



УДК 658.51.012

**АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ И МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПРОЦЕССОМ****ANALYSIS OF THE PRINCIPLES AND METHODS OF CONSTRUCTION CONTROL  
SYSTEMS OF TECHNOLOGICAL PROCESS****О.М. Пигнастый  
O.M. Pignasty***Национальный технологический университет «Харьковский политехнический институт»,  
Украина, 61000, Харьков, ул. Фрунзе, 21**National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,  
21 Frunze St, Kharkiv, 61000, Ukraine**e-mail: pom7@bk.ru*

*Аннотация.* В статье приведен обзор действующих ГОСТов и дан основанный на них краткий анализ основных элементов технологического процесса – труд, средство труда, предмет труда. Представлены определения технологического процесса, изделия, технологической операции, средств труда, свойства и параметра изделия. Рассмотрены элементы производственной структуры предприятия. Дан анализ типов производства и систем управления ими. Определены главные задачи планирования в условиях единичного, серийного и массового производства. Представлены основные микро- и макропараметры (показатели) производственного процесса. Рассмотрены методы организации различных типов производства. Обоснован выбор плановых учетных единиц производственной системы. Рассмотрена формализация разных технологических операций. Показано, что выполнение технологической операции связано с переносом технологических ресурсов на предмет труда с целью изменения его свойств, каждое из которых определяется введенными параметрами.

*Resume.* The article provides an overview of current state standards and is given analysis of the main elements of the process - labor, means of labor, objects of labor. Presents the definition of the process, product, technological operation, the means of labor, properties and parameters of the product. The elements of the production structure of the enterprise. The analysis of the types of production and management systems gives. Identify the main planning tasks in a single, serial and mass production. The article presents the basic micro and macro parameters (parameters) of the production process. The article describes the methods of the organization of various types of production. The author justifies the choice of the planned accounting units of the production system. The article deals with the formalization of various technological operations. The researcher suggests that technical operations associated with the transfer of technological resources on the subject of work in order to change its properties, each of which is determined by the parameter.

*Ключевые слова:* технологический процесс, технологическая операция, предмет труда, средства труда, свойства и параметра изделия, тип производства, методы организации, PDE-модели поточных линий, система управления поточным производством, статистические модели производственных систем.

*Keywords:* process, process operation, the subject of labor, means of labor, properties and parameters of the product, the type of production, methods of organization, PDE-model production lines, production management system, statistical models of manufacturing systems.

**Введение**

Производство представляет собой сложный процесс превращения сырья, материалов и полуфабрикатов в готовую продукцию [1–4]. Технологический процесс – часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда (ГОСТ 3.1109.82) [5]. Основными элементами технологического процесса являются труд, средства труда и предметы труда. Технологический процесс может быть отнесен к изделию, его составной части или к методам обработки, формообразования и сборки (ГОСТ 3.1109.82) [5]. Изготовление продукции с заданными свойствами обеспечивается средствами труда – оборудованием, инструментами, приспособлениями, оснасткой, производственными зданиями, с помощью которых человек воздействует на предмет труда. Предмет труда – то, на что направлена деятельность человека в процессе производства, а именно: сырье, материалы, полуфабрикаты, детали и незаконченная продукция (заготовки) [5]. Совокупность предметов труда и средств составляют средства производства. Каждое изделие характеризуется свойствами. Свойство изделия – объективная особенность, которая проявляется при его создании [6]. Признак, количественно характеризующий свойства или состояние изделия называется параметром изделия [6]. Разность между наибольшим и наименьшим предельными значениями параметров изделия задает допуск на параметр. По мере



превращения в готовую продукцию предметы труда проходят отдельные, хорошо различимые во времени и пространстве стадии обработки, что позволяет их рассматривать в качестве объектов планирования и управления. Последовательное изменение состояния или свойств предметов труда происходит в процессе перехода от одной технологической операции к другой. Технологическая операция – это законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте (ГОСТ 3.1109.82) [5], делится на элементы: технологический и вспомогательный переход, установ, закрепление, рабочий и вспомогательный ход, прием, наладка, подналадка [5]. Описание технологических процессов различают по степени детализации. Стандартными являются маршрутное (сокращенное описание всех операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения без указания переходов и технологических режимов) и операционное (полное описание всех операций в последовательности их выполнения с указанием переходов и технологических режимов) описание технологического процесса [5]. Предмет труда, подлежащий производству, является изделием [7]. Изделия в ходе технологического процесса согласно ГОСТ 2.101.68 в зависимости от степени готовности и использования подразделяются на детали, комплексы, комплекты, сборочные единицы [7]. Продукция, находящаяся на промежуточных стадиях обработки, образует незавершенное производство [8], необходимое для ликвидации асинхронности в производительности технологических единиц внутри цеха и между цехами непосредственно [9]. Оборотный [10], минимальный или страховой задел характеризуют незавершенное производство [10, 11].

