



**СУЧАСНІ КОНЦЕПЦІЇ
ПРОГНОЗУВАННЯ
РОЗВИТКУ СКЛАДНИХ
СОЦІАЛЬНО-
ЕКОНОМІЧНИХ
СИСТЕМ**

Монографія

УДК 330.46
ББК 65в641
С56

Рекомендовано вченою радою економічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка
(протокол №9 від 23 квітня 2013 р.)

Рекомендовано вченою радою Бердянського державного педагогічного університету
(протокол №12 від 30 квітня 2013 р.)

Рецензенти: Геєць В.М. - академік НАН України, доктор економічних наук, професор, директор ДУ "Інститут економіки та прогнозування НАН України";

Лисенко Ю.Г. - член-кореспондент НАН України, доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри економічної кібернетики Донецького національного університету

С56 **Сучасні концепції прогнозування розвитку складних соціально-економічних систем: Монографія / За ред. О.І. Черняка, П.В. Захарченка. – Бердянськ : Видавець Ткачук О. В., 2013. – 556 с. Англ. мова, рос. мова, укр. мова. ISBN 978-966-2261-49-3**

У монографії розглядається сучасні концептуальні підходи до прогнозування розвитку складних соціально-економічних систем, а також перспективні напрями досліджень таких систем. Обґрунтовується системна методологічна концепція і конструктивні принципи ведення прогнозних досліджень, а також математичні методи прогнозування соціально-економічних процесів, сучасні інформаційні технології в прогнозуванні економічної інформації. Окремо приділено увагу питанням економічного прогнозування та управління курортними рекреаціями і туризмом в регіонах.

Для фахівців в області моделювання, прогнозування, та управління складними соціально-економічними системами, а також викладачів, аспірантів і студентів економічних спеціальностей.

УДК 330.46
ББК 65в641

© За ред. О. І. Черняка,
П. В. Захарченка, 2013
© Колектив авторів, 2013
© Видавець Ткачук О. В., 2013

ISBN 978-966-2261-49-3

НАУКОВИЙ АВТОРСЬКИЙ КОЛЕКТИВ:

Благуни І.С., д.е.н., проф. (розділ 1.3), Вітлінський В.В., д.е.н., проф. (розділ 1.2, 1.4), Гонда В., PhD, проф. (розділ 1.5), Грицюк П.М., д.е.н., проф. (розділ 1.6), Заруба В.Я., д.е.н., проф. (розділ 1.7), Захарченко П.В., д.е.н., проф. (розділ 1.8, 2.1, 2.2), Іванов М.М., д.е.н., проф. (розділ 1.9), Клебанова Т.С., д.е.н., проф. (розділ 1.10, 1.27), Ковальчук К.Ф., д.е.н., проф. (розділ 1.11), Костін Ю.Д., д.е.н., проф. (розділ 1.13), Мозенков О.В., д.е.н., проф. (розділ 1.10), Осецький В.Л., д.е.н., проф. (розділ 1.12), Порожня В.М., д.е.н., проф. (розділ 1.14), Румянцев Н.В., д.е.н., проф. (розділ 1.18), Скрипниченко М.І., д.е.н., проф. (розділ 1.15), Соловійов В.М., д.ф.-м.н., проф. (розділ 1.16), Ус Г.О., д.е.н., проф. (розділ 1.17), Цибакова В., д.е.н., проф. (розділ 1.31), Черняк О.І., д.е.н., проф. (розділ 1.1)

