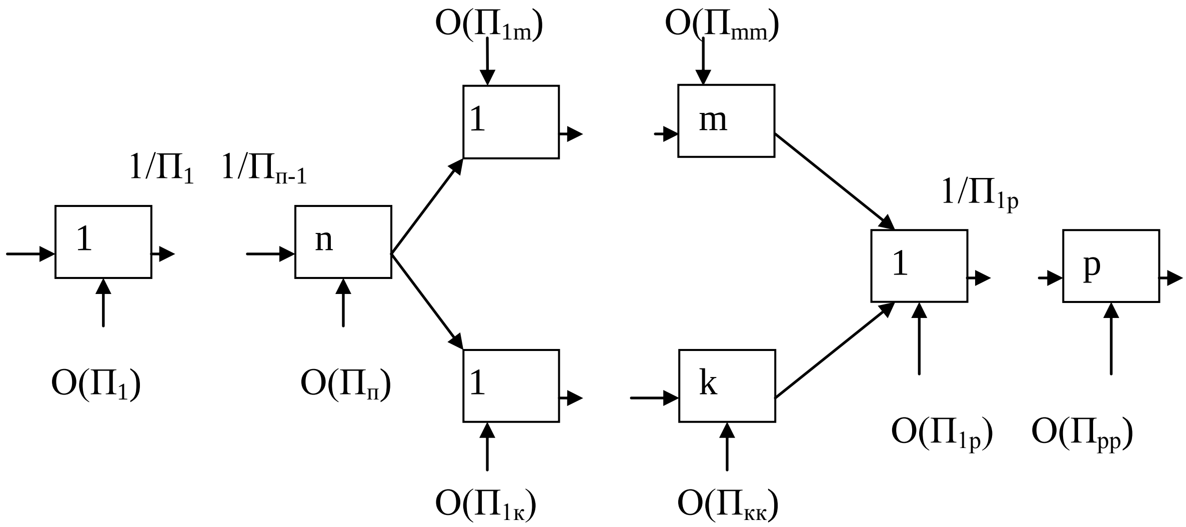
С.М. Базаров, Ю.И. Беленький, А.Н. Соловьев

ОСНОВЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ



Санкт-Петербург
2018

УДК 519.81; 630

Рецензенты:
доктор технических наук, профессор **Б.Г. Мартынов,**
кафедра технологических процессов и машин
лесного комплекса СПбГЛТУ

Базаров С.М. Основы системного анализа производственных процессов. / С.М. Базаров, Ю.И.Беленький, А.Н. Соловьев– СПб.: СПбГЛТУ, 2018.-60 с.
S.M. Bazarov, Yu.I. Belenkij, A.N.Soloviov Fundamentals of system analysis of production processes-SPb, 2018.-60 p.

ISBN 978-5-9239-1035-3

Выполнено построение математической модели оптимизации многоступенчатых процессов и определение принципа гармонии с позиции теории систем, базовым представлением которых является группа симметрии, формулируемая целевой функцией.

Раскрытие группы симметрии дискретных технологических, энергетических, кинематических, экономических потоков, сопровождающих многоступенчатые процессы, в виде мультипликативной группы по умножению на множестве действительных чисел, определяемой соответствующей целевой функцией, становится ведущим подходом к решению проблемы оптимизации.

Множество целевых функций формулирует функциональные времена, на основании которых многоступенчатый процесс становится системой в виде единой глубоко интегрированной структуры. Принцип быстродействия многоступенчатых процессов в функциональном времени сводится к синхронизации функциональных времен ступеней. Поэтому принцип системной гармонии должен реализовываться путем суперпозиции принципа быстродействия многоступенчатых процессах во внешнем (физическом) и внутреннем (функциональном) временах.

Материалы исследования могут быть полезными для математиков, инженеров, студентов, аспирантов, занимающимися задачами оптимизации.

Completed the construction of a mathematical optimization model of multi-stage processes and the definition of the principle of harmony from the perspective of system theory, the basic idea is to group symmetry, we formulate the objective function.

ISBN 978-5-9239-1035-3

ВВЕДЕНИЕ

Повышение производительности труда в лесной отрасли зависит от того на сколько научные основы теории самоорганизующихся систем, кибернетики, многофакторного анализ, оптимального управления, вариационных принципов, математической и экономической статистики, современных навигационных систем и др.,- используются при формировании технологий, контроле и управлении сложными, глубоко интегрируемыми процессами в производственном пространстве-времени.

Базовым представлением лесной отрасли народного хозяйства является система – единая функционально связанная пространственно-временная структура сложных технологических процессов производства и перемещения древесины от мест её произрастания до потребителей продукции предприятий.

Тактика и стратегия повышения производительности труда в данной отрасли связана с необходимостью оптимизации многоступенчатых процессов в целом, как единых глубоко интегрированных структур в совместном функциональном пространстве-времени.

Дифференцированный подход к оптимизации отдельных процессов является необходимым, но не достаточным условием устойчивого развития отрасли в целом; его необходимо сочетать с интегрированной технико-экономической эффективностью производства как целостной системы.

Принципы представления технической эффективности лесозаготовительного производства в функциональном пространстве-времени лесосеки естественным образом обобщаются на последующие лесотранспорт, лесопромышленные и деревоперерабатывающие предприятия и т.д., чтобы раскрыть технико-экономическую динамическую картину состояния отрасли в целом и решать проблему повышения её производительности, как важной составляющей народного хозяйства.

Последовательно выполняемые операции производства и перемещения лесоматериалов на лесосеке, транспорте и лесопромышленном предприятии образуют единую динамическую, многоступенчатую, функционально связанную пространственно-временную структуру, нацеленную на оптимальное выполнение своей целевой функции,- устойчивое гармоническое развитие в сложных условиях динамического рынка народного хозяйства.

Лесное машиностроение на рынке представлено широким спектром машин, механизмов и оборудования лесозаготовки-транспорта-переработки: бензиномоторные пилы, валочные и валочно-пакетирующие машины, трелевочные трактора, многооперационные машины, сортиментовозы, процессоры, рубительные машины для измельчения вторичного сырья, лесовозные автомобили, круглопильные станки, лесопильные рамы и др..

Поэтому при формировании технологий особую важность приобретает принцип согласованности последовательно выполняемых производственных операций с возможным исключением межоперационного складирования продукции, простоя техники и т.д..

Рациональное планирование, организацию, управление и контроль процессов производства и передвижения материальных потоков и сопутствующих финансовых, юридических, информационных и др. от первичного сырья до конечного потребителя, формулирует логистика. В лесной отрасли логистика формируется как суперпозиция двух подлогистик:

- лесопромышленной (от древесного сырья до потребителей);
- лесовоспроизводимой (от потребителей до воспроизводства леса).

Поэтому в лесной отрасли основой логистики становится принцип цикличности производства, переработки и воспроизводства древесины леса.

В Естествознании присутствует представление внешнего пространства-времени и внутреннего (функционального) пространства-времени: первое является внешним измерителем процессов, оно входит в процессы общей параметрической формой; второе становится функциональной составляющей процессов (сколько процессов, столько функциональных времен-пространств) и представляется функцией (функционалом).

Исследование сложных производственных систем следует рассматривать как суперпозицию их поведения во внешнем и внутреннем пространстве-времени. Измерителями динамических процессов во внешнем пространстве-времени, в котором выполняются технологические операции, являются приборы времени (астрономического), длины (геометрической) и др..

Внутреннее пространство-время производственных процессов становится функциональным измерителем единиц продуктов производства, перемещения, ресурсов и др., обладая свойством аддитивности, оно позволяет формулировать наиболее информативные критерии эффективности системы в целом.

Следует отметить, что внешнее и внутреннее (функциональное) пространство-время являются сопряженными и дополняющими друг друга, образуя единое пространство-время технологических процессов.

Принцип быстродействия в функциональном пространстве-времени сложного производственного процесса формулируется как необходимость максимальной синхронизации последовательно выполняемых операций, минимального времени перехода от одной операции к другой, минимальное значение дисперсии статистических колебаний параметров состояния выполняемых операций и др..

Понятие системы является базовым в народном хозяйстве, её динамическое развитие определяется способностью раскрытия картины представления пространства-времени, в котором выполняются процессы, и принципа гармонизации (целостности).

Единицами измерений на основе астрономического времени в производственно-экономических системах являются:

- предметов труда - $м^3$ / час, $м^2$/час, шт/час и др.,
- перемещения – м /с, км/час,
- мощности – кВтчас/час,,
- финансов – руб/час,

и др..

Здесь в знаменателе « час » – внешний параметр по отношению к процессу - единица астрономического времени, общая для всех структур, составляющих систему, а числитель (предмет труда, энергии, финансы и др.) – функционален и определяется статистическим детерминизмом выполнения производственных и экономических процессов во внешнем времени.

Система наряду с естественным свойством связанности подсистем должна обладать их целостностью в проявлении гармонии.

Поэтому в системе необходимо присутствие групповой операции, двух полугрупп с асимметричными свойствами относительно единицы группы. Группа в системе это носитель гармонии, т.е. целостности, как оптимизации с учетом наличия противоположных свойств в её подсистемах.

Продукция в производственных и финансово-экономических системах выражается в рациональных числах (Q), известно, что отличные от нуля рациональные числа образуют группу по умножению

$$q \in Q/0, \quad q\, q^{-1} = 1 .$$

Поэтому продукцию системы на единице внешнего времени (предмет труда) / час, руб /час и др.) можно рассматривать как полугруппу группы и построить ей в соответствие симметричную (по отношению к групповой операции) полугруппу

$$q \rightarrow q^{-1} ,$$

это означает, что единицам измерения во внешнем пространстве-времени в системе с представленной групповой операцией соответствуют симметричные единицы:

- час / м^3, час/м^2, час/ шт, и др.,
- с/м, час/км,
- час / кВтчас,
- час /руб,

и др..

Здесь время характеризует время производства единицы труда, перемещения, производства энергии, финансовых затрат и др. в системе, оно зависит от процесса и становится его функциональной составляющей . .

Единицы измерения во внешнем (астрономическом) и внутреннем (функциональном) временах являются симметричными относительно данной групповой операции

$$(м^3 /час)\ (час/м^3) = 1,$$

$$(м^2 /час)\ (час/м^2) = 1,$$

$$(м /час)\ (час/м) = 1,$$

$$(кВтчас/ час)\ (час/кВтчас) = 1\ ,$$

$$(руб/час)\ (час/руб) = 1\ ,$$

и др..

Хотя внешнее и внутреннее времена в производственных процессах измеряются в одних единицах, но у них различная информационная нагрузка: первое определяет единицу времени, которое не зависит от хода протекания процесса, а второе является следствием его выполнения.

Системы в народном хозяйстве работают в суперпозиции внешнего (астрономического) и внутреннего (функционального) временах, последнее должно дополнять первое (и наоборот), выстраивая гармоничное (целостное) развитие, поэтому анализ их эффективности должен выполняться одновременно в мультипликативно сопряженных временах.

С рассматриваемых позиций становится возможным эффективный технико-экономический анализ лесопромышленного и деревоперерабатывающего производств как единой динамической системы лесной отрасли (от сырья до потребителя и обратно) и выстраивать тактику и стратегию устойчивого гармоничного развития.

При переходе от внешнего пространства-времени технологического процесса к функциональному пространству-времени происходит отображение представления критериев оптимизации: экстремальным интегральным функционалам операций производства и перемещения во внешнем пространстве-времени ставится в соответствие суммирование функциональных времен всех выполняемых операций.