### **Производственная структура предприятия. Анализ типов производства и систем управления ими**

Выполнение технологических процессов сосредоточено в подразделениях, образующих производственную структуру предприятия. В промышленности выделяют три типа производственной структуры предприятий – технологическую, предметную и предметно-технологическую. Основным производственным подразделением предприятия является цех – обособленная часть предприятия, содержащая законченный технологический процесс или его логически законченную часть [12]. Под организацией, планированием и управлением производственным процессом понимается совокупность методов использования труда, средств и предметов труда. В ходе развития производственных отношений выработаны принципы эффективной организации технологического процесса – специализация участков и рабочих мест; синхронизация ритма выполнения технологических операций; параллельность выполнения технологических операций; непрерывность технологического процесса; уменьшение межоперационных заделов. Одним из показателей уровня организации технологического процесса является продолжительность производственного цикла – интервала времени от начала до окончания производственного процесса изготовления изделия [13, 14].

Таблица 1  
Table 1

#### **Характеристики технологического процесса Characteristics of the process**

Характеристики	Тип производства				
	Единичное		Серийное		Массовое
Определение типа производства	изготовление небольшими сериями. Повторяемость выпуска нерегулярна.		номенклатура изделий стабильна, повторяется; число операций значительно превышает количество рабочих мест		узкая специализация на выпуске устойчивой в течение длительного промежутка времени номенклатуре изделий
Система управления	заказная	комплектная	групповая	по заделам	по темпу выпуска
Исходные данные для планирования производства	сроки начала и окончания этапов работ	Технол. маршруты обработки деталей с указанием выполняемых операций, применяемого оборудования и норм выработки			темпы выпуска и заделы незавершен. продукции
		закрепление детали-операций за станками			
Основные макропоказатели производства	месячное производственное задание по деталям каждого наименования		квартальный, месячный, декадный план		темпы (ритм, такт)
	производственный цикл, загрузка оборудования по периодам		размера партий изделий и периодичность их изготовления		
	календарно-плановые опережения				
плотность работ на протяжении производственного цикла			межоперационные заделы		



Окончание табл. 1

Основные микро-показатели производства	длительность производственного цикла	норматив среднего межоперационного времени обработки заготовки	
	норма расхода сырья и материалов на отдельных операциях		
	процентное освоения материалов на этапе выполнения работ	сменные нормы выполнения технологической операции	
Задачи оперативного управления	контроль выполнения производственных планов		
	контроль выполнения сменных заданий	контроль заделов и оперативного регулирования выполнения планов	
	контроль комплектации производства	контроль движения деталей вдоль технологического маршрута	

Под типом производства понимается совокупность организационно-технических и социально-экономических особенностей построения производственного процесса, обусловленных повторяемостью и непрерывностью обработки предмета труда, технологией производства, технологической и организационной структурой производства, а также видом движения предметов труда (табл. 1).

Различают массовый, серийный и единичный типы производства, определяющиеся коэффициентом закрепления операций за рабочим местом (ГОСТ 3.1121.84) [15]. Массовый тип производства характеризуется узкой специализацией цехов и участков по выпуску продукции, ограниченным и устойчивым в течение длительного промежутка времени ассортиментом продукции. Основной задачей планирования является обеспечение движения обрабатываемых деталей по операциям в заданном темпе. Значительная часть календарно-плановых нормативов для массового типа производства носит устойчивый характер и непосредственно закладывается в основу планового регламента работы поточных линий. Планирование базируется на расчете темпа выпуска деталей и расчете нормативов межоперационных заделов. При серийном типе производства номенклатура изготавливаемых изделий менее стабильна, но все же регулярно повторяется в программе выпуска, число выполняемых в цехах деталь-операций значительно превышает количество рабочих мест, что определяет изготовление изделия партиями [16].

Главная задача планирования в условиях серийного производства – обеспечение периодичности изготовления изделий в соответствии с плановым заданием. Повышение серийности достигается унификацией деталей и типизацией технологических процессов. Календарно-плановыми нормативами являются размер партии изделий с однократной затратой подготовительно-заключительного времени и периодичность их изготовления; продолжительность производственных циклов обработки и календарно-плановых опережений; расчет заделов. Определение нормативного размера партии служит базой для регламента периодичности переналадок оборудования. Параллельное изготовление разных видов продукции, дополняющих друг друга в структуре трудоемкости, обеспечивает более полную загрузку оборудования. Для сокращения длительности производственного цикла используют параллельно-последовательное движение деталей, определяемое коэффициентом параллельности выполнения технологических операций. Единичный тип производства характеризуется изготовлением изделий единицами или небольшими сериями [12, 16]. Повторяемость выпуска отсутствует, либо нерегулярна. Задача планирования производства заключается в изготовлении изделий в срок и равномерной загрузке производственных участков при заданном производственном цикле. Отличительной чертой единичного типа производства является тесная связь календарно-плановых нормативов с планированием технической подготовки производства. В изделиях наряду с оригинальными деталями имеются стандартные, в росте удельного веса которых заложен резерв повышения эффективности производства. Повышает технический уровень единичного производства групповой запуск деталей, обладающих конструктивно-технологическим сходством, что позволяет организовать их совместную обработку. Каждый тип производства может быть организован разными методами. Основными являются поточные, партионные и единичные методы организации производства. Наиболее эффективны поточные методы. При большой номенклатуре продукции и частых переналадках оборудования эффективны партионные и групповые методы. Для организации производства партионным методом большое значение имеет фактор равномерной работы участков по запланированным графикам, сокращение номенклатуры и повышение величины партий. При групповом методе обработки деталей разрабатывается групповой технологический процесс и изготавливается групповая оснастка. Совокупность методов, средств и принципов организации технологического процесса образуют систему планирования и управления производством. В задачи оперативного планирования и управления входит обеспечение ритмичной, равномерной работы предприятия по разработанному плану (табл. 2).