Балабанова О.І., к.е.н., доц. (розділ 2.12), Бенева Е., к.е.н., доц. (розділ 1.20), Гончаренко М.Ф., к.е.н., доц. (розділ 1.20), Грабарев А.В., к.е.н., доц. (розділ 2.3), Гриценко М.П., к.е.н., доц. (розділ 2.8, 2.13), Гур'янова Л.С., к.е.н., доц. (розділ 1.10), Дербенцев В.Д., к.е.н., доц. (розділ 1.21), Дмитришин Л.І., к.е.н., доц. (розділ 1.3), Дубровина Н.А., к.е.н., доц. (розділ 1.20, 1.31), Євич Ю.Ю., к.м.н., доц. (розділ 2.11), Жигірь А.А., к.е.н., доц. (розділ 2.9), Заховалко Т.В., к.ф.-м.н., доц. (розділ 1.22), Кавун С.В., к.т.н., доц. (розділ 1.10), Казачковська Г.В., к.е.н., доц. (розділ 2.6), Катуніна О.С., к.е.н., доц. (розділ 1.4), Кіркова Н.П., к.е.н., доц. (розділ 2.4), Коляда Ю.В., к.ф.-м.н., доц. (розділ 1.2), Королев О.Л., к.е.н., доц. (розділ 1.23), Корольков В.В., к.е.н., доц. (розділ 1.24), Костенко Г.П., к.е.н., доц. (розділ 2.5), Куссій М.Ю., к.е.н., доц. (розділ 1.8), Кучер С.Ф., к.е.н., доц. (розділ 2.7), Лебеда Т.Б., к.е.н., доц. (розділ 1.15), Леміш К.М., к.е.н., доц. (розділ 2.10), Медведева М.І., к.ф.-м.н., доц. (розділ 1.19), Несторенко Т.П., к.е.н., доц. (розділ 1.5), Пігнастий О.М., к.т.н., доц. (розділ 1.7), Саженок В.С., к.ф.-м.н., доц. (розділ 1.25), Сапцин В.М., к.ф.-м.н., доц. (розділ 1.26), Сергієнко О.А., к.е.н., доц. (розділ 1.27), Сігал А.В., к.е.н., доц. (розділ 1.28), Слушаєнко Н.В., к.ф.-м.н., доц. (розділ 1.29), Соловійова В.В., к.е.н., доц. (розділ 1.16), Турлакова С.С., к.е.н., доц. (розділ 1.30), Шпирко В.В., к.е.н., асис. (розділ 1.32), Шумська С.С., к.е.н., доц. (розділ 1.33)

Білоусова С.В., (розділ 1.31), Гладка М.Є., (розділ 2.2), Дзиба В.О., (розділ 1.32), Дубровина В.А., (розділ 1.20), Костін Д.Ю., (розділ 1.13), Мараховський О.В., (розділ 2.1), Минкович А.В., (розділ 1.13), Полушенко В.А., (розділ 1.11), Сидоренко Д.А., (розділ 1.12), Харламов А.О., (розділ 1.2), Чабаненко Д.М., (розділ 1.16), Чепуренко Н.Г., (розділ 2.13), Черемісіна Т.В., (розділ 2.10)

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. МІКРОЕКОНОМІЧНЕ ТА МАКРОЕКОНОМІЧНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ, ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПРОГНОЗУВАННІ ЕКОНОМІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ	10
1.1. Основні напрями розвитку української школи економічного прогнозування	10
1.2. Прогнозування впливу рівня конкурентоспроможності на показники розвитку банку на підґрунті моделей нелінійної динаміки	14
1.3. Прогнозування ймовірнісних характеристик просторового розподілу грошових доходів населення на основі гравітаційної моделі	28
1.4. Моделювання суб'єктивних просторів якості життя у прогнозуванні попиту	38
1.5. Вплив доступності освіти на міграційні процеси в епоху економіки знань	54
1.6. Короткострокове прогнозування ціни акцій із застосуванням методу гомогенних найближчих сусідів	63
1.7. Континуальні моделі прогнозування виробничого функціонування поточних ліній	74
1.8. Моделі прогнозування попиту на інноваційні курортно- рекреаційні продукти	89
1.9. Інформаційно-аналітичні системи в управлінні економічними об'єктами	110
1.10. Сценарне прогнозування збалансованого розвитку територій на основі інструментів фіскальної політики	118
1.11. Прогнозування ефективності страхового бізнесу з урахуванням рівня довіри	131
1.12. Інноваційні чинники забезпечення економічної конкуренто- спроможності України	141
1.13. Економетричні моделі для аналізу методів мотивації персоналу на енергетичних підприємствах	152
1.14. Стратегія інтелектуального капіталу – як джерела для прогнозування майбутніх знань та закономірностей	164
1.15. Методи та моделі впливу податкової політики на динаміку економічного розвитку	171
1.16. Прогнозування кризових явищ в складних мережах	190
1.17. Моделі інформаційної взаємодії в ергатичних системах управління знаннями	206

10. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. - Новосибирск: ИМ СО РАН, 1999. – 270 с.
11. Bishop C.M. Neural Networks for Pattern Recognition. - Oxford University Press, 1995. – p. 504.

1.7. Континуальні моделі прогнозування виробничого функціонування поточних ліній

Конкурентоспособность промышленных предприятий в значительной степени определяется эффективностью организации и планирования их производственно-технологических процессов. Составными частями общего производственного процесса на предприятии выступают технологические процессы, реализуемые в виде заданных логически завершённых последовательностей технологических операций. Технологический процесс может быть отнесен к изделию, его составной части. Под технологической операцией понимают законченную часть технологического процесса, выполняемую на одном рабочем месте [1].