В функциональном технологическом пространстве-времени принцип максимума производства и энергосбережения формулируется как высокая степень синхронизация функционального времени производства единиц продукции, перемещения и энергии в последовательно выполняемых операциях.

Специфика производства и перемещения лесоматериальных и финансовых потоков приводит к необходимости формулирования своих наиболее информативных системно-динамических критериев эффективности процессов в функциональном пространстве-времени: производительности, мощности, технологической скорости, себестоимости, и их удельные характеристики как для отдельных операций, так и для системы в целом.

Множество критериев образуют многомерное функциональное пространство, векторы которого характеризуют технико-экономическую эффективность лесопромышленного производства в целом.

1. СИСТЕМНАЯ СВЯЗАННОСТЬ ПРОЦЕССОВ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

1.1. Производительность.

Обобщенная формула производительности лесозаготовительных машин, механизмов, оборудования и лесовозных автомобилей имеет вид

$$П = V_x / t_x , \qquad (1.1)$$

где V_x - средний объем хлыста, определяемый по таксационным характеристикам лесосеки, t_x – время выполнения технологической операции.

Согласно формуле (1) средний объем хлыста становится постоянным параметром (инвариантом) всего непрерывного технологического цикла производства лесоматериалов и их перемещения, как на лесосеке, так и при последующих транспортировке и переработке в лесопромышленном предприятии.

Производительность цикла последовательно выполняемых операций комплексом равна

$$П_c = V_x / \sum t_{xi}\ ,\ \ i = 1, 2, 3, ..,n\ , \qquad (1.\ 2)$$

здесь n – число последовательно выполняемых операций.

При непрерывном процессе производства эффективная производительность технологии равна

$$П_{сн} = n\ V_x /\ \ \xi_x\ \sum t_{xi}\ ,\ \ i = 1, 2, 3, ..,n\ , \qquad (1.\ 3)$$

где $\xi_x \geq 1$ - характеризует стохастичность производственного процесса,

Из (1) следует функциональное время производства хлыста

$$t_{\ x} = V_x / П\ , \qquad (1.\ 4)$$

и суммарное время цикла производственных операций

$$T = \sum t_{xi} = V_x \sum (1 / П_i\ ) = V_x \sum \tau_i\ ,\ \ i = 1, 2, 3, ..,n\ , \quad (1.\ 5)$$

здесь функциональное время производства единицы объема в технологической операции

$$\tau_i = 1 / П_i\ \ , \qquad (1.66)$$

Производительность цикла выполняемых операций равна

$$П_{сц} = 1 / \sum\tau_i \ , \quad i = 1, 2, 3, ..,n \ , \qquad (1.77)$$

и при непрерывном производстве

$$П_{сн} = n / \ \xi_x \sum\tau_i \ , \ i = 1, 2, 3, ..,n \ , \qquad (1.8)$$

Таким образом, статистически детерминированная сумма функциональных времен производства единицы объема в операциях технологического процесса характеризует производительность системы.

При системной связности процессов производительность процессов отличается друг от друга только дисперсией функционального времени.

Эффективность производительности процесса в целом следует оценивать коэффициентом

$$К_п = П_{сн} / \sum П_i \ , \ i = 1, 2, 3, ..,n \ . \qquad (1.9)$$

1.2. Мощность

Эффективная мощность машины в комплексе последовательного производства определяется формулой

$$N = n / \xi_м \sum \tau_{мi} \ , i = 1, 2, 3, .. ., n \ ,$$

и комплекса

$$N_c = n^2 / \xi_м \sum \tau_{мi} \ , i = 1, 2, 3, .. ., n \ , \qquad (1\ 10)$$

где $\tau_{мi} = N^{-1}_i$ - функциональное время затраты единицы энергии в i–той операции, N_i – мощность, представленная как энергия в единицу времени.

В функциональном времени мощность операций одинаковая.

Энергетическую эффективность процесса можно оценивать коэффициентом

$$К_м = N_c / \sum N_i \;,\; i = 1, 2, 3, .., n \;. \qquad (1.\ 11)$$

1.3. Технологическая скорость

Средний объем хлыста можно записать в виде

$$V_х = S_х\, L_х, \qquad (1.12)$$

где $S_х$ — площадь поперечного сечения хлыста, осредненная по его длине $L_х$.

Согласно (1. 1) и (1. 12) средняя длина хлыста, наряду со средним объемом хлыста, является так же инвариантным параметром в технологическом процессе производства.

Поэтому можно ввести представление технологической скорости производства и перемещения выполняемых операций как кинематического параметра в функциональном пространстве-времени производственного процесса

$$U_х = L_х / t_х = П_х / S_х, \qquad (1.\ 12,\ а)$$

Обратная величина технологической скорости производства (перемещения)

$$t_х = 1 / U_х, \qquad (1.\ 13)$$

является функциональным параметром состояния технологической операции, который определяет время производства (перемещения) единицы длины лесопродукции на технологическом пути.

Суммарное функциональное время технологического цикла производства (перемещения) единицы длины равно

$$T_х = \sum t_{хj}, \quad i = 1, 2, 3, \ldots, n, \qquad (1.\ 14)$$

где n — число операций в технологическом процессе.

При непрерывном процессе функциональное время производства единицы длины определяется с учетом стохастичности процесса

$$T_* = \xi_к\, T_х / n. \qquad (1.15)$$

Технологическая скорость дискретных циклов равна

$$U_ц = 1 / T_х, \qquad (1.16)$$

при непрерывном производстве на лесосеке технологическая скорость процесса равна

$$U = 1 / T_* = U_ц\, n. \qquad (1.17)$$

В функциональном времени системы технологическая скорость одинаковая для элементов системы.

Эффективность технологической скорости производственного процесса можно оценить коэффициентом

$$К_к = U / \sum U_{xi}\ , ,\ \ i = 1, 2, 3, .., n\ . \qquad (1.18)$$

1.4. Себестоимость

Функциональное время себестоимости технологической операции определяет время выполнения технологической операции при затрате финансовой единицы

$$c_i = 1 / C_i\ , \qquad (1.19)$$

где C_i - стоимость операции в единицу времени.

Суммарное функциональное время реализации производства (перемещения) системой равно

$$c_ε = \sum c_i\ ,\ ,\ \ i = 1, 2, 3, .., n\ . \qquad (1.20)$$

функциональное время выполнения технологической операции в системе

$$c = c_{\varepsilon} / n , \qquad (1.21)$$

тогда себестоимость процесса в функциональном финансовом времени

$$C_{ф} = n / c . \qquad (1.22)$$

Здесь так же себестоимость процессов в функциональном времени системы одинаковая.

Финансовую эффективность системы в целом следует оценивать коэффициентом

$$К_{ф} = C_{ф} / \sum C_{i} , , \; i = 1, 2, 3, .., n . \qquad (1.23)$$

Удельные характеристики:

- *удельная производительность*

$$п = П_{сн} / N_{с},$$

- *удельная скорость*

$$v = U / N_{с} ,$$

- *удельная себестоимость*

$$c_{ф} = C_{ф} / N_{с} .$$

1.5. Обобщенная технико-экономическая эффективность

В результате системного анализа технико-экономической эффективности процессов лесопромышленного производства в функциональном пространстве-времени становится возможным сформулировать функциональное пространство производства, перемещения, энергетических и финансовых затрат, размерность которого составляют построенные основные безразмерные критерии эффективности: производительности, мощности, технологической скорости и финансовых затрат.

Поэтому обобщенную технико-экономическую эффективность лесопромышленных процессов можно характеризовать длиной вектора в 4-х мерном функциональном пространстве, построенном на функциональном пространстве-времени производственных операций,

$$E = (К^2_п + К^2_м + К^2_к + К^2_ф)^{1/2}. \qquad (1.\ 24)$$

При многовариантности формирования лесопромышленных технологий выполненные исследования, дополненные методами нечеткой логики, могут служить основой решения задачи их оптимального построения.

Заключение

Повышение производительности труда в лесной отрасли связано с необходимостью оптимизации многоступенчатых процессов в целом, как единых глубоко интегрированных структур, выполняющих свои много критериальные цели в совместном многомерном функциональном пространстве-времени.

Дифференцированный подход к оптимизации отдельных процессов является необходимым, но не достаточным условием устойчивого развития отрасли в целом; его необходимо сочетать с интегрированной технико-экономической эффективностью с системным подходом, основанным на представлении групп симметрии.

Последовательно выполняемые операции производства и перемещения лесоматериалов на лесосеке, транспорте и лесопромышленном предприятии образуют единую динамическую, многоступенчатую, функционально связанную пространственно-временную структуру, нацеленную на оптимальное выполнение своей целевой функции,- устойчивое гармоническое развитие в сложных условиях динамического рынка народного хозяйства.

В Естествознании присутствует представление внешнего (физического) времени и внутреннего (функционального) времени: первое является внешним измерителем процессов, его ход не зависит от производственных процессов; второе становится функциональной составляющей предметов труда производства (сколько процессов, столько функциональных времен).

Исследование сложных производственных систем следует рассматривать как суперпозицию их поведения во внешнем и внутреннем пространстве-времени.

Внутреннее пространство-время производственных процессов становится функциональным измерителем единиц продуктов производства, перемещения, ресурсов и др., обладая свойством аддитивности, оно позволяет сформулировать наиболее информативные критерии эффективности системы в целом.

Принцип быстродействия в функциональном пространстве-времени сложного производственного процесса формулируется как необходимость максимальной синхронизации последовательно выполняемых операций, минимального времени перехода от одной операции к другой, минимальное значение дисперсии статистических колебаний параметров состояния выполняемых операций и др..

2. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ ПРОЦЕССОВ

При всех множественных способах формирования многоступенчатых процессов выполним аналитические исследования для основных типов: простого, разделительного, соединительного и сложного, позволяющих решать задачи много вариантности.

Переход к функциональному времени ступени происходит путем мультипликативной инверсии относительно единицы группы умножения рациональных чисел.

2.1. Простой многоступенчатый процесс

На рисунке 1 представлена принципиальная схема простого многоступенчатого процесса, в котором имеет место последовательная связанность.

Каждая ступень в процессе характеризуется своей производительностью предметов труда *П*, мощностью оборудования *N*, технологической скоростью *U*, себестоимостью *C* и др., определяемые в единицах физического времени .

Производительность. Функциональное время единицы производства в ступени равно

$$\tau_п = 1 / П \quad , \qquad (2.\ 1)$$

это следует из представления внешнего и функционального времени системы производственных процессов в виде мультипликативной группы

$$П\ П^{-1} = 1\ . \qquad (2.\ 1,а)$$

На основании свойства аддитивности внутренних времен ступеней функциональное время цикла производства единицы продукции системой равно

$$Т_{пц} = \sum П^{-1}_{i}\ , \quad i = 1, 2, 3, .., n\ , \qquad (2.2)$$

здесь n – число ступеней в системе.

При непрерывном стохастическом детерминированном процессе функциональное время производства единицы продукции равно

$$Т_{п1} = n^{-1}\, \xi_п \sum П^{-1}{}_{i}\ , \quad i = 1, 2, 3, .., n\ , \qquad (2.\ 3)$$

здесь $\xi_п \geq 1$ характеризует его стохастичность.