Выбор планово-учетных единиц (табл. 2) и периодов планирования и управления зависит от выбора системы управления. Дифференциальные методы построения систем планирования и управления применяются при массовом типе производства. Укрупненные методы используются в единичном и мелкосерийном производстве. Из основных систем управления выделяются системы по-детального управления и планирования, применяемые в массовом производстве, предусматривающие выдачу цеху поддетальных программ выпуска продукции и загрузки рабочих мест. К системе поддетального оперативного управления относится система управления по заделам, поддерживающая нормативный уровень межцеховых складских заделов и применяемая при установившейся номенклатуре. Система непрерывного оперативного управления дает возможность увязать работу технологических единиц при непрерывном выпуске продукции и выявить структуру незавершенного производства [8]. Системы управления в крупносерийном и серийном производстве построены на определении сроков запуска и выпуска партий деталей. Система планирования и управления по такту потока применяется для оперативного управления производственным процессом автоматических и непрерывно-поточных линий, осуществляется на основе определения тактов операций, строго сопряженных с тактом линии. В условиях серийного производства применяется комплектная система, предусматривающая планирование технологического процесса по сдаче продукции в комплектах деталей.

Таблица 2  
Table 2

**Системы оперативно-производственного управления**  
**Systems operational production management**

Планово-учетные единицы	Типы производства					
	Единичное	Мелкосерийное	Серийное	Крупносерийное	Массовое	
	Системы планирования и управления					
Партия деталей						складская
						по нормам заделов
						по срокам межцеховых подач
Деталь						по такту
Заказ на изделие	по заказам					
Комплект на узел	комплектно-узловая					
Узлокомплект	сетевое планирование					
Цикловой комплект	комплектно-групповая					
Машинокомплект						машинокомплектная
Суткокомплект						непрерывное оперативное планирование
Условный комплект						

Длительность цикла изготовления деталей, входящих в комплект, устанавливается по ведущей детали. Укрупненной системой планирования является позаказная система. Характеристики часто встречающихся систем оперативного планирования и управления производством представлены в табл. 2. Складская система планирования и управления применяется при планировании унифицированных деталей в серийном производстве, имеющих короткий производственный цикл и широкую применяемость. Позаказная система планирования используется в единичном и мелкосерийном производстве, охватывает весь процесс изготовления заказа, включая его техническую подготовку. Комплектно-узловая – используется в единичном производстве. При этом применяется многократная подача деталей на сборку несколькими очередями, что приводит к сокращению времени пролеживания деталей. Недостатки системы выражаются в трудности организации синхронной работы, так как в комплект включаются детали с разным маршрутом. Машино-комплектная система управления используется в серийном производстве с устойчивым выпуском номенклатуры изделий, обеспечивает простые методы расчета плановых показателей, но обладает недостатком – выпуск деталей планируется с одинаковым опережением, что влечет за собой пролеживание деталей. Вариантом машино-комплектной системы является система непрерывного управления. Планово-учетной единицей служит условный комплект, в который входят узлы и детали в количестве, равном среднесуточному потреблению. Рассмотренные системы планирования и управления используют соответствующие им модели управляемых производственных процессов. Появление нового класса PDE-моделей требует построения новых и совершенствования существующих систем планирования и управления производством.



### Формализация технологической операции

Сущность формализации технологического процесса заключается в расчленении его на элементарные операции [17, с. 235], которые соответствуют элементам планирования и управления производственного процесса. Наиболее существенными элементарными операциями технологического процесса являются технологические операции или их составные части [5, 17, с. 236]. Обработка деталей, сборка, контроль качества и упаковка изделий являются элементарными операциями. Сложная технологическая операция описывается совокупностью формализованных частей операции. Совокупность простых операций представляется одной формализованной операцией в случае, когда дополнительная информация, которую можно было бы получить при более детальном описании процесса, является не существенной. Разделение технологического процесса на операции выполняется многими способами [5]. В силу неоднозначности возникает проблема выбора оптимального варианта представления технологического процесса в виде совокупности операций.

Выполнение операции над предметом труда связано с изменением его свойств. Изменение свойств предмета труда отображается наглядно, когда свойства описаны числовыми характеристиками. Выполнение операции над предметом труда связано с непрерывным изменением значений его параметров [6]. При построении математической модели операций выбирается система параметров, описывающих состояния (свойства) изделий и оборудования [18, 19]. В этом случае операция рассматривается как стохастический процесс переноса ресурсов на предмет труда, определяющий непрерывное изменение значений параметров изделий в результате взаимодействия с оборудованием. Математическая модель технологического процесса как совокупности формализованных операций представляет последовательность стохастических процессов переноса ресурсов на предмет труда [3]. Как показывает опыт моделирования производственных процессов [1–5] при построении математического аппарата ограничиваются набором небольшого количества абстрактных операций, соответствующих крупным классам формализованных операций [5, 17].