Производственные подразделения предприятия (участки, цеха) создаются на принципах технологической или предметной специализации. Подразделения технологической специализации образуются из единиц однотипного оборудования, предназначенного для проведения сходных технологических операций. В настоящее время технологическая специализация наиболее часто применяется в единичном и мелкосерийном типах производства, поскольку в её условиях для перехода на новую продукцию бывает достаточно сделать переналадку или замену отдельных единиц оборудования. Производственные подразделения предметной специализации часто называют технологическими линиями. Они предназначаются для производства определённого вида изделий, которые имеют схожие конструктивно-технологические признаки. Одной из

разновидностей технологических линий выступают поточные линии, в которых состав и последовательность выполнения технологических операций являются жёстко фиксированными. Они могут иметь разные уровни специализации. В поточных линиях с узкой предметной специализацией оказывается возможным использовать относительно дешёвое и одновременно высокопроизводительное оборудование, автоматизировать основные и вспомогательные, в частности, транспортные, операции, сократить длительность производственного цикла, уменьшить трудоёмкость, снизить затраты материалов, упростить планирование и др. Производство на поточных линиях с узкой предметной специализацией организуется в соответствии партионным методом, предполагающим последовательное изготовление различных партий изделий (деталей), каждую из которых составляют изделия с одинаковыми технологическими характеристиками. При этом изделия из различных партий должны иметь достаточно близкие конструктивно-технологические характеристики, для того, чтобы обеспечивать приемлемо высокую загрузку оборудования, входящего в поточную линию. Переход от производства одной партии изделий к производству следующей - требует, как правило, затрат времени и денежных средств на переналадку оборудования. В частном случае поточная линия с узкой предметной специализацией может быть предназначена для производства единственного вида изделий. С 70-х годов прошлого столетия во всём мире всё большее распространение находят гибкие технологические, в частности гибкие поточные, линии с широкой предметной специализацией [2,3]. Возможность их создания была обусловлена появлением многоцелевых станков, робототехники, автоматических загрузочно-разгрузочных и транспортных устройств, накопительных систем, контрольно-измерительных приборов, устройств управления оборудованием. Поточные линии с предметной специализацией

функционируют в соответствии с групповым методом организации производства, ориентированного на конструктивно-технологические характеристики изделия-представителя группы. При этом переход от производства одного изделия к другому либо не требует переналадки оборудования, либо переналадка оборудования осуществляется автоматически, что позволяет без дополнительных затрат устанавливать последовательность производства изделий. Оптимизация решений в сфере организации и планирования современного производства требует в связи с его сложностью применения компьютерных информационных технологий с использованием математических моделей. С практической точки зрения математическое моделирование производственно-технологических процессов предназначается в основном для использования в следующих двух направлениях: для изучения и оценки эффективности структурных и функциональных схем построения производственных систем с целью их усовершенствования и для оценки и реализации различных способов и методов управления производственно-технологическими процессами.

Как можно видеть, ключевой задачей математического моделирования, обеспечивающей выполнение его практического назначения, выступает прогнозирование будущих состояний исследуемого производственно-технологического объекта. Исходя из прогноза, выявляются проблемы проектного или управленческого характера, подлежащие решению. При этом как сам прогноз, так и обеспечивающие его модели могут носить как полностью определённый (детерминированный), так и частично определённый (вероятностный или интервально определённый) характер.

Математические модели производственно-технологических процессов, в зависимости от формы своего представления могут быть подразделены на три группы: аналитические, аналитико-численные и имитационные. Разработка аналитических моделей предполагает

получение аналитическим путём математических выражений, описывающих связи между количественными характеристиками процесса функционирования технологической линии. Непосредственное исследование аналитических моделей позволяет выявлять различные закономерности процесса функционирования технологических линий. Для самых простых аналитических моделей могут быть получены математические выражения характеристик процесса в явном виде. Однако наиболее часто для отыскания значений исследуемых характеристик требуется применение специальных численных методов. В этих случаях можно говорить, что аналитические модели принимают форму аналитико-численных моделей. Имитационные модели представляют собой алгоритмы компьютерной имитации, воспроизводящие численные характеристики элементарных явлений и актов производственно-технологического процесса в последовательности, отражающей их реальные связи.

Имитационное моделирование является наиболее универсальным методом прогнозирования производственно-технологических процессов любого уровня сложности, позволяет учитывать нестационарность и вероятностную природу их характеристик. Однако имитационным моделям свойственны такие недостатки, как сложность и трудоемкость построения моделирующих алгоритмов, а также сложность использования этих моделей для получения оптимальных решений в задачах управления ввиду больших затрат времени и накопления погрешностей вычислений. По этой причине актуальным направлением исследований является развитие теоретических основ аналитического и аналитико-численного моделирования функционирования производственно-технологических объектов. В частности недостаточное развитие для практического применения имеют аналитико-численные модели стохастических

производственных процессов, описывающие конкретный характер их протекания.