Формулы (2. 2) и (2. 3) позволяют определить производительность системы в функциональном времени для цикла

$$П_ц = = 1 / \sum П^{-1}_{i}\ , \quad i = 1, 2, 3, .., n\ , \qquad (2.4)$$

и при непрерывном процессе

$$П_п = n / \ \xi_п \sum П^{-1}_{i}\ , \ i = 1, 2, 3, .., n\ , \qquad (2.\ 5)$$

Коэффициент эффективности производительности процесса в целом определяется как отношение эффективной производительности в функциональном времени системы к суммарной производительности всех ступеней во внешнемм времени.

$$К_п = П_{сн} / \sum П_i\ , \ i = 1, 2, 3, .., n\ . \qquad (2.\ 6)$$

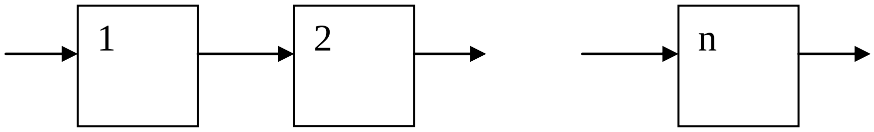


Рисунок 1. Принципиальная схема простого многоступенчатого процесса.

Мощность. Функциональное время затраты единицы энергии в ступени определяется по формуле

$$\tau_{e.} = 1 / N , \qquad (2.7)$$

и функциональное время затраты единицы энергии в системе равно

$$T_e = \xi_e \sum \tau_{ei} / n , \quad i = 1, 2, 3, ..,n , \qquad (2.8)$$

здесь N – мощность, представленная как энергия в единицу времени.

Эффективная мощность единицы оборудования ступени в многоступенчатом комплексе определяется формулой

$$N_{п1} = 1/T_e = n / \xi_e \sum \tau_{ei} , i = 1, 2, 3, .. ., n , \qquad (2.9)$$

и всего комплекса в функциональном времени

$$N_п = n^2 / \xi_e \sum \tau_{ei} , i = 1, 2, 3, \ldots, n , \qquad (2.\ 10)$$

Энергетическую эффективность процесса следует оценивать коэффициентом

$$К_e = N_п / \sum N_i \ , \ i = 1, 2, 3, .., n \ , \qquad (2.\ 11)$$

как отношение мощности системы в функциональном времени к суммарной мощности всех ступеней в физическом времени.

Технологическая скорость. Технологической скорости протекания процесса в ступени U можно поставить в соответствие обратную величину

$$\tau_{х} = 1 / U, \qquad (2.\ 12)$$

которая несет информацию о функциональном времени протекания процесса в ступени, приходящееся на единицу длины.

Суммарное функциональное время прохождения цикла по единицам длины равно

$$T_х = \sum \tau_{хj}, \quad i = 1, 2, 3, \ldots, n, \qquad (2.\ 13)$$

при непрерывном процессе функциональное время на единицу длины определяется с учетом стохастичности

$$T_* = \xi_х \ T_х / n \ . \qquad (2.\ 14)$$

Технологическая скорость цикла в функциональном времени равна

$$U_ц = 1 / T_х, \qquad (2.\ 15)$$

при непрерывном процессе технологическая скорость определяется на основании формулы (2. 14)

$$U_c = 1 / T_* \ . \qquad (2.16)$$

Эффективность технологической скорости всего процесса оценивается кинематическим коэффициентом

$$К_к = n\, U_с / \sum U_i\ ,\ ,\ \ i = 1, 2, 3, .., n\ . \qquad (2.\ 17)$$

Себестоимость. Функциональное время себестоимости технологической операции ступени определяется временем выполнения технологической операции на финансовую единицу (рубль и др.)

$$\tau_с = 1 / С\ , \qquad (2.\ 18)$$

где С - себестоимость выполнения операции ступени в единицу времени.

Суммарное функциональное время себестоимости цикла в системе определяется n финансовыми единицами

$$\tau_{сп} = \sum \tau_{с\ i}\ ,\ ,\ \ i = 1, 2, 3, .., n\ , \qquad (2.\ 19)$$

функциональное время выполнения технологической операции системой на финансовую единицу равно

$$\tau_{п1} = n^{-1} \sum \tau_{сi}\ ,\ ,\ \ i = 1, 2, 3, .., n\ , \qquad (2\ .20)$$

тогда себестоимость всего процесса в функциональном времени составляет

$$С_с = n / \tau_{п1}\ . \qquad (2.\ 21)$$

Коэффициент эффективности себестоимости системы в функциональном времени принимает вид

$$К_с = С_с / \sum С_i\ ,\ ,\ \ i = 1, 2, 3, .., n\ . \qquad (2.\ 22)$$

2.2. Разделительный многоступенчатый процесс.

На рисунке 2 представлена принципиальная схема разделительного многоступенчатого процесса, характеризуемая параметрами разделения α и β ($\alpha + \beta = 1$).

Производительность. После п-ой ступени происходит разделение потоков

$$\Pi_п = \Pi_{п\alpha} + \Pi_{п\beta}, \qquad \Pi_{п\alpha} = \Pi_п\,\alpha, \quad \Pi_{п\beta} = \Pi_п\beta, \qquad (2.\,23)$$

производительность после n-ой ступени равна

$$\Pi_п = n / (\ \xi_n \ \sum\Pi^{-1}{}_i\ ), \quad i = 1, 2, 3, .., , n\ ,$$

производительность для ступеней в группе

$$j = 1, 2, .., m\ ,$$

рана

$$\Pi_m = (m+1) / \xi_{nm}\ [\ 1/\ \Pi_{п\alpha} + \sum\Pi^{-1}{}_j\ ], \quad j = 1, 2,. \ldots, m,$$

и соответственно для ступени в группе

$$l = 1, 2, \ldots., k\ ,$$

производительность равна

$$\Pi_k = (k + 1) / \xi_{nk}\ [\ 1/\ \Pi_{п\beta} + \sum\Pi^{-1}{}_l\ ], \quad l = 1, 2, \ldots, k\ .$$

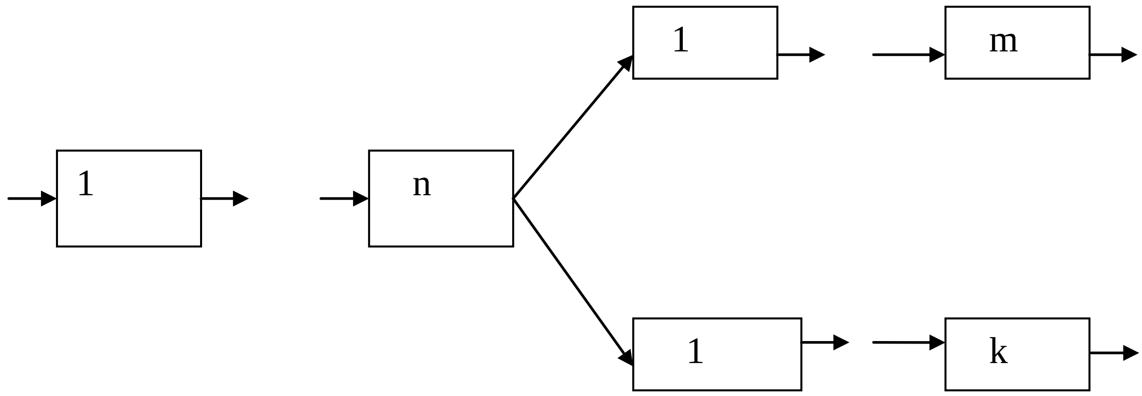


Рисунок 2. Принципиальная схема разделительного многоступенчатого процесса.

Здесь коэффициент эффективной производительности равен

$$К_{пк} = (П_m + П_k) / (\sum П_i + \sum П_j + \sum П_l),$$
$$i = 1, 2, .., n; \; j = 1, 2, \ldots, m; \; l = 1, 2, .., k. \qquad (2.24)$$

Мощность. Мощность ступеней до разделения равна

$$N_n = n^2 / \xi_{en} \sum N^{-1}_i, \; i = 1, 2, 3, \ldots, n,$$

после разделения соответственно

$$N_m = (m + 1)^2 / \xi_{eam} [1 / N_n \alpha + \sum N^{-1}_j], \quad j = 1, 2, \ldots, m,$$

и

$$N_k = (k + 1)^2 / \xi_{eak} [1 / N_n \beta + \sum N^{-1}_l], \quad l = n+1, \ldots, k.$$

Здесь коэффициент энергетической эффективности определим в виде

$$К_e = (N_m + N_k) / (\sum N_i + \sum N_j + \sum N_l) , \qquad (2. 25)$$
$$i = 1, 2, .., n, \quad j = 1, 2, .., m; \quad l = n + 1, ... , k .$$

Технологическая скорость. Для разделенных потоков получаем представление скоростей в функциональном кинематическом времени соответственно

$$U_m = (n+ m) / [\xi_{nm} \sum(U^{-1}_i + U^{-1}_j)] , \quad i = 1, 2, .., n, \ j =1, 2, \ldots, m ,$$

И,

$$U_k = (n+ k) /[\xi_{kk} \sum (U^{-1}_{\backslash i} + U^{-1}_l)], \qquad i = 1, 2, .., n, l = 1, 2, \ldots, k .$$

Для коэффициентов кинематической эффективности получаем выражение

$$K_{km} = (n+m) U_m /[\sum (U_i + U^{-1}_j)], \qquad i = 1, 2, .., n, \ j= 1, 2, \ldots, m ,$$

и

$$K_{kk} = (n+k) U_k / [\sum(U_i + U^{-1}_l)] , \qquad i = 1, 2, .., n, l= 1, 2, \ldots, k .$$

Себестоимость. На основании ранее построенных представлениях себестоимость в функциональном времени для разделенных потоков оценивается следующими выражениями: себестоимость ступеней до разделения равна

$$C_n = n^2 / \sum C^{-1}_i , i = 1, 2, .. ., n ,$$

после разделения соответственно получаем

$$C_m = (m + 1)^2 / [1 / C_n \alpha + \sum C^{-1}_j] , \qquad j = 1, 2, \ldots, m,$$

и

$$C_k = (k + 1)^2 / [1 / C_n \beta + \sum C_l] , \qquad l = 1, 2, \ldots, k .$$

Здесь коэффициент эффективности себестоимости равен

$$К_e = (C_m + C_k) / (\sum C_i + \sum C_j + \sum C_l), \qquad (2.27)$$

$i = 1, 2, .., n$, $j = 1, 2, …, m$; $l = 1, 2, …. , k$. $К_e = (C_m + C_k) / (\sum C_i + \sum C_j + \sum C_l)$,

2.3. Соединительный многоступенчатый процесс

На рисунке 3 представлена принципиальная схема соединительного многоступенчатого процесса.