Для построения математической модели операций требуется выбрать систему величин, определяющую параметры состояния предметов труда [3, 17, с. 237]. Одним из существенных параметров обработки предмета труда является начальный момент времени обработки и моменты времени поступления  $j$ -го предмета труда на обработку  $m$ -ой операции [20]. Момент поступления  $t_{j,m-1}$   $j$ -го предмета труда к оборудованию для выполнения  $m$ -ой операции может быть детерминированным или случайным. В первом случае он жестко определяется закономерностями синхронизации отдельных операций в технологическом процессе, во втором случае – стохастическими колебаниями величин  $t_{j,m}$ . Для детерминированных последовательностей в качестве формализованной схемы используется зависимость, определяющая  $t_{j,m}$  через известные величины  $t_{(j-1),m}$  или  $t_{j,(m-1)}$ . В простейшем случае  $t_{j,m}$  задается одним из соотношений [17, 20]:

$$t_{j,m} = t_{(j-1),m} + \Delta\tau_m, \quad t_{j,m} = t_{j,m-1} + \Delta\tau_m \quad (1)$$

где  $\Delta\tau_m$  – эффективное технологическое время обработки предмета труда на  $m$ -ой операции [21]. Для случайных последовательностей  $t_{j,m}$  известны два вида формализации. Первый – основан на рассмотрении случайных приращений  $\Delta\tau_m$  величин  $t_{j,m}$ , имеющих заданные законы распределения, второй – на описании последовательности  $t_{j,m}$  как случайного потока однородных событий, по аналогии с потоками заявок теории массового обслуживания [17, 20]. Поток однородных событий оказывается достаточно просто реализуемой схемой представления величин, когда учет случайных отклонений не меняет смысла неравенств

$$t_{j,m} \geq t_{(j-1),m}. \quad (2)$$

Неравенство (2) соответствует движению предмета труда по свободной поточной линии, когда очередность следования предметов труда в пределах рассматриваемого интервала времени не нарушается или ее нарушение оказывается несущественным. Если порядок следования предметов труда оказывается существенным, то использование потоков однородных событий становится затруднительным. В этом случае удобно пользоваться законами распределения для случайных отклонений  $\Delta\tau_m$  [17]. Помимо момента поступления, предмет труда характеризуется некоторым набором количественных характеристик, описываемых непрерывными параметрами  $q_{j,k}$ , а также качественными характеристиками, описываемыми дискретными параметрами [6]. В общем случае непрерывные и дискретные параметры предмета труда являются случайными величинами.



### Моделирование операции обработки

Под формализованной операцией обработки понимается результат воздействия оборудования на предмет труда с целью переноса ресурсов, при котором меняется значение хотя бы одного из параметров предмета труда. К операциям обработки относятся операции, связанные с изменением размеров предмета труда, его положения в пространстве, сообщением ему дополнительного признака. Представление технологического процесса последовательностью операций не является однозначным. Комплекс оборудования, обеспечивающий выполнение операции обработки, является обобщенной единицей оборудования [20], независимо от реальной структуры и назначения. Операция обработки выполняется определенной обобщенной единицей оборудования. Для математического описания операции обработки необходимо установить соотношения между параметрами, определяющими воздействие оборудования на предмет труда в процессе обработки, что может быть представлено соотношением:

$$\Phi_m(t, q_{j,1}, q_{j,2}, \dots, q_{j,k}, \dots, q_{j,N}, \beta_{m,1}, \beta_{m,2}, \dots, \beta_{m,i}, \dots, \beta_{m,i}, \beta_{m,1}) = \Phi_m^0, \quad i = 1..I, \quad m = 1..M. \quad (3)$$

Случайными могут оказаться параметры предметов труда  $q_{j,k}$  или параметры оборудования  $\beta_{m,i}$ . Независимо от природы возникновения возмущений применяется простейшая формализация данного процесса

$$\Phi_m(t, q_{j,1}, q_{j,2}, \dots, q_{j,k}, \dots, q_{j,N}, \beta_{m,1}, \beta_{m,2}, \dots, \beta_{m,i}, \dots, \beta_{m,i}, \beta_{m,1}) = \Phi_m^0 + \delta\Phi_m, \quad (4)$$

где  $\delta\Phi_m$  – случайные отклонения величины  $\Phi_m$  от некоторого неслучайного значения  $\Phi_m^0$ . Соотношения (3) или (4) не исчерпывают математического описания операции обработки. Необходимо добавить зависимости, определяющие режим работы оборудования. Помимо (1) используются величины:  $t_{j,m}^p$  – момент поступления  $j$ -го предметов труда к станку,  $\Delta\tau_m^s$  – время, затрачиваемое на подготовку оборудования к выполнению следующей операции [21]

