал времени в прошлом, а затем построить по этой информации математическую модель прогнозирования. Точность и достоверность получаемого прогноза зависит от объема выборки, точности и достоверности исходной информации, адекватности выбранной модели и глубины прогноза.

За последнее десятилетие возрос интерес к системам принятия решений, базирующихся на аппарате нечеткой логики, нечеткого вывода, искусственных нейронных сетей и гибридных моделей. При этом происходит подключение человеческой интуиции и опыта оператора. Интуитивная простота нечеткой логики как методологии разрешения проблем гарантирует ее успешное использование во встроенных системах контроля и анализа информации, а модели позволяют учитывать воздействие на производственный процесс различных случайных факторов.

Нечеткие числа, получаемые в результате "не вполне точных измерений", во многом аналогичны распределениям теории вероятностей, но свободны от присущих последним недостатков: малое количество пригодных к анализу функций распределения, необходимость их принудительной нормализации, соблюдение требований аддитивности, трудность обоснования адекватности математической абстракции для описания поведения фактических величин.

По сравнению с вероятностными методами, методы, основанные на интеллектуальных технологиях, позволяют резко сократить объем производимых вычислений, что, в свою очередь, приводит к увеличению быстродействия систем, что имеет немаловажное значение при принятии решений по оперативному управлению. Сегодня уже известны примеры эффективных нейросетевых систем планирования производства, которые используются совместно со стандартными методами исследования операций, динамического программирования и с методами нечеткой логики [9].

Понятно, что для обеспечения on-line режима использования моделей, они должны быть встроены в систему оперативного управления производством. Поэтому ценность создания комплекса экономико-математических моделей, адекватно описывающих исследуемую производственную систему – необходимое условие совершенствования системы оперативного управления производством.

ВЫВОДЫ.

1. Проанализировано современное состояние проблемы моделирования производственных систем, выполнен анализ существующих подходов к математическому описанию рассматриваемого класса систем, проанализированы математические методы оперативного управления производством.

2. Выявлено, что основной задачей для системы оперативного управления производством полупроводниковых материалов является создание комплекса экономико-математических моделей, адекватно описывающих исследуемую производственную систему. Решению этой задачи подчинены задачи по оптимальному распределению производственных ресурсов, определению динамических приоритетов продуктов, прогнозированию развития производственного процесса.

3. Установлено, что в силу сложности и неопределенности производственной системы, как объекта оперативного управления, использование аналитических моделей для целей оперативного управления не представляется возможным.

4. Показано, что для указанных условий функционирования системы необходимы разработка и исследование методов и алгоритмов, основанных на подходах теории адаптивных систем, теории нечеткого вывода, теории искусственных нейронных сетей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Первозванский А.А. Математические модели в управлении производством. – М.: Наука, 1975. – 616 с.
2. Ватник Г.А. Статистические методы оперативного управления производством. – М.: Статистика, 1978. – 240 с.
3. Экономико-математические методы и прикладные модели / Под ред. В.В. Федосеева. – М.: Юнити, 2002. – 391 с.
4. Танаев В.С., Шкурба В.В. Введение в теорию расписаний. – М.: Наука, 1975. – 273 с.
5. Беллман Р. Динамическое программирование. – М.: НЛ, 1960. – 361 с.
6. Венцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методологии. – М.: Наука, 1988. – 208 с.
7. Хедли Дж., Уайтин Т. Анализ систем управления запасами. – М.: Наука, 1969. – 337 с.
8. Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М. Анализ временных рядов. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 228 с.
9. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – 2-е изд. – М.: Горячая линия–Телеком, 2002. – 382 с.

MATHEMATICAL METHODS IN SCHEDULING SEMICONDUCTOR MATERIALS PRODUCTION

I. Oksanich, I. Shevchenko, N. Rylova

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: rylovanataly@rambler.ru

This paper describes the main objectives of production scheduling of various semiconductor materials. The authors have described milestones and main peculiarities of semiconductor manufacturing. There was made situational analysis of the current problem of industrial system modelling and known approaches to the mathematical description of the production scheduling systems at an enterprise. The authors have presented brief characteristics of the mathematical methods applicable to solve the production scheduling problems and shown the correlation between these methods. All the methods can be conventionally divided into such groups: methods based on the intelligent technologies, methods of economic cybernetics, statistical methods, and stand-alone methods of the automatic control theory.

Key words: scheduling, production of semiconductor materials, mathematical methods, multistage manufacturing, adaptive systems theory, artificial neural networks theory.

REFERENCES

1. Pervozvanskiy, A.A. (1975), *Matematicheskie modeli v upravlenii proizvodstvom* [Mathematical models in manufacturing management], Nauka, Moscow, Russia.
2. Vatnic, G.A. (1978), *Statisticheskiye metody operativnogo upravleniya proizvodstvom* [Statistical methods of production scheduling] Statistika, Moscow, Russia.
3. (2002), *Ekonomiko-matematicheskie metody i prikladnye modeli* [Economic and mathematical methods and applied models] Ed. by V.V. Fedoseev, Uniti, Moscow, Russia.
4. Tanayev, V.S., Shcurba, V.V. (1975), *Vvedeniye v teoriyu raspisaniy* [Introduction to the theory scheduling], Nauka, Moscow, Russia.
5. Bellman, R. (1960), *Dinamicheskoye programirovaniye* [Dynamic programming], NL, Moscow, Russia.
6. Venecel, E.S. (1988), *Issledovaniye operacii: zadachi, principy, metodologii* [Study of operations: problems, principles, methodologies], Nauka, Moscow, Russia.
7. Hedly, Dzh., Waytin, T. (1969), *Analiz sistem upravleniya zapasami* [Analysis of the problem management systems], Nauka, Moscow, Russia.
8. Afanasyev, V.N., Uzabshev, M.M. (2001), *Analiz vremennyh ryadov* [Time series analysis], Finansy i statistika, Moscow, Russia.
9. Kruglov, V.V., Borisov, V.V. (2002), *Iskustvennyye neyronnyye seti. Teoriya i practica* [Artificial neuron networks. Theory and practice], 2nd ed., Goryachaya liniya – Telecom, Moscow, Russia.

Стаття надійшла 25.12.2013.