Производительность. Производительности потоков до их соединения соответственно равны

$$П_{сп} = n / \xi_п \sum П^{-1}_i , \quad i = 1, 2, 3, ..,n ,$$

и

$$П_{cm} = m / \xi_m \sum П^{-1}_j , \quad j = 1, 2, 3, .., m..$$

В результате соединения потоков производительность рассматриваемой системы равна

$$П_к = (k+ 1) / \{ \xi_k [½ (1/П_{сп} + 1/П_{cm}) + \sum П^{-1}_l]\} , \quad l = 1, 2,.., k ,$$

и коэффициент эффективности производительности

$$К_п = П_к / (\sum П_i +\sum П_j +\sum П_l), \quad i = 1, 2, 3, ..,n; \quad j = 1, 2, 3, .., m ; \quad l = 1, 2,.., k .$$

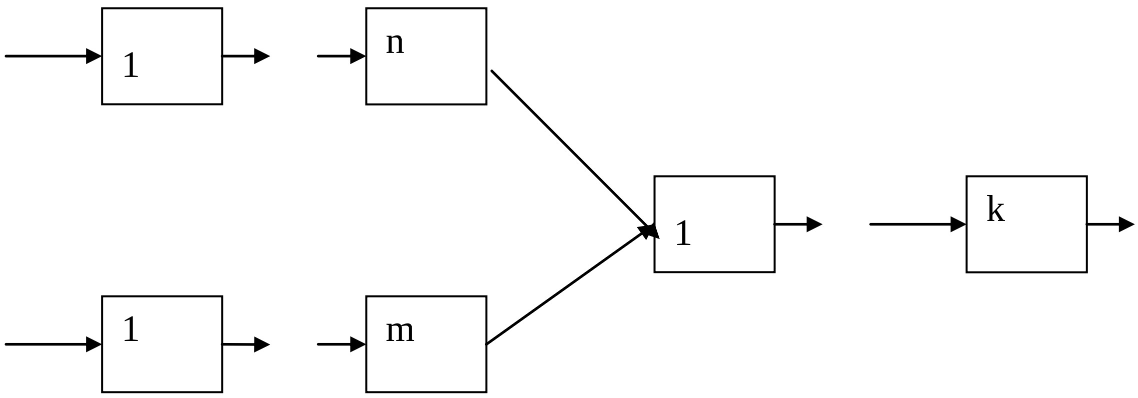


Рисунок 3. Принципиальная схема соединительного многоступенчатого процесса.

Мощность. Мощность оборудования ступеней в функциональном времени до соединения соответственно равны

$$N_п = n^2 / \xi_{en} \sum N^{-1}{}_i \;, \; i = 1, 2, 3, ..,n \;,$$

и

$$N_m = m^2 / \xi_{em} \sum N^{-1}{}_j \;, \; j = 1, 2, 3, .., m.$$

В результате соединения потоков и последующего протекания процессов мощность рассматриваемой соединительной многоступенчатой системы равна

$$N_к = (k+1)^2 / \{ \xi_{ek} [\,½\, (1/N_п + 1/N_m) + \sum N^{-1}{}_{l\,]}]\} \;, \quad l = 1, 2,.., k \;,$$

и коэффициент энергетической эффективности

$$К_е = N_к / (\sum N_i + \sum N_j + \sum N_l), \qquad (2.\ 28)$$
$$i = 1, 2, 3, .., n; \quad j = 1, 2, 3, .., m; \quad l = 1, 2, .., k.$$

Технологическая скорость. Технологическая скорость потоков в функциональном кинематическом времени до их соединения соответственно равны

$$U_п = n / \xi_{пк} \sum U^{-1}_i, \quad i = 1, 2, 3, .., n,$$

и

$$U_m = m / \xi_{mк} \sum U^{-1}_j, \quad j = 1, 2, 3, .., m..$$

В результате соединения потоков технологическая скорость системы в функциональном кинематическом времени равна

$$U_к = (k + 1) / \{ \xi_{кк} [\, ½ \ (1/U_п + 1/U_m) + \sum U^{-1}_l] \}, \quad l = 1, 2, .., k,$$

и коэффициент эффективности технологической скорости

$$К_k = (n + m + k)\ U_к / (\sum U_i + \sum U_j + \sum U_l), \qquad (2.\ 29)$$
$$i = 1, 2, 3, .., n; \quad j = 1, 2, 3, .., m; \quad l = 1, 2, .., k.$$

Себестоимость. Себестоимость потоков в функциональном времени до соединения соответственно равны

$$C_п = n^2 / \xi_{сп} \sum C^{-1}_i, \quad i = 1, 2, 3, .., n,$$

и

$$C_m = m^2 / \xi_{сm} \sum C^{-1}_j, \quad j = 1, 2, 3, .., m.$$

В результате соединения потоков и последующего протекания процессов себестоимость рассматриваемой соединительной многоступенчатой системы в функциональном времени равна

$$C_к = (k+1)^2 / \{ \xi_{ck} [\tfrac{1}{2} (1/C_п + 1/C_m) + \sum C^{-1}{}_{l}] \}, \quad l = 1, 2,.., k,$$

и коэффициент эффективности себестоимости

$$К_c = C_к / (\sum C_i + \sum C_j + \sum C_l), \quad i = 1, 2, 3, .., n; \quad j = 1, 2, 3, .., m; \quad l = 1, 2,.., k.$$

2.4. Сложный многоступенчатый процесс.

На рисунке 4 представлена принципиальная схема сложного многоступенчатого процесса. На основании выполненных построений запишем формулы для расчета рассматриваемых параметров состояния системы.

На основании выполненных построений запишем соответствующие представления формул.

Производительность. $П_п = п / \xi_п \sum П^{-1}{}_i$, $i = 1, 2,.., n$,

$$П_{пα} = П_п α, \quad П_{пβ} = П_п β,$$

$$П_m = (m+1) / [\xi_m (\sum П^{-1}{}_j + П^{-1}{}_{nα})], \quad j = 1, 2,…, m,$$

$$П_k = (k+1) / [\xi_k (\sum П^{-1}{}_l + П^{-1}{}_{nβ})], \quad l = 1, 2,…, k,$$

$$П_{mk} = 2 / \xi_{mk} (П^{-1}{}_m + П^{-1}{}_k),$$

$$П_p = (p+1) / \xi_p (\sum П^{-1}{}_s + П^{-1}{}_{mk}), \quad s = 1, 2, …, p.$$

$$К_п = П_p / (\sum П_i + \sum П_j + \sum П_l + \sum П_s),$$

$$i = 1, 2,.., n, \quad j = 1, 2,…, m, \quad l = 1, 2,…, k, \quad s = 1, 2, …, p.$$

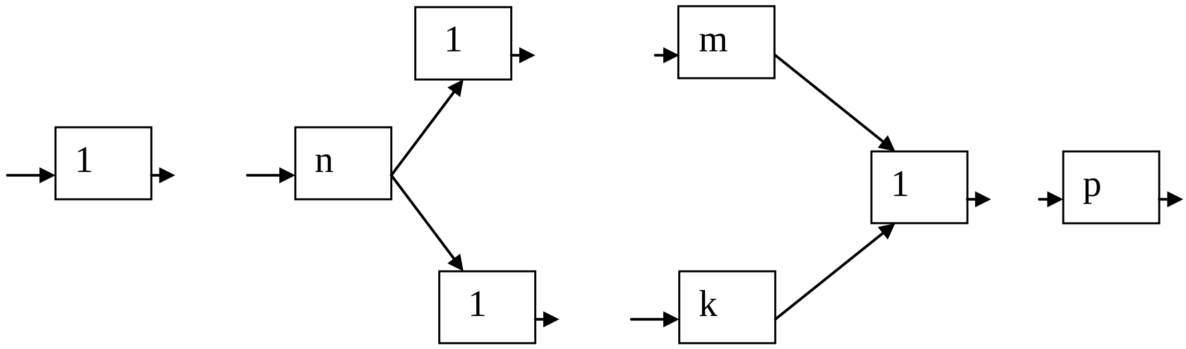


Рисунок 4. Принципиальная схема сложного многоступенчатого процесса.

Мощность. $N_{п1} = п / \xi_п \sum N^{-1}{}_i$, $i = 1, 2,.., n$,

$$N_{п\alpha} = N_{п1}\,\alpha\,,\; N_{п\beta} = N_{п1}\,\beta\,,$$

$$N_m = (m+1)^2 / [\,\xi_{me}(\sum N^{-1}{}_j + N^{-1}{}_{п\alpha})]\,,\; j = 1, 2,\ldots, m\,,$$

$$N_k = (k+1)^2 / [\,\xi_{ke}(\sum N^{-1}{}_l + N^{-1}{}_{п\beta})]\,,\; l = 1, 2,\ldots, k\,,$$

$$N_{mk} = 2^2 / \xi_{mke}\;(N^{-1}{}_m + N^{-1}{}_k)\,,$$

$$N_p = (p+1)^2 / \xi_{pe}\,(\sum N^{-1}{}_s + N^{-1}{}_{mk})\,,\; s = 1, 2, \ldots, p.$$

$$K_e = N_p / (\sum N_i + \sum N_j + \sum N_l + \sum N_s)\,,$$

$$i = 1, 2,.., n\,,\quad j = 1, 2,\ldots, m\,,\quad l = 1, 2,\ldots, k\,,\quad s = 1, 2, \ldots, p.$$

Технологическая скорость. $U_m = (п+m) / [\xi_{mп} \sum(U^{-1}{}_i + U^{-1}{}_j)]$,

$$i = 1, 2,.., n\,,\,,\; j = 1, 2,.., m,$$

$$U_k = (n+k) / [\,\xi_{nk}\,\sum(U^{-1}{}_i + U^{-1}{}_l\,)],\; i = 1, 2,\ldots, n,\; l = 1, 2.., k\,,$$

$$U_{mk} = 2 / \xi_{mk}\;(U^{-1}{}_m + U^{-1}{}_k)\,,$$

$$U_p = (p+1) / \xi_p\;(\sum U^{-1}{}_s + U^{-1}{}_{mk})\,,\; s = 1, 2, \ldots, p.$$

$$K_k = (n+m+k+p)\,U_p / (\sum U_i + \sum U_j + \sum U_l + \sum U_s)\,,$$

$$i = 1, 2,.., n, \quad j = 1, 2,\dots, m, \quad l = 1, 2,\dots, k, \quad s = 1, 2, \dots, p.$$

Себестоимость $C_{п1} = п / \xi_{пс} \sum C^{-1}_{i}, \; i = 1, 2,.., n,$

$$C_{п\alpha} = C_{п\,1}\,\alpha, \; C_{п\beta} = C_{п1}\,\beta,$$

$$C_{m1} = (m+1) / [\, \xi_{mc} (\sum C^{-1}_{j} + C^{-1}_{п\alpha})], \; j = 1, 2,\dots, m,$$

$$C_{k1} = (k+1) / [\, \xi_{kc} (\sum C^{-1}_{l} + C^{-1}_{п\beta})], \; l = 1, 2,\dots, k,$$

$$C_{mk} = 2^{2} / \xi_{mkc} \; (C^{-1}_{m1} + C^{-1}_{k1}),$$

$$C_{p} = (p+1)^{2} / \xi_{pc} (\sum C^{-1}_{s} + C^{-1}_{mk}), \; s = 1, 2, \dots, p.$$

$$К_{c} = C_{p} / (\sum C_{i} + \sum C_{j} + \sum C_{l} + \sum C_{s}),$$

$$i = 1, 2,.., n, \quad j = 1, 2,\dots, m, \quad l = 1, 2,\dots, k, \quad s = 1, 2, \dots, p.$$

Заключение

Исследование многоступенчатых процессов в функциональном времени связанности является необходимым условием получения наиболее информативной количественной оценки их технико-экономической эффективности. Сформулированные коэффициенты эффективности для систем выполняют роль, аналогичную коэффициенту полезного действия в технике.

Множество сопряженных потоков в системе: производственных, энергетических, кинематических, финансовых, информационных и др.,- приводит к необходимости формулировать многомерное функциональное пространство из коэффициентов эффективности, построенных в соответствующих функциональных временах (сколько сопряженных процессов в системе, столько функциональных времен). Анализ динамики движения модуля вектора эффективности в функциональном пространстве многоступенчатых процессов позволяет решать оптимальные задачи их протекания.