$$t_{j,m}^p = t_{j-1,m}^k + \Delta\tau_m^s \quad (5)$$

Операция может начаться в любой момент, если выполнены необходимые условия: оборудование готово к работе и к нему поступил очередной предмет труда [17]. Простои оборудования, связанные с особенностями производственных циклов, включены в  $\Delta\tau_m^s$  [21]. Имеются примеры технологических процессов [17, 20], которые характеризуются централизованным управлением производственными циклами. В качестве простейшего случая такого рода можно указать режим работы поточной линии, когда процесс обработки предметов труда жестко синхронизован с режимом сборки изделий на конвейере. Для таких производственных процессов используют предположение о том, что операция обработки начинается только в моменты времени, отстоящие друг от друга на величину длительности такта  $\Delta\tau_{\max} = \max\{\Delta\tau_1, \Delta\tau_2, \dots, \Delta\tau_m, \dots, \Delta\tau_M\}$ . Время подготовки оборудования к работе  $\Delta\tau_m^s$  после окончания обработки предыдущего предмета труда обычно является случайной величиной с заданным законом распределения. Важнейшей характеристикой операции обработки является ее длительность  $\Delta\tau_m$  [21], которая зависит как от свойств оборудования, так и от свойств предметов труда. Когда оборудование имеет жесткий такт работы, а случайные колебания величины незначительны, то  $\Delta\tau_m$  является фиксированной неслучайной величиной, определяемой параметрами оборудования. Во многих работах [17, 22]  $\Delta\tau_m$  представлено случайной величиной, вероятностные характеристики которой зависят от параметров оборудования. Достаточно часто описывают случайную величину  $\Delta\tau_m$  с точностью до двух моментов [21]. Среднее значение  $\Delta\tau_m$  зависит от параметров предметов труда, а дисперсия – от характеристик оборудования. Рассмотренное описание операции обработки может быть использовано при формализации широкого класса технологических процессов.

### Моделирование операции сборки изделий

В отличие от операции обработки операция сборки предполагает участие нескольких предметов труда [23]. Среди них различается ведущее изделие (сборный узел) и ведомые полуфабрикаты (детали, присоединяемые к узлу). Для многих производственных процессов выбор предмета труда в качестве ведущего оказывается в большей степени условным. Под операцией сборки изделия понимается операция над совокупностью предметов труда, в результате которой изменяется значение хотя бы одного из параметров ведущего предмета труда за счет



присоединения к нему ведомых, а соответствующие ведомые предметы труда прекращают существование. Существенным параметром, определяющим режимы взаимодействия оборудования во времени, является длительность обработки  $\Delta\tau_m$ . Характеристики, связанные с взаимодействием элементов процесса во времени, могут быть описаны при построении формализованной схемы таким же образом, как для операции обработки.

### Моделирование операции управления

Операции обработки и сборки являются основными технологическими операциями, составляющими фундамент производственного процесса. Формально они сведены к преобразованию параметров предметов труда при помощи соотношений вида (3). В отличие от этого операции управления сами по себе не изменяют параметров предметов труда, не оказывают влияния на их физические свойства и непосредственного отношения к обработке и сборке не имеют. В результате операций управления вырабатывается информация, необходимая для согласованной работы отдельных элементов. Задача управления заключается в настройке оборудования на режим, соответствующий параметрам поступающего предмета труда. В качестве примеров операций управления можно назвать регулирование такта производственного процесса, распределения предметов труда между параллельно работающим оборудованием, определение признаков прекращения или возобновления подачи предметов труда к оборудованию в зависимости от длины очереди, а также мероприятия, связанные с контролем хода производства и качества продукции. К операциям управления относятся операции регулирования усилий, температуры или других основных параметров, характерных для той или иной операции. Считается, что существует некоторый набор оборудования, называемый управляющим устройством, который обеспечивает выполнение операции управления. В общем случае при моделировании процессов управления объектами с участием человека встречаются и некоторые принципиальные трудности, требующие дополнительных исследований [24]. В результате операции управления извлекается информация о требуемых изменениях технологических режимов для рассматриваемого комплекса технологического оборудования с параметрами  $\beta_{m,i}$ . Эту информацию представляют в виде поправок  $\Delta\beta_{m,i}$  к параметрам оборудования  $\beta_{m,i}$ :

$$\Delta\beta_{m,i} = \Delta\beta_{m,i}(t, q_{j,1}, q_{j,2}, \dots, q_{j,k}, \dots, q_{j,N}, \beta_{m,1}, \beta_{m,2}, \dots, \beta_{m,i}, \dots, \beta_{m,i}, \beta_{m,i}). \quad (6)$$

Кроме соотношений (6) необходимо описать прохождение сигналов управления во времени. Существенным обстоятельством является привязка операции управления к длительности технологического акта, связанного с операцией. Может оказаться, что операция управления заканчивается до начала операции, а начинается после поступления соответствующего предмета труда. Такая схема имеет преимущества, когда наибольшее влияние на  $\Delta\beta_{m,i}$  оказывают параметры поступающего предмета труда. Если задача управления состоит в поддержании стабильных значений параметров  $q_{j,k}$  или стабильных режимов работы оборудования, то удобно считать, что операция управления начинается после окончания операции. Не исключается возможность одновременного выполнения операции и операции управления, причем соотношение (6) превращается в уравнение саморегулирования для  $\beta_{m,i}$ .

