

Курс лекций по дисциплине

**«ТЕОРИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ПОТОКА»**

Лектор: к.т.н., доц. кафедры МАПП

Овсянников Виталий Юрьевич



Разделы дисциплины:

- **Организация технологического потока**
- **Строение технологического потока**
- **Функционирование технологического потока**
- **Развитие технологического потока**
- **Прогнозирование технологического потока**



Системный подход к анализу пищевых производств

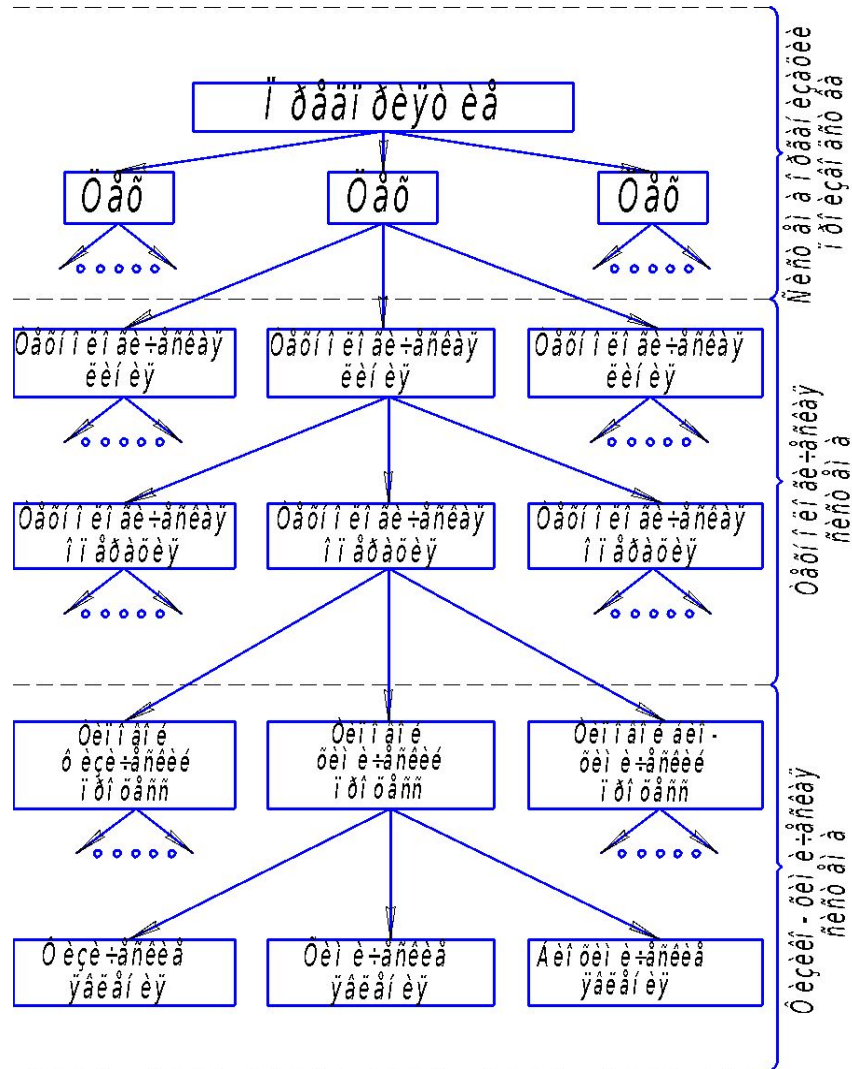
Процессы в поточной линии, по существу, являются одним большим процессом (поток). Поэтому оптимизация процесса только в одном аппарате или одной машине без учета связей с процессами в другом оборудовании часто приводит к тому, что весь технологический поток далек от оптимального режима. Изучение процессов в целой линии обуславливает необходимость разработки методов их исследования на основе положений общей теории систем.