3. СИСТЕМНАЯ СВЯЗАНОСТЬ МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ ПРОЦЕССОВ В УПРАВЛЕНИИ

Многие производственные, энергетические, газотранспортные, логистические, информационные, финансовые и др. системы являются дискретными глубоко интегрируемыми структурами, оптимальное функционирование которых актуально.

Вопросам оптимального управления процессами во внешнем (физическом) времени уделено достаточно большое число исследований

Метод динамического программирования и принцип максимума, применяемые при решении многошаговых задач оптимизации управления во внешнем (физическом) времени, не предполагают системного подхода

В тоже время следует иметь в виду, что в системе, как функционально связанного множества подсистем, необходимо решать задачи оптимизации так же в её внутреннем (функциональном) времени, сопряженном внешнему.

В общем случае задача оптимизации системы является многокритериальной, поэтому её целевая функция формулируется как суперпозиция целевых функций на множестве определяющих параметрах состояния: технологических, энергетических, транспортных, финансовых, информационных и др., которые, в свою очередь, определяют множество функциональных времен, в которых функционирует система.

Фактор времени является определяющим при функционировании систем. Принцип максимума (быстродействия), сформулированный во внешнем времени, для дискретных процессов должен быть сопряжен с принципом быстродействия в функциональном (внутреннем) времени.

Математическое моделирование управления многоступенчатыми процессами в их внутреннем связующем функциональном времени, сопряжено дополняет внешнее.

Динамическую эффективность процессов следует рассматривать в суперпозиции времен: внешнего (физического) и внутреннего (функционального), последнее сопряжено (дуально) дополняет первое..

Внешнее время служит для параметризации состояния отдельных ступеней, а функциональное, как их связующее, превращает многоступенчатый процесс в единую глубоко интегрируемую функционально связанную структуру, эффективность которой определяется суммарным функциональным временем протекания процесса.

Внешнее и внутреннее времена дополняют друг друга, неся различную информационную нагрузку по отношению к системе: первое необходимо для характеристики функциональных параметров процессов в единицу времени (физического), а второе характеризует функциональное время, необходимое для получения единицы параметра в процессе.

Изменение параметра состояния в ступени полностью определяется управлением, которое рассматривается как малое по отношению со стационарным состоянием.

3. 1. Управляемый простой многоступенчатый процесс

Управляемый простой связанный многоступенчатый процесс показан на рисунке 5.

Каждая ступень в системе характеризуется управляемыми параметрами: производительностью предметов труда *П*, мощностью оборудования *N*, технологической скоростью *U*, себестоимостью *C* и др., определяемых в единицах физического времени.

Для сравнения технико-экономической эффективности систем необходимо ввести коэффициент эффективности, как отношение эффективности в функциональном времени к эффективности во внешнем времени по представленным параметрам.

П*роизводительность.* Производительность в ступени запишем в виде

$$П_с = П + О(П) = П + П_+ = П(1 + П_+ /П) = П \exp(П_+ /П) = П_* \;, \qquad (3.\ 1)$$

здесь О – оператор управления, П - стационарная производительность, $П_+$ – вариация управления.

Функциональное время единицы производства в управляемой ступени равно

$$\tau_п = 1 / [П \exp(П_+ /П)] = 1 / П_*, \qquad (3.\ 2)$$

это следует из представления сопряженности процесса производства ступени во внешнем и функциональном временах, как мультипликативной группы по умножению

$$П_* П^{-1}_* = 1\ ,$$

в дальнейшем это представление соответствует последующим параметрам состояния (мощности, технологической скорости и себестоимости).

Функциональное время цикла производства единицы продукции системой равно

$$Т_{пц} = \sum 1/ [П_i \exp(П_{+i} /П_i)] = \sum 1/ П_{i*} \qquad i = 1, 2, 3, .., n\ , \qquad (3.\ 3)$$

здесь n – число ступеней в системе.

При непрерывном процессе функциональное время производства единицы продукции равно

$$Т_{п1} = n^{-1} \sum 1/ [П_i \exp(П_{+i} /П_i)] = n^{-1} \sum 1/ П_{i*}\ , \quad i = 1, 2, 3, .., n\ . \qquad (3.\ 4)$$

Формулы (3.3) и (3.4) позволяют определить производительность системы в функциональном времени для цикла

$$П_ц = 1 /\sum 1/ [П_i \exp(П_{+\,i} /П_i)] = 1/ \sum 1/ П_{i*} \qquad i = 1, 2, 3, .., n , \qquad (3.5)$$

и при непрерывном процессе

$$П_н = n /\sum 1/ [П_i \exp(П_i /П_i)] = n/ \sum 1/ П_{i*} \qquad i = 1, 2, 3, .., n . \qquad (3.6)$$

Коэффициент эффективности производительности процесса в целом определяется как отношение эффективной производительности в функциональном времени системы к суммарной стационарной производительности всех ступеней во внешнем времени

$$К_п = П_н / \sum П_i , \qquad i = 1, 2, 3, .., n . \qquad (3.7)$$

Мощность. Управляемую мощность ступени запишем виде

$$N \rightarrow O_n(N) = N + N_+ = N(1+ N_+ /N) = N \exp(N_+ /N) = N_* ,$$

здесь O_n – оператор управления мощностью, N – стационарная мощность, представленная как энергия в единицу времени, N_+ – вариация управления.

Функциональное время на единицу энергии в ступени определяется по формуле

$$\tau_e. = 1 / [N \exp(N_+ /N)] = 1/N_* ,$$

Мощность. Управляемую мощность ступени запишем виде

$$N \rightarrow O_n(N) = N + N_+ = N(1+ N_+ /N) = N \exp(N_+ /N) = N_* ,$$

здесь O_n – оператор управления мощностью, N – стационарная мощность, представленная как энергия в единицу времени, N_+ – вариация управления.

Функциональное время на единицу энергии в системе равно

$$T_e = n^{-1}\sum\tau_{ei} \quad , \qquad i = 1, 2, 3, ..,n \ ,$$

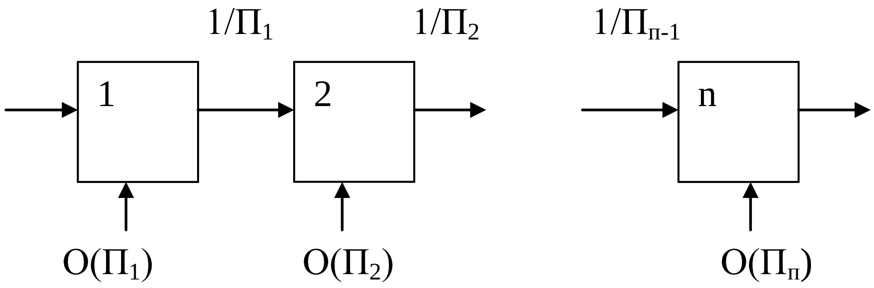


Рисунок 5. Принципиальная схема управляемого простого многоступенчатого процесса (вертикальные стрелки обозначают управление параметрами ступеней).

Эффективная мощность единицы оборудования ступени в многоступенчатом комплексе определяется формулой

$$N_{п1} = 1/T_e \ , \qquad (3.\ 8)$$

и всего комплекса в функциональном времени

$$N_п = n\,N_{п1}\ . \qquad (3.\ 9)$$

Энергетическую эффективность системы необходимо определять коэффициентом

$$К_e = N_п / \sum N_i \ , \ i = 1, 2, 3, .., n \ , \qquad (3.10)$$

как отношение мощности системы в функциональном времени к суммарной стационарной мощности всех ступеней в физическом времени.

Т*ехнологическая скорость.* Управляемую технологическую скорость протекания процесса в ступени определим выражением

$$U \to O_u U = U + U_+ = U(1 + U_+ /U) = U \exp(U_+ /U) = U_* ,$$

Здесь O_u - оператор управления технологической скорости процесса в ступени, U – стационарная технологическая скорость, U_+ – вариация управления технологической скорости.

Скорости U_* можно поставить в соответствие обратную величину

$$\tau_x = 1 /[U \exp(U_+ /U)] = 1/U_* ,$$

которая несет информацию о функциональном времени протекания процесса в ступени, приходящееся на единицу длины.

Суммарное функциональное время прохождения цикла по единицам длины равно

$$T_x = \sum \tau_{xj}, \quad i = 1, 2, 3, \ldots, n,$$

при непрерывном процессе функциональное время на единицу длины равно

$$T_* = T_x / n \ .$$

Технологическая скорость цикла в функциональном времени равна

$$U_ц = 1 / T_х, \qquad (3.11)$$

при непрерывном процессе технологическая скорость определяется на основании формулы

$$U_c = 1 / T_* . \qquad (3.12)$$

Эффективность технологической скорости всего процесса оценивается кинематическим коэффициентом

$$К_к = n\, U_c / \sum U_i\, , , \ i = 1, 2, 3, .., n\ . \qquad (3.13)$$

С*ебестоимость.* Управляемую себестоимость процесса ступени определим выражением

$$U \rightarrow O_c\,(C) = C + C_+ = C(1+ C_+ /C) = C \exp(C_+ /C) = C_* ,$$

здесь O_c – оператор управления себестоимости процесса ступени, С – стационарная себестоимость, C_+ – вариация себестоимости.

Функциональное время управляемой себестоимости технологической операции ступени определяется временем выполнения технологической операции на финансовую единицу (рубль и др.)

$$\tau_c = 1 / [\, C \exp(C_+ /C)\,] = 1/C_* \ ,$$

Суммарное функциональное время себестоимости цикла в системе определяется n финансовыми единицами

$$\tau_{сп} = \sum \tau_{c\ i}\ , \ , \ i = 1, 2, 3, .., n\ ,$$

функциональное время выполнения технологической операции системой на финансовую единицу равно

$$\tau_{п1} = n^{-1} \sum \tau_{ci} \ , \ , \ i = 1, 2, 3, .., n \ ,$$

тогда себестоимость всего процесса в функциональном времени составляет

$$C_c = n / \tau_{\ сп} . \qquad (3.\ 14)$$

Коэффициент эффективности себестоимости системы в функциональном времени принимает вид

$$К_c = C_c / \sum C_i \ , \ , \ i = 1, 2, 3, .., n \ . \qquad (3.\ 15)$$

3.2. Управляемый разделительный многоступенчатый процесс

На рисунке 6 представлена принципиальная схема управляемого разделительного многоступенчатого процесса, характеризуемая параметрами разделения α и β ($\alpha + \beta = 1$).