### Формализация нарушений нормативного состояния параметров технологического процесса

Схемы формализации операций, основываются на предположениях о нормированном состоянии параметров производственного процесса [5–7]. Под нормированным состоянием параметров технологического процесса понимаются случаи, когда все контролируемые параметры процесса находятся в допустимых пределах [6, 7]. Однако реальные производственные процессы сопровождаются явлениями, способными вывести параметры процесса за допустимые пределы. Нарушения нормированного состояния параметров предмета труда, связаны с расстройством режима синхронизации, выходом из строя элементов оборудования, ремонтом, а также периодическими наладочными мероприятиями. Интервалы времени, определяющие синхронизацию операций, зачастую являются случайными величинами. Имеют место случаи образования очереди предметов труда у занятого оборудования, а также случаи простоя оборудования из-за отсутствия предметов труда. Если предмет труда поступает к оборудованию, выполняющему операцию над предыдущим предметом труда или находящимся в стадии подготовки к выполнению операции, то предмет труда ожидает начало операции, нормированное



течение производственного процесса не нарушается; полуфабрикат может ожидать начала операции в течение интервала времени  $\Delta\tau^{\text{пр}}_m$ . Если  $t^n_{j,m} \leq t^p_{j,m} + \Delta\tau^{\text{пр}}_m$ , то технологический процесс протекает нормировано. В противном случае в момент времени  $t > t^p_{j,m} + \Delta\tau^{\text{пр}}_m$  предмет труда исключается из технологического процесса. При горячей обработке детали в результате ожидания температура может снизиться до такой степени, что выполнение операции окажется невозможным. Происходит срыв производственного процесса из-за длительного ожидания, обрабатываемый или поступивший предмет труда исключается из технологического процесса (уходит в брак). Исключенный предмет труда может оказаться непригодным к дальнейшему использованию или быть способным к восстановлению, хранится вблизи станка и поступает на обработку, когда станок простаивает. Интервал ожидания  $\Delta\tau^{\text{пр}}_m$  в общем случае – случайная величина с заданным законом распределения. Из всевозможных случаев десинхронизации параметров производственных процессов выделяются простои оборудования, вызванные задержками в поступлении предметов труда. Нормированное течение процесса при этом может не нарушаться. Получение бракованного предмета труда при выполнении операции является случайным событием, полностью характеризуется вероятностью брака, которая зависит как от параметров предмета труда, так и от параметров оборудования. Вероятности появления брака рассматривают в виде зависимости от характеристик оборудования, описывающих его состояние как функцию интервала времени, прошедшего с момента последней наладки. По мере удаления от момента наладки станка качество выпускаемой продукции ухудшается. Целесообразно рассматривать брак как следствие выхода некоторых параметров изделий за допустимые пределы. При выходе из строя блока оборудования обрабатываемый предмет труда может оказаться бракованным с некоторой вероятностью. Если при отказе оборудования предмет труда оказался годным, необходимо следить за его движением по технологическому маршруту. При этом обработка предмета труда продолжается нормировано. Возможны ситуации, когда обработка предмета труда прекращается и продолжается после ввода оборудования в строй. При этом обработка предмета труда должна начаться сначала. При отказе оборудования необходимо иметь в виду два важных случая. В первом случае, при выходе из строя блока выходит из строя и оборудование. В другом – при выходе из строя блока или элемента оборудование полностью не отказывает, но качество его работы снижается, увеличивается вероятность брака, снижается период времени между последовательными наладками оборудования, увеличиваются отклонения параметров изделий после операции от их требуемых значений. Одним из существенных вопросов формализации производственных процессов является проблема определения неисправности или отказа оборудования. Время ремонта является случайной величиной с заранее известным законом распределения [6, 25]. При исследовании управляемого производственного процесса приходится сталкиваться с другого рода нарушениями – постепенными выходами оборудования из строя. Последствием износа оборудования является заметное увеличение доли бракованных изделий. Факт увеличения доли брака в зависимости от времени, прошедшего с момента очередной наладки оборудования может быть описан через вероятность появления брака. Рассмотренные последствия износа оборудования являются распространенными. Для ликвидации последствий износа оборудования принимаются специальные меры, которые сводятся к периодическим прерываниям производственного процесса на планово-предупредительные работы для замены или ремонта износившихся элементов. Время наладки считается случайной величиной с заданным законом распределения. Для формального описания закономерностей, связанных с наладкой оборудования, используются соответствующие типы систем массового обслуживания.

### Заключение

Аналитические методы проектирования систем управления производственными поточными линиями основываются на построении в фазовом пространстве состояний траекторий предметов труда. Фундаментом для построения эффективных предметно-технологических моделей управляемых производственных процессов, описывающих движение партии предметов труда по технологическому маршруту поточной линии, фундаментом которых являются законы сохранения, характеризующие процесс переноса ресурсов на предмет труда. Разработка детального предметно-технологического описания управляемого производственного процесса, основанного на стохастическом механизме переноса технологических ресурсов на предмет труда, в результате воздействия оборудования в ходе выполнения технологической операции, требует введения параметров, характеризующих состояние предмета труда в фазовом технологическом пространстве. Для введения параметров необходимо определиться с формализацией технологического процесса, а также его составных частей – технологических операций. При этом описание следует строить на уже известных определениях, что позволяет использовать существующую методологию построения техноло-



гических моделей для проектирования систем управления с использованием PDE-моделей (1–4). Проведенный в статье обзор и краткий анализ основных определений, используемых для описания технологического процесса, позволяет сформулировать основные из известных терминов ГОСТ, которые следует использовать для проектирования таких систем управления.