Рациональным направлением исследований с целью развития технологических линий перерабатывающих производств следует считать анализ и синтез системы процессов, выявление факторов, ведущих к распаду ее как органичного целого, и устранение этих факторов, пользуясь известными научными методами. Игнорирование концепции развития технологического потока при проектировании линий приводит к созданию нежизнеспособных систем.



Современное пищевое предприятие как система большого масштаба состоит из взаимосвязанных подсистем, между которыми существуют отношения соподчиненности с тремя основными ступенями качества систем.



Системы пищевого предприятия



Высшая ступень иерархической структуры пищевого предприятия – это система оперативного управления работой всех цехов, планирование запасов сырья и реализации готовой продукции.

Основу средней ступени составляют технологические процессы в поточных линиях как совокупность специфических технологических операций.

Низшую ступень образуют типовые процессы пищевой технологии в определенном машинно-аппаратурном оформлении.



Системность технологического потока

С и с т е м н ы й п о д х о д ориентирует на поиск объединяющих, интегрирующих свойств целого, на учет взаимозависимости его частей и позволяет свести различные задачи познания частей к единой комплексной проблеме, наметить генеральную линию ее решения и тем самым решить задачу познания и принципиального изменения целого. Современная наука и практика интерпретируют окружающую нас действительность не как отдельные, изолированные друг от друга объекты и процессы, а как определенные системные образования.



Системный анализ технологического потока углубляет, специализирует и систематизирует наши знания, но вместе с тем подготавливает условия для осуществления системного синтеза дифференцированных знаний. Такое комплексирование дифференцированного знания является сегодня одним из необходимых и плодотворных направлений дальнейшего развития пищевой технологии



Технологический поток как система процессов

Технологический поток представляет собой совокупность технологических операций. Он обладает новым, системным качеством, которого не имеет ни один из образующих его элементов. Системное качество заключается в гораздо более эффективном функционировании комплекса машин и аппаратов, нежели работа не объединенных в линию орудий труда. В линии эффективность технологических преобразований достигается в результате исполнения в высокой степени совершенства отдельных операций, что ведет к неизвестной до этого стабильности производства.



Терминология системного подхода

- Система - это упорядоченное определенным образом множество разнородных элементов (по крайней мере, двух), взаимосвязанных между собой и образующих некоторое целостное единство, свойства которого больше суммы свойств составляющих его элементов
- Элементами называют объекты, которые в совокупности образуют систему
- Подсистема - совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, реализующих определенную группу функций системы
- Структура системы - это сеть отношений, т. е. определенная упорядоченность связей между элементами системы
- Связи системы - это взаимодействия ее элементов, обеспечивающие возникновение и сохранение структуры и целостных свойств системы. Связи осуществляют обмен веществом, энергией и информацией между элементами системы и между системой и внешней средой.
- Целостность системы определяется как совокупность элементов, взаимодействие которых обуславливает наличие новых качеств системы, не свойственных образующим ее частям



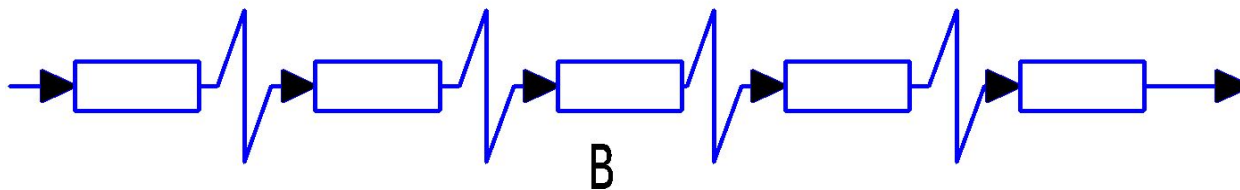
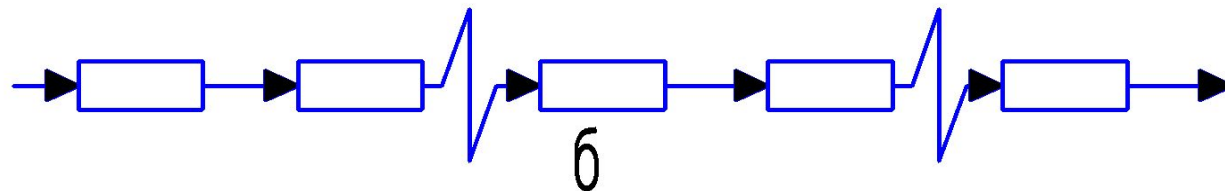
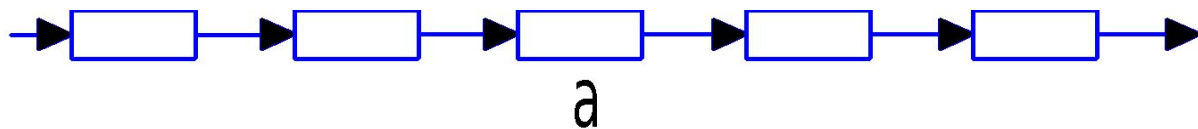
Организация технологического потока будущего