Производительность. После n-ой ступени происходит разделение потоков с учетом выше представленного управляемая производительность равна (далее нижний индекс «$_*$» обозначает значение управляемых параметров, аналитическое представление которых дано выше)

$$П_{п*} = П_{п\alpha*} \ + \ П_{п\beta*} ,$$

$$П_{п\alpha*} \ = П_{п*} \ \alpha \ , \quad П_{п\beta*} \ = П_{п*} \beta \ ,$$

управляемая производительность после n-ой ступени равна

$$П_{п*} = n / (\sum П^{-1}{}_{i*} \ ) , \quad i = 1, 2, 3, .., , n \ ,$$

управляемая производительность для ступеней в группе

$$j = 1, 2, .., m,$$

рана

$$\Pi_{m*} = (m+1) / [\, 1/\Pi_{п\alpha*} + \sum \Pi^{-1}_{j*} \,], \quad j = 1, 2,. \ldots, m,$$

и соответственно для ступени в группе

$$l = 1, 2, \ldots., k,$$

управляемая производительность равна

$$\Pi_{k*} = (k + 1) / [\, 1/\Pi_{п\beta*} + \sum \Pi^{-1}_{l*} \,], \quad l = 1, 2, \ldots, k. \qquad (3.16)$$

Здесь коэффициент эффективной производительности равен

$$К_{пк} = (\Pi_{m*} + \Pi_{k*}) / (\sum \Pi_i + \sum \Pi_j + \sum \Pi_l), \qquad (3.17)$$
$$i = 1, 2, .., n; \ j = 1, 2, \ldots., m; \ l = 1, 2,.., k.$$

Управляемая мощность. Управляемая мощность ступеней до разделения равна

$$N_{n*} = n^2 / \sum N^{-1}_{i*}, \ i = 1, 2, 3, .. ., n,$$

после разделения соответственно

$$N_{m*} = (m + 1)^2 / [\, 1 / N_{n*}\alpha + \sum N^{-1}_{j*} \,], \quad j = 1, 2, \ldots, m, \qquad (3.18)$$

и

$$N_{k*} = (k + 1)^2 / [\, 1 / N_{n*}\beta + \sum N^{-1}_{l*} \,], \quad l = n+1, \ldots, k. \qquad (3.19)$$

Здесь коэффициент энергетической эффективности определим в виде

$$К_e = (N_{m*} + N_{k*}) / (\sum N_i + \sum N_j + \sum N_l), \qquad (3.20)$$
$$i = 1, 2, .., n, \quad j = 1, 2, .., m; \; l = n + 1, \ldots, k .$$

Управляемая технологическая скорость. Для разделенных потоков получаем представление управляемых скоростей в функциональном кинематическом времени соответственно

$$U_{m*} = (n+ m) / [\sum(U^{-1}{}_{i*} + U^{-}{}_{1j*})], \quad i = 1, 2, .., n, \; j =1, 2, \ldots, m ,$$

и

$$U_{k*} = (n+ k) /[\sum (U^{-1}{}_{\backslash i*} + U^{-1}{}_{l*})], \quad i = 1, 2, .., n, l = 1, 2, \ldots, k .$$

Для коэффициентов кинематической эффективности получаем выражение

$$K_{km} = (n+m) U_{m*} /[\sum (U_{i*} + U^{-1}{}_{j*})], \quad i = 1, 2, .., n, \; j= 1, 2, \ldots, m ,$$

и

$$K_{kk} = (n+k) U_{k*} / [\sum(U_{i*} + U^{-1}{}_{l*})], \quad i = 1, 2, .., n, l= 1, 2, \ldots, k .$$

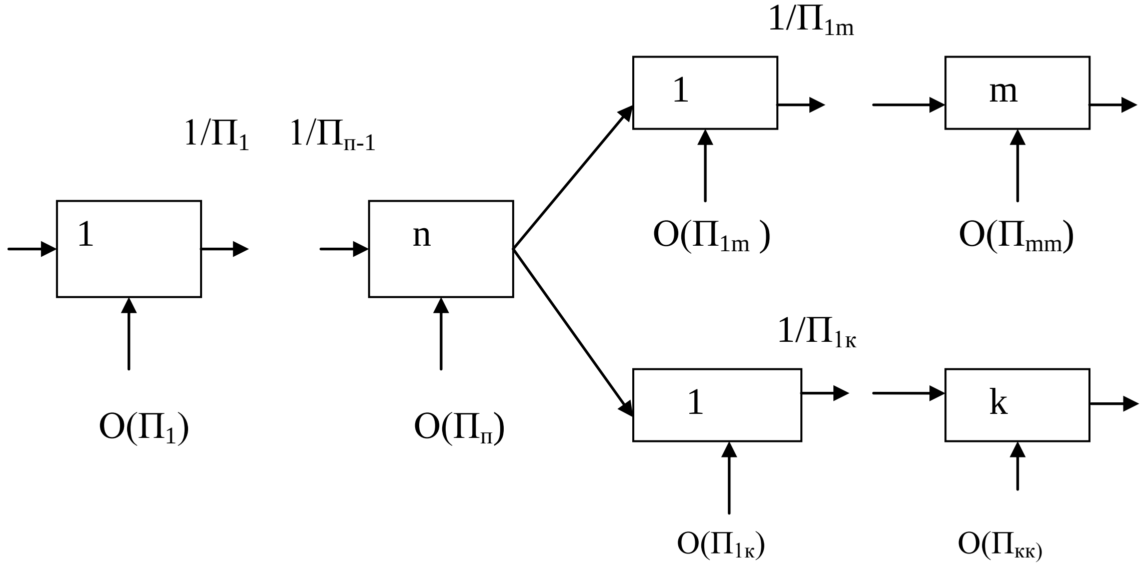


Рисунок 6. Принципиальная схема управляемого разделительного многоступенчатого процесса (вертикальные стрелки обозначают управление).

Управляемая себестоимость. На основании ранее построенных представлениях управляемая себестоимость в функциональном времени для разделенных потоков оценивается следующими выражениями: себестоимость ступеней до разделения равна

$$C_n = n^2 / \sum C^{-1}{}_{i*}, \; i = 1, 2, \ldots, n, \qquad (3.21)$$

после разделения соответственно получаем

$$C_m = (m + 1)^2 / [1 / C_n \alpha + \sum C^{-1}{}_{j*}], \quad j = 1, 2, \ldots, m, \qquad (3.22)$$

и

$$C_k = (k + 1)^2 / [1 / C_n \beta + \sum C_{l*}], \quad l = 1, 2, \ldots, k. \qquad (3.23)$$

Здесь коэффициент эффективности себестоимости равен

$$К_e = (С_m + С_k) / (\sum С_i + \sum С_j + \sum С_l) , \quad (3.24)$$
$$i = 1, 2, .., n, \; j = 1, 2, \ldots, m; \; l = 1, 2, \ldots, k .$$

3.3. Управляемый соединительный многоступенчатый процесс

На рисунке 7 представлена принципиальная схема управляемого соединительного многоступенчатого процесса.

Управляемая производительность. Производительности потоков до их соединения соответственно равны

$$П_{сп} = n / \sum П^{-1}_{i*} , \; i = 1, 2, 3, ..,n ,$$

и (3. 25)

$$П_{cm} = m / \; \xi_m \sum П^{-1}_{j*} , \; j = 1, 2, 3, .., m..$$

В результате соединения потоков производительность рассматриваемой системы равна

$$П_к = (k+ 1) / \{ [½ \; (1/П_{сп*} + 1/П_{cm*}) + \sum П^{-1}_{l*}]\} , \quad l = 1, 2,.., k , \quad (3.26)$$

и коэффициент эффективности производительности

$$К_п = П_к / (\sum П_{i*} +\sum П_{j*} +\sum П_{l*}), \quad (3.27)$$
$$i = 1, 2, 3, ..,n; \; j = 1, 2, 3, .., m ; \; l = 1, 2,.., k .$$

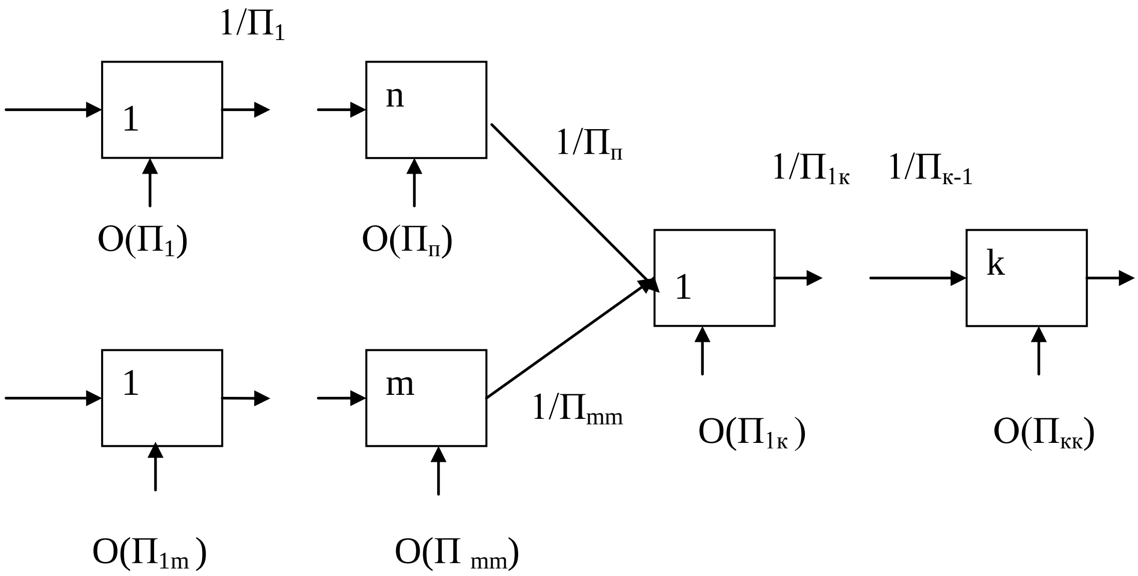


Рисунок 7. Принципиальная схема управляемого соединительного многоступенчатого процесса (вертикальные стрелки обозначают управление)

Управляемая мощность. Мощность оборудования ступеней в функциональном времени до соединения соответственно равны

$$N_п = n^2 / \sum N^{-1}{}_{i*} , \quad i = 1, 2, 3, ..,n ,$$

и

$$N_m = m^2 / \sum N^{-1}{}_{j*} , \; j = 1, 2, 3, .., m.$$

В результате соединения потоков и последующего протекания процессов мощность рассматриваемой соединительной многоступенчатой системы равна

$$N_к = (k+ 1)^2 / \{ [½ \; (1/N_п + 1/N_m) +\sum N^{-1}{}_{l *]}]\} , \quad l = 1, 2,.., k , \qquad (3. 28)$$

и коэффициент энергетической эффективности

$$К_е = N_к / (\sum N_i + \sum N_j + \sum N_l),$$

$$i = 1, 2, 3, .., n; \quad j = 1, 2, 3, .., m; \quad l = 1, 2, .., k.$$

Управляемая технологическая скорость. Технологическая скорость потоков в функциональном кинематическом времени до их соединения соответственно равны

$$U_п = n / \sum U^{-1}_{i*}, \quad i = 1, 2, 3, .., n,$$

и

$$U_m = m / \sum U^{-1}_{j*}, \quad j = 1, 2, 3, .., m..$$

В результате соединения потоков технологическая скорость системы в функциональном кинематическом времени равна

$$U_к = (k+1) / \{ ½ \ (1/U_п + 1/U_m) + \sum U^{-1}_{l*}] \}, \quad l = 1, 2, .., k,$$

и коэффициент эффективности технологической скорости

$$К_k = (n+m+k) \ U_к / (\sum U_i + \sum U_j + \sum U_l), \qquad (3. 29)$$

$$i = 1, 2, 3, .., n; \quad j = 1, 2, 3, .., m; \quad l = 1, 2, .., k.$$

Управляемая себестоимость. Себестоимость потоков в функциональном времени до соединения соответственно равны

$$С_п = n^2 / \sum C^{-1}_{i*}, \quad i = 1, 2, 3, .., n,$$

и

$$C_m = m^2 / \sum C^{-1}_{j*}, \quad j = 1, 2, 3, .., m.$$

В результате соединения потоков и последующего протекания процессов себестоимость рассматриваемой соединительной многоступенчатой системы в функциональном времени равна

$$C_к = (k+1)^2 / \{ [½ (1/C_п + 1/C_m) + \sum C^{-1}_{l\,]*}] \} , \quad l = 1, 2,.., k , \qquad (3.\ 30)$$

и коэффициент эффективности себестоимости

$$К_с = C_к / (\sum C_{i*} + \sum C_{j*} + \sum C_{l*}),$$
$$i = 1, 2, 3, .., n; \quad j = 1, 2, 3, .., m ; \quad l = 1, 2,.., k .$$

3.4. Управляемый сложный многоступенчатый процесс.