### Список литературы References

1. Пигнастый О.М. О новом классе динамических моделей поточных линий производственных систем / О.М. Пигнастый // Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. - 2014. - № 31/1. - С. 147–157  
Pignasty O.M. O novom klasse dinamicheskikh modelej potocnykh linij proizvodstvennykh sistem / O.M. Pignasty // Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika. - 2014. - № 31/1. - S. 147–157
2. Пигнастый О.М. Обзор моделей управляемых производственных процессов поточной линии производственных систем // Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика. - 2015. - № 34/1. С.137–152  
Pignastyj O.M. Obzor modelej upravljaemykh proizvodstvennykh processov potocnoj linii proizvodstvennykh sistem // Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Jekonomika. Informatika. - 2015. - № 34/1. S. 137–152
3. Пигнастый О.М. Статистическая теория производственных систем / О.М. Пигнастый. - Харьков: ХНУ, 2007. - 388 с.  
Pignasty O.M. Statisticheskaja teorija proizvodstvennykh sistem / O.M. Pignasty. - Harkiv: HNU, 2007. - 388 s.
4. Пигнастый О.М. Анализ моделей переходных управляемых производственных процессов / О.М. Пигнастый // Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика. - 2015. - № 35/1. - С. 133–144  
Pignastyj O.M. Analiz modelej perehodnykh upravljaemykh proizvodstvennykh processov / O. M. Pignastyj // Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Jekonomika. Informatika. - 2015. - № 35/1. - S. 133–144
5. ГОСТ 3.1109.82. Термины и определения основных понятий. – М.: Госстандарт России, 2003. – 15 с.  
ГОСТ 3.1109.82. Terminy i opredelenija osnovnyh ponjatij. – М.: Gosstandart Rossii, 2003. –15 s.
6. ГОСТ 15467.79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Госстандарт России, 2001. – 25 с.  
GOST 15467.79. Upravlenie kachestvom produkcii. Osnovnye ponjatija. Terminy i opredelenija. – М.: Gosstandart Rossii, 2001. – 25 s.
7. ГОСТ 2.101.68. Виды изделий. – М.: Госстандарт России, 1995. – 3 с.  
GOST 2.101.68. Vidy izdelij. – М.: Gosstandart Rossii, 1995. – 3 s.
8. Пигнастый О.М. Задача оптимального оперативного управления макропараметрами производственной системы с массовым выпуском продукции / О.М. Пигнастый // Доповіді Національної академії наук України. – Київ: Видавничий дім «Академперіодика». – 2006. – № 5 – С. 79–85.  
Pignasty O.M. Zadacha optimal'nogo operativnogo upravlenija makroparametrami proizvodstvennoj sistemy s massovym vypuskom produkcii / O.M. Pignasty // Dopovidi Nacional'noї akademii nauk Ukraїni. – Kiїv: Vidavnicij dim «Akademperiodika». – 2006. – № 5 – S. 79–85.
9. Пигнастый О.М. Статистическая модель управления технологическим процессом / О.М. Пигнастый // Системный анализ та інформаційні технології: Тези доповідей 14-ї Міжнародної науково-практичної конференції, (SAIT2012), (Київ, 24 квітня 2012). - Київ: НТУ «КПІ». - 2012. - С. 105–106.  
Pignasty O. M. Statisticheskaja model' upravlenija tehnologicheskim processom / O. M. Pignasty // Sistemnij analiz ta informacijni tehnologii: Tezi dopovidej 14-i Mizhnarodnoї nauково-praktichnoї konferencii, (SAIT2012), (Kiїv, 24 kvitnja 2012). - Kiїv: NTU «KPI». - 2012. - S. 105–106.
10. ГОСТ 3.1109.82. Термины и определения основных понятий. – М.: Госстандарт России, 2003. – 15 с.  
ГОСТ 3.1109.82. Terminy i opredelenija osnovnyh ponjatij. – М.: Gosstandart Rossii, 2003. –15 s. (in Russian)
11. Демущий В.П. Стохастическое описание экономико-производственных систем с массовым выпуском продукции / В.П. Демущий, В.С. Пигнастая, О.М. Пигнастый // Доповіді Національної академії наук України. – Київ: Видавничий дім «Академперіодика». – 2005. – № 7. – С. 66–71.  
Demuckij V.P. Stohasticheskoe opisanie jekonomiko-proizvodstvennykh sistem s massovym vypuskom produkcii / V.P. Demuckij, V.S. Pignastaja, O.M. Pignasty // Dopovidi Nacional'noї akademii nauk Ukraїni. – Kiїv: Vidavnicij dim «Akademperiodika». – 2005. – № 7. – S. 66–71.
12. Разумов И.М. Организация и планирование машиностроительного производства / И. М. Разумов, Л. Я. Шухгалтер – М.: Машиностроение, 1974. – 592 с.  
Razumov I.M. Organizacija i planirovanie mashinostroitel'nogo proiz-vodstva / I. M. Razumov, L. Ja. Shuhgalter – М.: Mashinostroenie, 1974. – 592 s.
13. ГОСТ 14.004-83. Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий. – М.: Госстандарт России, 2007. – 4 с.  
GOST 14.004-83. Tehnologicheskaja podgotovka proizvodstva. Terminy i opredelenija osnovnyh ponjatij. – М.: Gosstandart Rossii, 2007. – 4 s.