Строение технологического потока определяется связями между его отдельными операциями.

- поток с жесткой связью предусматривает жесткую связь между выходом каждой предыдущей и входом каждой последующей операции; естественно, что длительность цикла каждой операции должна быть одинаковой или кратной циклу ведущей операции или группы их
- поток с полужесткой связью характеризуется тем, что в нем имеются группы операций с жесткой связью лишь внутри самих себя; между собой эти группы имеют гибкие связи в виде операций хранения; конструктивно операция хранения реализуется в накопителях, бункерах, емкостях, ветвях конвейеров и т. д.;
- поток с нежесткой (гибкой) связью отличается тем, что операция хранения обычно бывает между каждыми двумя технологическими операциями



Схема строения технологических потоков с различными связями



а - жесткой; б - полужесткой; в - нежесткой



По форме технологические потоки могут быть неразветвленные и разветвленные, причем последние имеют сходящиеся, расходящиеся и параллельные ветви.

В простейшем случае операции составляют одну цепочку - неразветвленный поток. Такой поток предназначен для выработки преимущественно из одного вида сырья, одного вида продукции (цельного молока, ириса, леденцовой карамели, патоки из крахмала, макаронных изделий и т. д.).

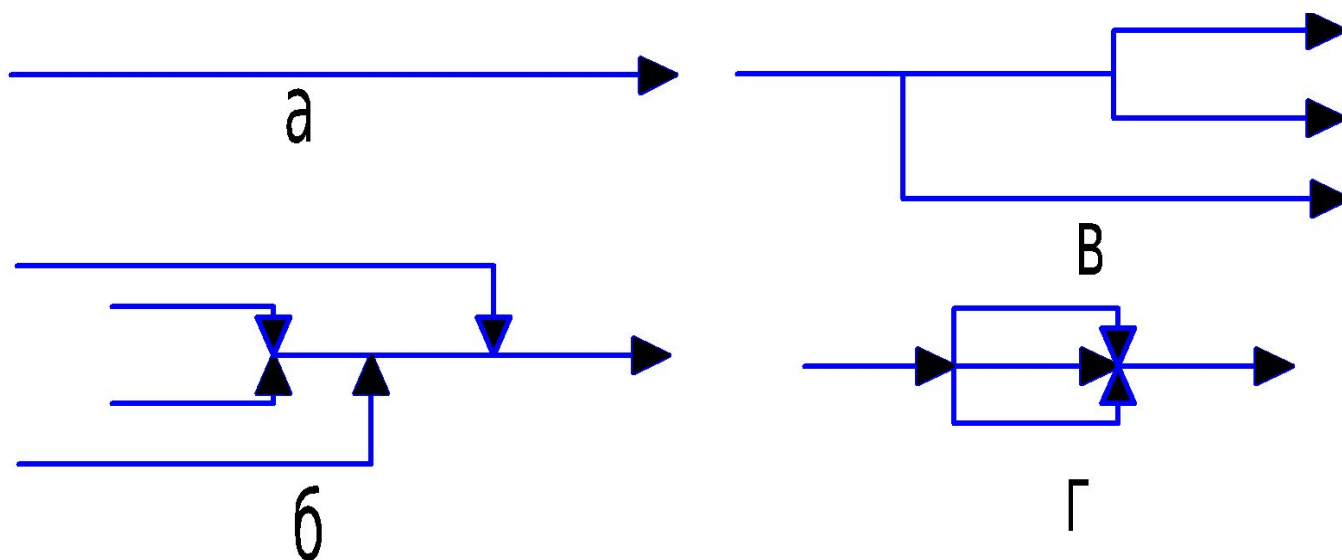
Разветвленный сходящийся технологический поток предназначен для получения из нескольких видов сырья одного вида продукции (хлеба, сыра, пирожных и тортов, карамели с начинкой, конфет "Ассорти" и т. д.).