Проблемам общей методологии моделирования и оптимизации функционирования больших производственно-технологических систем посвящены труды многих отечественных и зарубежных ученых: В.А.Балашевича, С.Бира, Н.П.Бусленко, В.М.Глушкова, Е.Голдрата, Л.В.Канторовича, В.А.Летенко, А.В.Лотова, А.А.Первозванского, Б.М.Петрова, А.К.Редькина, Дж.Форрестера, В.В.Шкурбы, С.Б.Якимовича. Среди последних достижений в сфере аналитико-численного моделирования производственно-технологических процессов следует отметить класс континуальных моделей, основанных на применении уравнений в частных производных для описания изменения с течением времени плотности распределения производственных заделов по элементам поточных линий [4-7]. Эти модели обладают рядом преимуществ по сравнению с дискретно-потокowymi моделями [8], основанными на применении теории массового обслуживания.

Целью работы является систематизация моделей производственного функционирования поточных линий, изложение и обоснование теоретических основ построения континуальных моделей.

Для сравнительного анализа различных подходов к моделированию производственных процессов на технологических линиях рассмотрим следующий пример функционирования поточной линии. Положим, что поточная линия включает M технологических позиций, номера которых $m=1,2,\dots,M$ соответствуют последовательности обработки предметов производства (для определённости – деталей), установленной технологическим маршрутом. Каждая технологическая позиция, начиная со второй, содержит производственный модуль и входной накопитель деталей. Для каждого m -го модуля, $m=1,2,\dots,M$, известны нормативная длительность τ_m (час) обработки каждой детали из партии, поступающей

на поточную линию в количестве N , а также момент времени $t_{j\epsilon}^m$ окончания обработки на m -м модуле последнего предмета производства из предыдущей партии.

С точки зрения смыслового содержания непосредственно моделируемых характеристик производственно-технологических процессов могут быть выделены три типа моделей: дискретно-событийные, дискретно-поточковые и континуальные.

Дискретно-событийное моделирование направлено на определение моментов времени реализации событий, соответствующих изменениям стадий обработки и местоположения деталей в поточной линии. Начальным событием выступает начало обработки 1-й детали из рассматриваемой партии на 1-м модуле поточной линии, а конечным событием — завершение обработки последней детали на последнем модуле поточной линии. Дискретно-событийные модели в аналитической форме устанавливают связи между временами реализации существенных для целей моделирования событий. В рассматриваемом примере моделируются моменты времени t_{ji}^m , $t_{j\epsilon}^m$ соответственно начала и окончания обработки на каждом m -м модуле каждой j -ой детали определяются следующими формулами:

$$t_{ji}^m = \max\{t_{1\epsilon}^{m-1}, t_{j\epsilon}^i\} \quad (m=1, 2, \dots, M); \quad (1)$$

$$t_{ji}^1 = t_{ji}^1 + (j-1)\tau_1 \quad (j=1, 2, \dots, N); \quad (2)$$

$$t_{ji}^m = \max\{t_{j\epsilon}^{m-1}, t_{j-1, \epsilon}^m\} \quad (j=2, \dots, N) \quad (i=2, \dots, M), \quad (3)$$

$$t_{j\epsilon}^m = t_{ji}^m + \tau_j \quad (j=1, 2, \dots, N) \quad (m=1, 2, \dots, M) \quad (4)$$

В соответствии с формулой (2) входные предметы производства поступают на первый производственный модуль сразу после того, как он освобождается. Из формулы (3) следует, что деталь j , $j \geq 2$, поступает на обработку на модуль m , $m \geq 2$, сразу после того, как произойдут два таких

события: 1) закончится обработка j -ой детали на $(m-1)$ -м модуле; 2) закончится обработка $(j-1)$ -ой детали на m -м модуле.

Величины t_{ji}^m ($j = 1, 2, \dots, N$) ($m = 1, 2, \dots, M$) могут быть рассчитаны по результатам проведения N последовательных итераций. На 1-й итерации по формуле (1) отыскиваются величины t_{1i}^m . В начале 2-й итерации по формуле (2) находится величина t_{2i}^1 , после чего по формуле (3) рассчитываются значения t_{2i}^m ($m = 2, \dots, M$). Таким образом, перед началом каждой j -й итерации, $j = 2, \dots, N$, оказываются известными величины t_{ri}^m ($r = 1, 2, \dots, j-1$) ($m = 1, 2, \dots, M$), на основе которых отыскиваются величины t_{ji}^m .