14. Пигнастый О.М. Расчет производственного цикла с применением статистической теории производственно-технических систем / О.М. Пигнастый, В.Д. Ходусов // Доповіді Національної академії наук України. – Киев: Видавничий дім «Академперіодика». – 2009. – № 12. – С. 38–44.  
Pignasty O.M. Raschet proizvodstvennogo cikla s primeneniem statisticheskoy teorii proizvodstvenno-tehnicheskikh sistem / O.M. Pignasty, V. D. Hodusov // Dopovidi Nacional'noi akademii nauk Ukraini. – Kiev: Vidavnic hij dim «Akademperiodika». – 2009. – № 12. – S. 38–44.
15. ГОСТ 3.1121.84. Общие требования к комплектности и оформлению на типовые и групповые технологические процессы (операции). – М.: Госстандарт России, 2005. – 48 с.  
GOST 3.1121.84. Obshhie trebovanija k komplektnosti i oformleniju na tipovye i grupповые tehnologicheskije processy (operacii). – M.: Gosstandart Rossii, 2005. – 48 s.
16. Летенко В. А. Организация, планирование и управление машиностроительным предприятием / В. А. Летенко, Б.Н.Родионов. – М.: Высшая школа, 1979. – Ч.2. – 232 с.  
Letenko V. A. Organizacija, planirovanie i upravlenie mashinostroitel'nym predprijatijem / V. A. Letenko, B.N.Rodionov. – M.: Vysshaja shkola, 1979. – Ch.2. – 232 s.
17. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – М.: Наука, 1978. – 356 с.  
Buslenko N. P. Modelirovanie slozhnyh sistem / N. P. Buslenko. – M.: Nauka, 1978. – 356 s.
18. Armbruster D. Kinetic and fluid model hierarchies for supply chains. / D. Armbruster, D. Marthaler, C. Ringhofer // SIAM Multiscale Model Simul. – 2004. – № 1. – P. 43 – 61.
19. Азаренков Н. А. О законе возрастания энтропии технологического процесса. / Н. А. Азаренков, О. М. Пигнастый, В. Д. Ходусов // Доповіді Національної академії наук України. – Київ: Видавничий дім «Академперіодика». – 2012. – № 5 – С. 32–37.  
Azarenkov N. A. O zakone vozrastanija jentropii tehnologicheskogo processa. / N. A. Azarenkov, O. M. Pignastyj, V. D. Hodusov // Dopovidi Nacional'noi akademii nauk Ukraini. – Kiiv: Vidavnic hij dim "Akademperiodika". – 2012. – № 5 – S. 32–37.
20. Шкурба В. В. Планирование дискретного производства в условиях АСУ / В.В. Шкурба, В.А. Болдырева, А. А. Вьюн и др. / под ред. В. М. Глушкова. – К.: Техника, 1975. – 296 с.  
Shkurba V. V. Planirovanie diskretnogo proizvodstva v uslovijah ASU / V. V. Shkurba, V. A. Boldyreva, A. A. Vjun i dr. / pod red. V. M. Glushkova. – K.: Tehnika, 1975. – 296 s.
21. Lefebvre E. Modeling, Validation and Control of Manufacturing Systems / E. Lefebvre, R.A. Berg, J.E. Rooda // – Proceeding of the 2004 American Control Conference. – Massachusetts. – 2004. – P. 4583 – 4588.
22. Пигнастый О. М. Инженерно-производственная функция предприятия с серийным или массовым выпуском продукции / О. М. Пигнастый // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – Харьков: НАКУ. – 2005. – № 42(3). – С. 111 – 117.  
Pignasty O. M. Inzhenerno-proizvodstvennaja funkcija predprijatija s serijnym ili massovym vypuskom produkcii / O. M. Pignasty // Voprosy proektirovanija i proizvodstva konstrukcij letatel'nyh apparatov. – Har'kov: NAKU. – 2005. – № 42(3). – S. 111 – 117.
23. Zhang Liang. System-theoretic properties of Production Lines: A dissertation submitted the degree of Doctor of Philosophy / Zhang Liang. – Michigan, 2009. – 289 p.
24. Первозванский А. А. Математические методы в управлении производством / А. А. Первозванский. – М.: Наука, 1975. – 616 с.  
Pervozvanskij A. A. Matematicheskie metody v upravlenii proizvodstvom / A. A. Pervozvanskij. – M.: Nauka, 1975. – 616 s.
25. ГОСТ 50779.10-2000(ИСО 3534.1-93). Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения. – М.: Госстандарт России, 2000. – 38 с.  
GOST 50779.10-2000(ISO 3534.1-93). Statisticheskie metody. Verojatnost' i osnovy statistiki. Terminy i opredelenija. – M.: Gosstandart Rossii, 2000. – 38 s.