Разветвленный расходящийся технологический поток возникает при выработке из одного вида сырья нескольких видов конечного продукта (белых столовых виноматериалов из винограда, муки первого и второго сортов при помоле пшеницы, шоколада, какао-масла и какао-порошка при переработке какао-бобов и т. д.).

Технологический поток с параллельными ветвями образуется в случае одновременного параллельного функционирования ряда идентичных операций из-за недостаточной производительности оборудования на данном участке линии.



Схема форм технологических ПОТОКОВ



а - неразветвленный; б - разветвленный сходящийся;
в - разветвленный расходящийся; г - разветвленный с
параллельными ветвями



Идеальный технологический поток

Идеальный технологический поток сплошной среды характеризуется тремя параметрами: скоростью v , м/ч, площадью поперечного сечения s , м², а также плотностью ρ , кг/м³. Произведение этих параметров определяет его производительность Π , кг/ч:

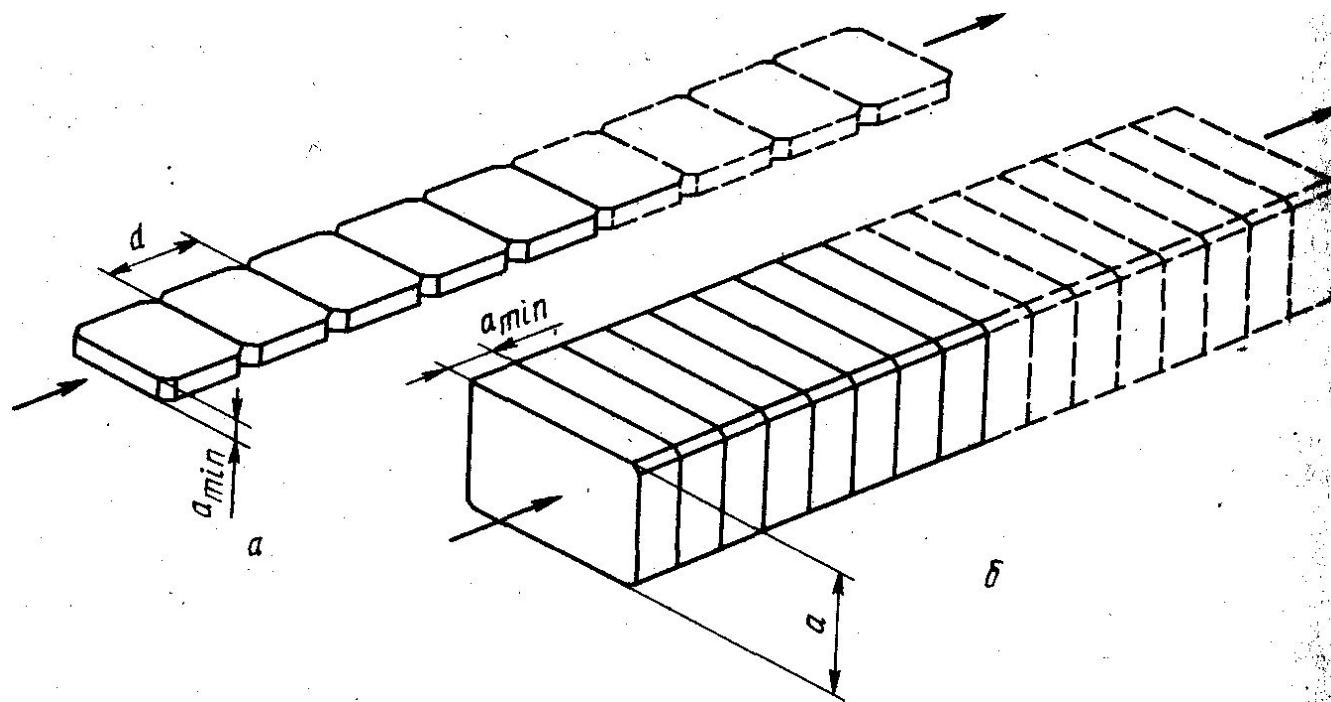
$$\Pi = v \cdot s \cdot \rho$$

Идеальный технологический поток должен иметь:

- 1. Среднюю скорость в течение всего времени функционирования и на всем протяжении, равную максимально возможной с точки зрения физической, химической и микробиологической природы обрабатываемого материала:
- 2. Максимальное поперечное сечение на всем своем протяжении;
- 3. Максимальную плотность в направлении его вектора скорости.



Схема технологических потоков дискретных объектов обработки



а - с неоптимальным расположением объектов;

б - с оптимальным расположением объектов (поток с максимальной плотностью)



Технические проблемы развития технологических систем

Первая проблема - осуществление одинаковой производительности на всех операциях, объединенных в технологический поток. При неодинаковой производительности каждой операции межоперационная передача объектов обработки превращается из простого перемещения их по одной и той же траектории в распределение на несколько ручьев при переходе от более производительных машин к менее производительным или, наоборот, в слияние нескольких ручьев в общий поток.