Формулы (1)–(4) в совокупности с приведенным выше алгоритмом расчёта моментов времени t_{ji}^m ($j = 1, 2, \dots, N$) ($m = 1, 2, \dots, M$) начала обработки деталей на модулях поточной линии определяют дискретно-событийную модель функционирования поточной линии в аналитико-численной форме.

Недостаток дискретно-событийных моделей в аналитической форме состоит в том, что они не отражают непосредственно количества деталей в межоперационных накопителях. Поэтому при наличии ограничений на ёмкость накопителей возникает необходимость моделирования процесса функционирования во временной последовательности событий. В англоязычных публикациях дискретно-событийные имитационные модели носят название DEM моделей (Discrete-Event Model) [4,5]. Эти модели позволяют учитывать частичную неопределённость (стохастичность) длительностей обработки деталей. Учет факторов случайности осуществляется путем многократного воспроизведения процесса функционирования системы.

Построение дискретно-поточных моделей основано на применении теории массового обслуживания (теории очередей). Основными понятиями, используемыми в дискретно-поточных моделях, являются

входной и выходной потоки, время изготовления предмета производства, организация (правило обслуживания) очереди. Дискретно-потокосые модели наиболее активно используются для описания производственно-технологических процессов в форме clearing-функций, играющих важную роль в оперативном управлении производством [9]. В общем случае clearing-функция устанавливает значение пропускной способности (производительности) $[x]_{kl}$ производственной системы в зависимости от распределения заделов по её элементам $m=1,2,\dots,M$:

$$[x]_{kl} = \Phi(W) , \quad (5)$$

где $W = (W_m, (m=1,2,\dots,M))$ - вектор объемов незавершенного производства. Для элементарной (неделимой) единицы производственной системы вектор W трансформируется в скалярную величину. Clearing-функция может быть определена для производственного объекта любого размера (для единицы оборудования, технологической линии, цеха, завода или нескольких заводов, включенных в единый производственный процесс) [5,10] (2012). Clearing-функция, впервые была введена Graves S.C. (1986) , а возможности её корректного определения изучены Karmarkar U.S. (1989) [9]. Первоначально clearing-функции $[x]_{kl}$ строились на основе предположения о стационарности объемов незавершенного производства. Missbauer H [10] (2009) распространил использование clearing-функции $[x]_{kl}$ на переходные процессы путём выражения с её помощью зависимости пропускной способности производственной системы от начального распределения объемов незавершенного производства по технологическому маршруту. Он впервые исследовал clearing-функции $[x]_{kl}$ с использованием стохастической модели очереди при стационарных величинах интенсивности прибытия деталей ψ_{m-1} на m -ю технологическую позицию и интенсивности обработки на ней ψ_m . Предположение о стационарности параметров ψ_{m-1} и ψ_m явилось

значительным ограничением для использования представленных моделей в описании переходных производственных процессов, встречающихся на практике. Armbruster D., Fonteijn J., Wienke M. (2012) исследовали модель производственной системы в виде совокупности очередей при зависимом от времени величинах $\psi_{m-1} = \psi_{m-1}(t)$, $\psi_m = \psi_m(t)$ [11]:

$$\frac{dI_m(t)}{dt} = \psi_{m-1}(t) - \psi_m(t), \quad (6)$$

где $I_m(t)$ - уровень незавершенного производства для m -го технологического участка (операции). Следует отметить, что уравнение (6) может быть представлено в форме уравнений Форрестера (1961) [12]:

$$I_m(t_{j+1}) = I_m(t_j) + R_m(t_j) - X_m(t_j), \quad R_m(t_j) = \int_{t_j}^{t_{j+1}} \psi_{m-1}(\tau) d\tau, \quad X_m(t_j) = \int_{t_j}^{t_{j+1}} \psi_m(\tau) d\tau. \quad (7)$$

В теории массового обслуживания Bramson M (2008) [13] предложены так называемые fluid-модели, которые являются непрерывными во времени, но прерывными в пространстве, что приводит к системе M обыкновенных дифференциальных уравнений для описания конечного числа M пространственных частей потока.

Приведём дискретно-потокую модель для описанного выше примера (формулы (1)-(4) функционирования поточной линии. Введем следующие обозначения и определения: ψ_m - нормативный темп работы m -го производственного модуля, $\psi_m = 1/\tau_m$ ($m=1,2,\dots,M$); $W_m(t)$ - количество деталей на m -й технологической позиции, включая накопитель; $\psi_m(t)$ - фактический темп выхода изделий с m -й технологической позиции в момент времени t , шт/час; W_m^{\max} - максимальное количество деталей на m -й технологической позиции, обусловленное ограниченной ёмкостью имеющегося на ней накопителя.