На рисунке 8 представлена принципиальная схема управляемого сложного многоступенчатого процесса. На основании выполненных построений запишем формулы для расчета рассматриваемых параметров состояния системы.

Управляемая производительность. До разделения производительность равна

$$П_п = п /\sum П^{-1}_{i\,*} , \quad i = 1, 2,.., n ,$$

после разделения имеют место

$$П_{пα} = П_{п*}\, α , \quad П_{п\,β} = П_{п*}\, β ,$$
$$П_m = (m+1) / [(\sum П^{-1}_{j*} + П^{-1}_{nα})] , \quad j = 1, 2,…, m ,$$
$$П_k = (k+1) / [(\sum П^{-1}_{l*} + П^{-1}_{nβ})] , \quad l = 1, 2,…, k ,$$

в результате соединения получаем

$$П_{mk} = 2 / (П^{-1}_{m} + П^{-1}_{k}) ,$$

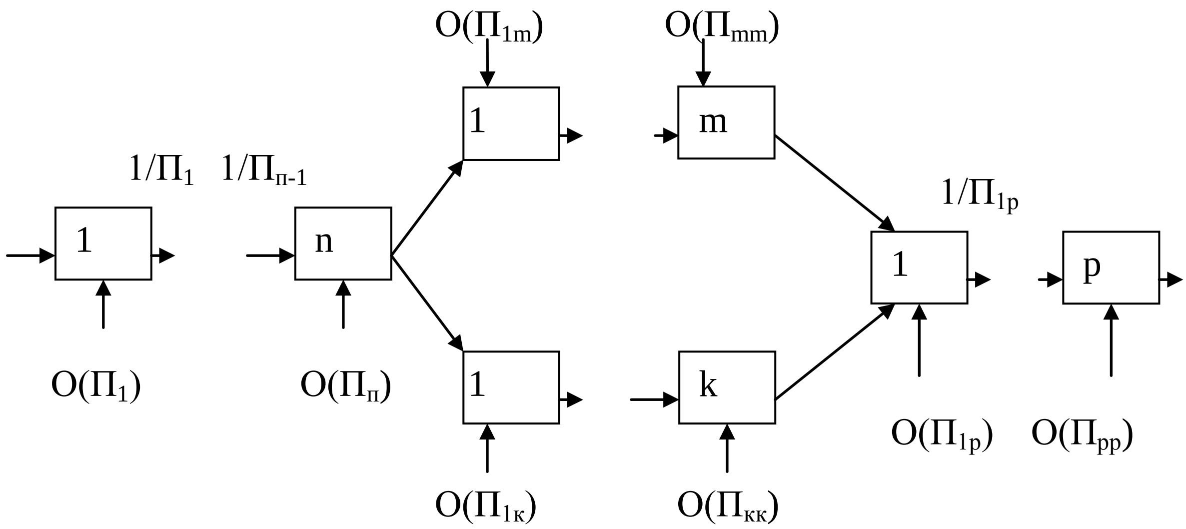


Рисунок 8. Принципиальная схема управляемого сложного многоступенчатого процесса (вертикальные стрелки обозначают управление)

и производительность в конце процесса

$$П_p = (p+1) / (\sum П^{-1}{}_{s*} + П^{-1}{}_{mk}) , s = 1, 2, \ldots, p. \quad (3.31)$$

Коэффициент эффективности рассматриваемого процесса равен

$$K_п = П_p / (\sum П_i + \sum П_j + \sum П_l + \sum П_s) ,$$
$$i = 1, 2,.., n , \quad j = 1, 2,\ldots, m , \quad l = 1, 2,\ldots, k , \quad s = 1, 2, \ldots, p.$$

Управляемая мощность. Мощность до разделения равна

$$N_{п1} = п / \sum N^{-1}_{i*}\ ,\ \ i = 1, 2,.., n\ ,$$

после разделения получаем

$$N_{п\alpha} = N_{п1}\,\alpha\ ,\ \ N_{п\beta} = N_{п1}\,\beta\ ,$$
$$N_m = (m+1)^2 / [\ (\ \sum N^{-1}_{j*} + N^{-1}_{п\alpha})]\ ,\ \ j = 1, 2,\ldots, m\ ,$$
$$N_k = (k+1)^2 / [\ (\ \sum N^{-1}_{l*} + N^{-1}_{п\beta})]\ ,\ \ l = 1, 2,\ldots, k\ ,$$

после соединения эффективная мощность равна

$$N_{mk} = 2^2 / \ (N^{-1}{}_m + N^{-1}{}_k)\ ,$$
$$N_p = (p+1)^2 / (\sum N^{-1}{}_{s*} + N^{-1}{}_{mk})\ ,\ s = 1, 2,\ \ldots,\ p. \qquad (3.32)$$

Коэффициент эффективности равен

$$K_e = N_p / (\ \sum N_i\ + \sum N_j\ + \sum N_l + \ \sum N_s\ )\ ,$$
$$i = 1, 2,.., n\ ,\quad j = 1, 2,\ldots, m\ ,\quad l = 1, 2,\ldots, k\ ,\quad s = 1, 2,\ \ldots,\ p.$$

Управляемая технологическая скорость. Технологическая скорость в разделенных ступенях равна

$$U_m = (п+m) / [\sum(U^{-1}{}_{i*} + U^{-1}{}_{j*})]\ ,$$
$$i = 1, 2,.., n\ ,\ ,\ j = 1, 2,.., m,$$
$$U_k = (n+k) / [\ \ \sum(U^{-1}{}_{i*} + U^{-1}{}_{l*}\ )],\ \ i = 1, 2,\ldots, n,\ \ l = 1, 2.., k\ ,$$
$$U_{mk} = 2 / \ (U^{-1}{}_m + U^{-1}{}_k)\ ,$$

и на выходе

$$U_p = (p+1) / \ (\sum U^{-1}{}_{s*} + U^{-1}{}_{mk})\ ,\ s = 1, 2,\ \ldots,\ p. \qquad (3.33)$$

Коэффициент эффективности технологической скорости равен

$$K_k = (n+m+k+p)\, U_p / (\sum U_i + \sum U_j + \sum U_l + \sum U_s),$$
$$i = 1, 2,.., n , \quad j = 1, 2,\dots, m , \quad l = 1, 2,\dots, k , \quad s = 1, 2, \dots, p.$$

Управляемая себестоимость. Себестоимость до разделения равна

$$C_{п1} = п^2 / \sum C^{-1}_{i*} , \quad i = 1, 2,.., n ,$$

в результате разделения

$$C_{п\alpha} = C_{п\,1}\, \alpha , \quad C_{п\beta} = C_{п1}\, \beta ,$$
$$C_{m1} = (m+1) / [(\sum C^{-1}_{j*} + C^{-1}_{п\alpha})] , \quad j = 1, 2,\dots, m ,$$
$$C_{k1} = (k+1) / [(\sum C^{-1}_{l*} + C^{-1}_{п\beta})] , \quad l = 1, 2,\dots, k ,$$

и при соединении получаем

$$C_{mk} = 2^2 / (C^{-1}_{m1} + C^{-1}_{k1}) ,$$
$$C_p = (p+1)^2 / (\sum C^{-1}_{s*} + C^{-1}_{mk}) , \; s = 1, 2, \dots, p. \quad (3.34)$$

Коэффициент эффективности себестоимости процесса равен

$$K_c = C_p / (\sum C_i + \sum C_j + \sum C_l + \sum C_s) , \quad (3.35)$$
$$i = 1, 2,.., n , \quad j = 1, 2,\dots, m , \quad l = 1, 2,\dots, k , \quad s = 1, 2, \dots, p.$$

Заключение.

Исследование многоступенчатых процессов в их функциональном времени, определяемого групповой связанностью внешнего и внутреннего времен согласно целевой функции необходимо для получения наиболее информативной количественной оценки технико-экономической эффективности, на основании которой становится возможным решать задачи оптимизации.

Функциональное время, формулируемое целевой функцией, является тем стержневым параметром, который превращает многоступенчатый процесс в глубоко интегрируемую структуру взаимосвязанных подструктур.

Принцип быстродействия многоступенчатых процессов в функциональном времени сводится к синхронизации функциональных времен ступеней. Поэтому принцип системной гармонии должен реализовываться путем суперпозиции принципа быстродействия многоступенчатых процессах во внешнем (физическом) и внутреннем (функциональном) временах.

Множеству сопряженных потоков в системе: производственных, энергетических, кинематических, финансовых и др.,- соответствует множество соответствующих функциональных времен (сколько сопряженных потоков, столько функциональных времен), которые приводят к необходимости анализировать системы в многомерном фазовом пространстве, построенном на коэффициентах технико-экономической эффективности. Анализ динамики движения модуля вектора в этом многомерном фазовом пространстве позволяет решать задачи оптимизации многоступенчатых процессов с соблюдением принципа гармонии.

4. ЭФФЕКТИВНАЯ СВЯЗАННОСТЬ ПРОИЗВОДСТВ

Производство представлено многоступенчатой системой. Количество ресурсов производства формирует размерность его фазового (функционального) пространства. Вектору производительности по ресурсу ставится в соответствие дуальное представление вектора количества ресурса на единицу продукции. Мультипликативное представление суммы дуальных векторов определяет эффективную производительность системы. Сформулирован критерий эффективности системы производства по ресурсу.

Крупный народно-хозяйственный комплекс можно представить в виде глубоко интегрированной системы производств, которые на основании имеющихся ресурсов выпускают востребованные продукты потребления.

Такую систему можно представить как многоступенчатую структуру, динамически связанную в функциональном пространстве-времени с группой симметрии, определяемой целевой функцией. Это позволяет формулировать необходимые условия устойчивого гармоничного развития комплекса в целом.

Развитие производства определяется ресурсами, в качестве которых выступают:

- сырье;
- энергия;
- технологии;
- транспорт;
- научные исследования;
- труд;
- время;
- финансы;

и др..

На рисунке 9 представлена схема ступени производства. Количество j использованных ресурсов формирует j- мерное функциональное пространство производства и его состоянию ставится в соответствие j-мерный вектор

$$X = (x_1, x_2, .., x_j) \; . \; .$$

Объем производства готовой продукции функционально связан с необходимым количеством ресурсов

$$Z = M (X) = M (x_1, x_2, .., x_j) \; ,$$

здесь M можно рассматривать как оператор, переводящий ресурсы производства X в готовую продукцию Z.