Дискретно-потокую модель функционирования поточной линии может быть представлена в следующем виде:

$$\frac{dW_m(t)}{dt} = \psi_{m-1}(t) - \psi_m(t) \quad (m=2, \dots, M); \quad W_m(0) = W_{m0} \quad (m=2, \dots, M), \quad (8)$$

$$\psi_1(t) = \psi_{n1}, \text{ если } W_2(t) < W_2^{\max};$$

$$\psi_m(t) = \psi_{nm}, \text{ если } t \geq t'_{mk}, W_m(t) > \alpha, (m=2, \dots, M), W_{m+1}(t) < W_m^{\max} \quad (m=2, \dots, M-1);$$

$$\psi_m(t) = 0, \text{ если } W_m(t) \leq \alpha, \text{ или если } t < t'_{ik}, \text{ или если } W_m(t) \geq W_m^{\max},$$

где W_{m0} ($m=2, \dots, M$) - объёмы незавершённого производства рассматриваемой партии деталей в начальный момент времени $t = 0$, α - параметр модели, $0 \leq \alpha \leq 1$. Для свободной поточной линии $W_{m0} = 0$, $t'_{mk} = 0$ ($m=2, \dots, M$).

Континуальные модели являются относительно новым классом моделей, используемых для моделирования и управления функционированием поточной линии. Аналоги континуальных моделей носят в англоязычной литературе название PDE-моделей (partial differential equation) [4-6,11]. Построение континуальной модели предполагает континуализацию (переход от дискретного к непрерывному описанию) позиций поточной линии, по которым определяются физические состояния и местоположения каждой конкретной детали из рассматриваемой партии. Возможность континуализации обуславливается следующими соображениями. Если длительности $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_M$ обработки детали являются детерминированными величинами, то стадия технологических преобразований, на которой находится рассматриваемая деталь в момент времени t (с учётом пролёживания в накопителях) находится во взаимно однозначном соответствии с общей длительностью $T(t)$ обработки детали непосредственно на производственных модулях в течение времени t : $T(t) = \sum_{m=1}^M \tau_m$, если технологический процесс изготовления детали в момент

времени t завершён; $T(t) = \sum_{r=1}^{m-1} \tau_r + t_m$, если к моменту времени t деталь в

течение времени t_m обрабатывалась на m -м производственном модуле, $0 < t_m < \tau_m$; $T(t) = \sum_{r=1}^{m-1} \tau_r$ если в момент времени t деталь находится в накопителе на m -й позиции.

Будем интерпретировать значения некоторой монотонно возрастающей функции F как значения обобщённого показателя S технологических трансформаций детали, который должен быть достигнут после её обработки на производственных модулях в течение времени T , $S = F(T)$. В качестве этого показателя в работах Armbruster D., Ringhofer C. предложено использовать величину x , характеризующую степень завершения изготовления изделия [4,6,14,]: $x = T/T_0$, где T_0 – общее нормативное время изготовления изделия. В работах [6,7] значения функции F предложено интерпретировать как сумму затрат (перенесённую на деталь стоимость ресурсов) S (грн. /шт), определяемую длительностью T обработки детали. Величине $S(t)$ стоимости, перенесённой на деталь к моменту времени t , однозначно соответствует длительность $T(t)$ её обработки на производственных модулях, $T(t) = F^{-1}(S(t))$, где F^{-1} - функция, обратная к F . Поскольку длительность $T(t)$ однозначно определяет стадию технологических преобразований детали, то стоимость $S(t)$ будет однозначно определять текущие значения физических параметров детали. Заметим, что поскольку в качестве функции F может быть выбрана любая монотонно возрастающая функция, то вопрос о том, насколько точно она отражает реальные затраты, может вообще не рассматриваться.

Пусть партия технологически однородных деталей включает N единиц, а длительности $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_m$ обработки детали являются детерминированными величинами. Стоимость S_m детали после окончания её обработки на m -м производственном модуле будет определяться

следующим образом: $S_1 = F(\tau_1)$, $S_m = F(\sum_{r=1}^m \tau_r)$ ($m=2, \dots, M$). Обозначим как $\tilde{\chi}(t, S)$ - количество деталей, на которые к моменту времени t перенесена стоимость в размере S , $S_0 = 0 < S \leq S_M$. Нетрудно видеть, что функция $\tilde{\chi}(t, S)$ однозначно определяет количество деталей, находящихся в накопителе и в производственном модуле на каждой m -й технологической позиции. Действительно, любой величине S , $S_0 \leq S < S_M$, однозначно соответствует такой номер m технологической позиции, $m=1, \dots, M$, что $S_{m-1} \leq S < S_m$. При этом значение функции $\tilde{\chi}(t, S)$ при $S = S_m$ определяет количество деталей в накопителе на m -й позиции. Если $S_{m-1} < S < S_m$ то величина $\tilde{\chi}(t, S)$ определяет количество деталей, обрабатываемых на m -м производственном модуле, $m=1, 2, \dots, M$. Величине $\tilde{\chi}(t, S_M)$ соответствует количество деталей, процесс изготовления которых в момент времени t завершён.

Если длительности $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_M$ обработки детали являются случайными величинами, то количество деталей, которые в момент времени t имеют стоимость S , является случайной величиной, плотность распределения которой задаётся функцией $\chi(t, S, \mu)$, где μ - случайная величина, имеющая смысл скорости (грн/час) перемещения каждой детали по технологическим позициям (скорости перенесения на деталь стоимости технологических ресурсов). В этом случае можно говорить об ожидаемом количестве $[\tilde{\chi}]_0(t, S)$ деталей со стоимостью S в момент времени t :

$$[\tilde{\chi}]_0(t, S) = \int_0^{\infty} \tilde{\chi}(t, S, \mu) d\mu. \quad (9)$$

Исходя из заданной функции $[\tilde{\chi}]_0(t, S)$, могут быть однозначно установлены (как это было показано для функции $\tilde{\chi}(t, S)$) ожидаемые количества деталей, которые в момент времени t будут находиться в

накопителе и в производственном модуле на каждой m -й технологической позиции, а также ожидаемое количество деталей, процесс изготовления которых завершён.

Для создания континуальных моделей в последние годы разработаны методы, позволяющие отыскивать функции $[x]_0(t, S)$, определяющие плотности распределения производственных заделов на основе уравнений переноса в механике жидкости и газа [4, 6]. Наличие функции $[x]_0(t, S)$ позволяет находить количество $W_m(t)$ деталей на каждой m -й технологической позиции в момент времени t :

$$W_m(t) = \int_{S_{m-1}}^{S_m} [x]_0(t, S) dS, \quad (m=1, 2, \dots, M). \quad (10)$$

При этом в любой момент времени t производства рассматриваемой партии деталей оказывается, что $\int_0^{S_M} [x]_0(t, S) dS = N$.

Один из распространённых подходов к отысканию функции распределения $x(t, S, \mu)$ основан на формировании системы уравнений моментов, позволяющих получить балансовые уравнения в достаточном для необходимой точности количестве [15]. Построение одномоментного описания производственной системы фактически означает определение clearing-функции, выражающей темп их движения через плотность распределения предметов производства [4, 6, 9]. В случае двухмоментного описания темп движения предметов производства рассматривается как нестационарная переменная [4, 6]. В работе [6] для построения двухмоментного описания функционирования поточной линии использованы следующие балансовые уравнения:

$$\frac{\partial [x]_0}{\partial t} + \frac{\partial [x]_1}{\partial S} = 0, \quad \frac{\partial [x]_1}{\partial t} + \frac{[x]_{1v}}{[x]_0} \cdot \frac{\partial [x]_1}{\partial S} = ([x]_{1v} - [x]_1) \cdot \frac{\partial}{\partial S} \left(\frac{[x]_{1v}}{[x]_0} \right), \quad (10)$$

где $[x]_0(t, S)$, $[x]_1(t, S)$ - плотность распределения деталей и темп их движения по технологическому маршруту, $[x]_{1v}(t, S) = \frac{1}{\tau_m}$ - нормативная

скорость обработки деталей в месте S технологического маршрута, $\beta \in [S_{m-1}, S_m]$, ($m=1,2,\dots,M$).

Анализ публикаций показывает, что использование PDE-моделей является новым и перспективным направлением в моделировании производственных систем [5,6,9,12,15]. Данные модели позволяют более точно описывать функционирование производственных систем по сравнению с моделями очередей и являются существенно менее громоздкими и трудоемкими при их разработке и использовании по сравнению с DEM-моделями. В работах Berg R.A., Lefebber, Rooda J.E. показано [6], что результаты PDE-модели, основанные на решении одного уравнения в частных производных, соответствуют в рамках тех же допущений результатам DES-моделирования, полученного в результате одного миллиона имитаций.