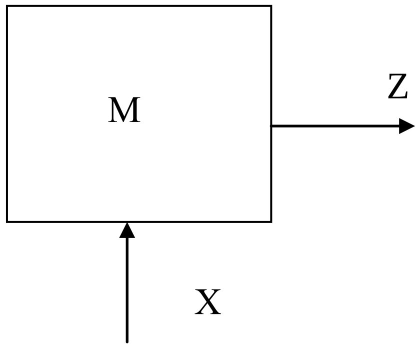


Рисунок 9. Схема ступени производства

Производительность по каждому ресурсу определяется выражением

$$П_i = Z / x_i = z_i, \quad i = 1, 2,,.., j, \qquad (4.1)$$

которая характеризует количество выпускаемой продукции, приходящееся на затраченную единицу ресурса: продукция является функциональным параметром по отношению к единице ресурса, как внешней постоянной в процессе производства.

Производительности по единицам ресурсов можно поставить в соответствие вектор в многомерном функциональном пространстве

$$z = z\,(x^{-1}{}_{1},\ x^{-1}{}_{2},\ ..,\ x^{-1}{}_{j}\,)\ .$$

Мультипликативная группа,

$$z_i\ \ p_i\ = 1\ ,\ ,\ \ i = 1,\ 2,,..,\ j\ , \qquad (4.\ 2)$$

где

$$p_i\ = x_i\ \ /\ Z\ \ = z^{-1}{}_{i},\ ,\ \ i = 1,\ 2,,..,\ j\ , \qquad (4.\ 3)$$

производительности по ресурсу ставит в соответствие двойственное представление: количество единиц ресурса, соответствующее единице выпускаемой продукции, - ресурс становится функциональным параметром по отношению к единице готовой продукции, постоянной в процессе производства.

Ресурсу по единицам производительности так же можно поставить в соответствие вектор в многомерном фазовом пространстве.

$$p = p\ (x_1,\ x_2,\ ..,\ x_j\ )\ .$$

Производительность продукции z_i на единицу ресурса и количество ресурса p_i на единицу продукции производства, образуя мультипликативную группу

$$z_i\ p_i = 1\ ,$$

становятся сопряженными, дополняющими друг друга полугруппами, позволяющими формулировать наиболее информативные критерии эффективности производств во взаимосвязанных функциональных пространствах производительности и ресурсов.

Из гиперболической связи между полугруппами следует, что если по модулю

$$z >> p\,, \tag{4. 4}$$

то определяющей является z- полугруппа (производительности), а p – полугруппа сопутствующей (ресурсы);
если по модулю

$$z << p\,, \tag{4. 5}$$

то z-полугруппа становится сопутствующей (производительность), а p– полугруппа определяющей (ресурсы).

Схема системы производства, состоящей из n последовательно соединенных подсистем, представлена на рисунке 10

Объем готовой продукции при последовательном производстве по ступеням можно записать в виде

$$\begin{aligned}
&X_1 = X_1\,(x_{11}\,, x_{21}\,,.., x_{j1}\,)\,,\\
&Z_1 = M_1\,(\,X_1)\,,\\
&X_2 = X_2\,(x_{12}\,, x_{22}\,,.., x_{j2}\,),\\
&Z_2 = M_2\,(\,Z_1\,, X_2\,),\\
&.\\
&.\\
&.\\
&X_n = X_n\,((x_{1n}\,, x_{2n}\,,.., x_{jn}\,)\,,\\
&Z_n = M_n\,(Z_{n-1}\,, X_n)\,,
\end{aligned}$$

здесь производительность на единицу ресурса в ступени

$$П_{ik} = Z_k / x_{ik} \;\; =z_{ik},\;\; i = 1, 2,,.., j\,;\;\;\; k = 1, 2,.., n\,,$$

ей соответствует, согласно принятых построений, сопряженное представление количества ресурсов на единицу продукции в ступени

$$p_{ik} = x_{ik} / Z_k = z^{-1}_{ik}, \quad i = 1, 2,,.., j ; \quad k = 1, 2,.., n . \quad (4.\ 6)$$

Количество ресурса, приходящееся на единицу готовой продукции для данной системы производства, равно (суммирование по k)

$$P_i = [\sum x_{ik} /Z_k] / n , \ i = 1, 2,,.., j ; \quad k = 1, 2,.., n , \qquad (4.7)$$

тогда производительность готовой продукции в функциональном пространстве связности для рассматриваемой системы по i–ресурсу равна

$$П_{if} = 1 / P_i = n / [\sum x_{ik} /Z_k] \ . \qquad (4.\ 8)$$

Эффективность производства по выбранному i-ресурсу следует оценивать коэффициентом (суммирование по k)

$$K_i = П_{if} / \sum П_{ik} , \ i = 1, 2,,.., j ; \quad k = 1, 2,.., n , \qquad (4.\ 9)$$

определяющим отношение производительности системы в функциональном пространстве связности к суммарной производительности подсистем по этому ресурсу.

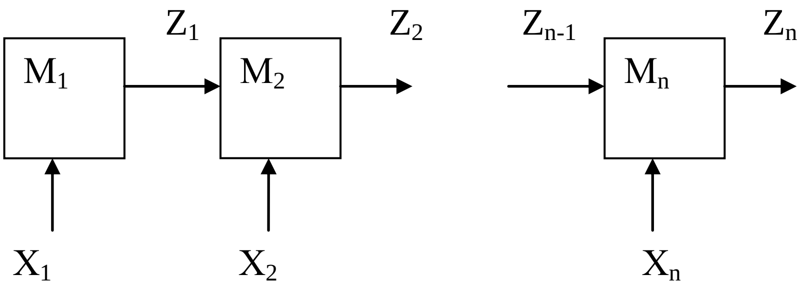


Рисунок 10. Принципиальная схема системы простого многоступенчатого производства.

Заключение.

Количество ресурсов в производстве готовой продукции формирует размерность функционального (факторного) пространства. В системе производства векторам производительности по ресурсу ставится в соответствие двойственный вектор количества ресурса на единицу продукции. Сумма последних в системе позволяет определить количество ресурса на единицу продукции, мультипликативное представление которого дает информацию об эффективной производительности системы в её функционально связанном производстве в целом.

Критерием эффективности системы производства становится коэффициент отношения эффективной производительности системы по ресурсу в функциональном пространстве к сумме производительностей ступеней системы по этому ресурсу.

Сформулированный подход к анализу эффективности производства готовой продукции как системы производств, может быть взят за основу при определении эффективности годового ВВП государства, как суммы годовых ВВП входящих в него регионов,

$$ВВП_г = \sum ВВП_j , \ j =1, 2, 3, .., n ,$$

где п – число регионов в государстве.

Здесь в качестве ресурса выступает время (год), общая единица времени для всех регионов государства. Если рассматривать ВВП регионов государства как финансовую систему, то ей необходимо поставить в соответствие функциональное время связанности общей финансовой единицы. Поэтому годовому ВВП региона необходимо поставить в соответствие мультипликативно двойственное представление количества времени (ресурса), соответствующего финансовой единице

$$ВВП_j \rightarrow 1 / ВВП_j ,$$

гиперболическая связанность между ними определяет группу функционального времени,

$$ВВП_j (1 / ВВП_j) = 1 ,$$

таким образом, формулируется многомерность функционального времени в системе получения ВВП (сколько регионов, столько функциональных времен).

Для государства, как финансовой системы регионов, в функциональном времени связанности системы имеет место сумма

$$Ф = \sum (1 / ВВП_j) , \qquad j =1, 2, 3, .., n .$$

определяющая общее время получения n-единиц финансового ресурса, тогда единице финансового ресурса в государстве соответствует время её получения

$$ф = Ф / п = [\sum (1 / ВВП_j)] / n, \qquad j = 1, 2, 3, .., n. \quad (4.10)$$

Мультипликативно двойственное представление (10) определяет эффективный годовой ВВП государства в функциональном времени связанности регионов, как финансовой системы,

$$Ф_ф = ВВП_{гф} = n^2 / [\sum (1 / ВВП_j)], \qquad j = 1, 2, 3, .., n.$$

Критерием эффективности ВВП государства в системе ВВП регионов в их функциональной финансовой связанности становится коэффициент

$$К = ВВП_{ге} / ВВП_г.$$

Очевидно, что данную модель представления необходимо корректировать с количеством населения, проживающего в регионах.

Литература

1. Базаров С.М. Системно-синергетический анализ технологий лесозаготовительного производства / С.М.Базаров, Ю.И.Беленький, А.Н.Соловьев.- СПб: СПбГЛУ, 2014.- 96 с.

2.Базаров. С.М. Этюды ноомеханики / С.М.Базаров.-СПб.: СПбГЛТУ, 2016.-24 с.

3. Фан лянь-цэнь. Дискретный принцип максимума /Фан лянь-цэнь, Вань чу-сен.-М.: Мир, 1967.-180 с.

4. Думлер С.А. Управление производством и кибернетика. М.: Машиностроение, 1969.

5. Карнаухов С.Б. Концепция логистики (Системный анализ). М.: 2003.

6. Оптнер С.Л. Системный анализ для решения проблем бизнеса и промышленности. М.: Концепт, 2006.

7. Stock H.R., Lambert D.M. Strategic Logistics Management 2nd., Homewood Cliffs, IL: Richard D. Irvin, 1987/

8.. Harstels P. Forest science and technology. Part 1.Jyvaskya Gummerus Kirjapaino Oy. 1993 p.

9.Моисеев Н.Н. Математические методы системного анализа. М.: Наука, 1981.

7. Емельянов А.А. Кукушкин А.А. Анфилов В.С. Системный анализ в управлении. М.: Финансы и статистика, 2007.

8. Гуров С.В. Теория системного анализа и принятия решений. СПб.: СПбГЛТУ, 2008.

9. Taha H. Operations research. An introduction. Ney York. MacMillan Publishing Company, 1987/

10. Lasalle J.P. The Time Optimai Control Systems, Proc. Nat. Acad. Sci., USA, 45 , 1950.

11. Ballman R. Dynamic Programming. Princton, N.J. Princeton Univercity Press, 1957.

12. Беллман Р., Калаба Р. Динамическое программирование и современная теория управления. М.: Наука, 1969.
13. Вентцель Е.С. Элементы динамического программирования. М.: Наука, 1964.
14. Понтрягин Л.С. Математическая теория оптимальных процессов. М.: Наука, 1976. 392 с.
15. Болтянский В.Г. Математические методы оптимального управления. М.: Наука, 1969. 408 с.
16. .Базаров. С.М., Беленький Ю.И., Соловьев А.Н. Основы системного анализа технико-экономической эффективности процессов лесопромышленного производства //Известия Санкт-Петербургского лесотехнического университета.-СПб.: СПбГЛТУ, выпуск 218, 2016. – 112 – 122 с.
17. Базаров. С.М., Беленький Ю.И., Соловьев А.Н. Основы системного анализа технико-экономической эффективности многоступенчатых процессов . М.: Научное обозрение. 18, 2016. 90-97.
18. Б.Л. ванн дер Варден. Алгебра. М.: Наука, 1979.
19. Faure R. , Kaufmann A., Denis-Papin M. Mathematiques Nouvellis, Dunod – Paris, 1964.
20. Гуров С.В. Математика в экономике. СПб.: СПбГЛТУ, 2014. -72 с.
21. Базаров С.М., Беленький Ю.И. Системный анализ эффективности Производств //Экономика и управление народным хозяйством.-СПб.: СПбГЛТУ, № 2 (4), 2017. 40-44 с.

ОГЛПВЛЕНИЕ

Научное издание

Базаров Сергей Михайлович ,

Беленький Юрий Иванович,

Соловьев Александр Николаевич

ОСНОВЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Отпечатано в авторской редакции с готового оригинал-макета