В настоящее время PDE-модели используются при управлении технологическими линиями на одной из крупнейших мировых компаний Интел [16]. Перспективность исследований в направлении разработки PDE-моделей для описания производственных систем также подтверждается многочисленными грантами, в частности грантами фирмы Volkswagen в сфере моделирования производственных систем со сборочными операциями. В то же время необходимы дальнейшие исследования, которые позволят более точно оценить сферу эффективного использования PDE-моделирования в задачах прогнозирования и управления производственными системами, в частности для синхронизации функционирования поточных линий, обеспечивающих комплектующими изделиями процессы сборки. Интерес представляет также исследование функционирования технологических линий с возвратно-поступательными перемещениями предметов производства по технологическим позициям.

Литература

1. ГОСТ 3.1109.82. Термины и определения основных понятий. – М.: Госстандарт России, 2003. – 15 с.
2. Летенко В.А., Родионов Б.Н. Организация, планирование и управление машиностроительным предприятием. – М.: Высшая школа, 1979. – 232 с.
3. Митрофанов С.П. Куликов Д.Д. Технологическая подготовка гибких производственных систем. Л.: Машиностроение, 1987. – 352 с.
4. Armbruster D., Kempf K.G. The production planning problem: Clearing functions, variable leads times, delay equations and partial differential equations: Decision Policies for Production Networks, 2012, p. 289 - 303, Springer Verlag
5. Berg R.A., Lefebvre E., Rooda J.E. Modeling and Control of a Manufacturing Flow Line using Partial Differential Equations. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2008, 16(1), p.130-136
6. Пигнастый О.М., Заруба В.Я. Сучасні та перспективні методи і моделі управління в економіці – Суми: ДВНЗ «УАБС НБУ», 2008. – Ч.2. – 256 с.
7. Пигнастый О.М. Задача оптимального оперативного управління макропараметрами производственной системы с массовым выпуском продукции – Доповіді Національної академії наук України, 2006. – N5 – С.79-85;
8. Ramadge P., Wonham W., “The control of discrete event systems” IEEE Proc., 1989. – vol. 77, no. 1, pp. 81–98.
9. Karmarkar, U. S. Capacity Loading and Release Planning with Work-in-Progress (WIP) and Leadtimes. Journal of Manufacturing and Operations Management, 1989., (105-123).
10. Missbauer H Order release planning with clearing functions: a queueing-theoretical analysis of the clearing function concept. Int J Prod Econ. doi:10.1016/j.ijpe.2009.09.003

11. Armbruster D., Fonteijn J., Wienke M. Modeling production planning and transient clearing functions, *Logistics Research*, 2012. – VOL 87 -№3, P. 815 - 822
12. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия. М.: Прогресс, 1961. 341 с.
13. Bramson M. Stability of queueing networks, *lecture notes in mathematics, Journal of Probability Surveys*, Vol. 5 , 2008, pp 169–345
14. Armbruster D., Marthaler D., Ringhofer C. Kinetic and fluid model hierarchies for supply chains supporting policy attributes, *Bulletin of the Inst. Math., Academica Sinica*, 2007, P:433-460.
15. Либов Р. Введение в теорию кинетических уравнений.– М.:Изд-во Мир,1974.-372с.
16. Armbruster D., Marthaler D., Ringhofer Ch., Kempf K. Continuum Model for a Re-entrant Factory. *Operations research* . 2010. – VOL 54 -№5, P. 933 - 950 .

1.8. Моделі прогнозування попиту на інноваційні курортно-рекреаційні продукти

Трансформаційний розвиток економіки України зумовив появу нових напрямів інноваційної діяльності, орієнтованих на створення і використання інтелектуального продукту, доведення новацій до реалізації у вигляді готового товару (послуги) на ринку. Це пов'язано не лише з новою хвилею науково-технічної революції, яка прискорює процес економічної діяльності. Зростає роль науково-технічного прогресу у вирішенні глобальних проблем, особливо комплексу соціальних, економічних та екологічних проблем, які накопичилися в результаті негативних дій на економіку з боку структурних диспропорцій і

Наукове видання

**СУЧАСНІ КОНЦЕПЦІЇ ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ
СКЛАДНИХ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ**

Монографія

Друкується в авторській редакції

Підписано до друку 29.05.2013 р.
Гарнітура «Times New Roman». Формат 60x84/16. Папір офсетний.
Друк – цифровий. Ум.-друк. арк. 28,0. Обл.-вид. арк. 28,5
Наклад 300 прим. Зам. № 060

Видавництво та друк Ткачук О.В.
71100, Запорізька обл., м. Бердянськ, вул. Кірова, 52/49, 53
Тел. (097) 918-66-41, (066) 106-29-93; e-mail: Tizdat@gmail.com
<http://izdatelstvo.at.ua>

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до
Державного реєстру видавців, виготівників і
розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 3377 від 29.01.2009 р.