Вторая проблема – сохранение коэффициента использования машин при увеличении числа объединенных в технологический поток операций. Эта проблема состоит в том, что при объединении существующих машин и аппаратов в линию остановка каждой из них приводит к остановке всей линии и, следовательно, к снижению коэффициента ее использования. Очевидно, что, начиная с некоторого числа операций, нецелесообразен переход от отдельных машин к линиям. Решение проблемы состоит, с одной стороны, в сокращении и упрощении технологии, а с другой – в повышении надежности оборудования.



Третья проблема – универсальность машин и аппаратов: обеспечив ее, можно обрабатывать сырье с различными физико-механическими и биохимическими свойствами и выпускать изделия разной формы. Сущность проблемы заключается в том, что машины, аппараты, а тем более линии, обеспечивают обычно производство лишь одного конкретного изделия данной геометрической формы из одного набора компонентов сырья. Решение проблемы – создание линий, на которых можно одновременно изготавливать различные номенклатуры изделий и полностью устранить частые переналадки линий

Четвертая проблема – непродолжительность времени выпуска конкретного продукта, обусловленная малой потребностью или необходимостью большого ассортимента. Ее решение – полное устранение потерь рабочего времени при переходе к выпуску на линии нового продукта.

Пятая проблема – обеспечение рентабельности технологического потока. Переход к идеальному потоку часто принципиально возможен, но экономически нецелесообразен, так как затраты могут быть больше экономического эффекта от эксплуатации. Решение проблемы – создание таких машин, производительность которых может быть любой и определяться экономической окупаемостью.



Операция как составная часть потока

Технологические операции выполняют две функции: обработку объекта (технологический процесс) и подачу объекта обработки в рабочую зону (транспортный процесс). Комбинация технологического и транспортного процессов приводит к формированию четырех классов операций.



Классы технологических операций

Операции I класса

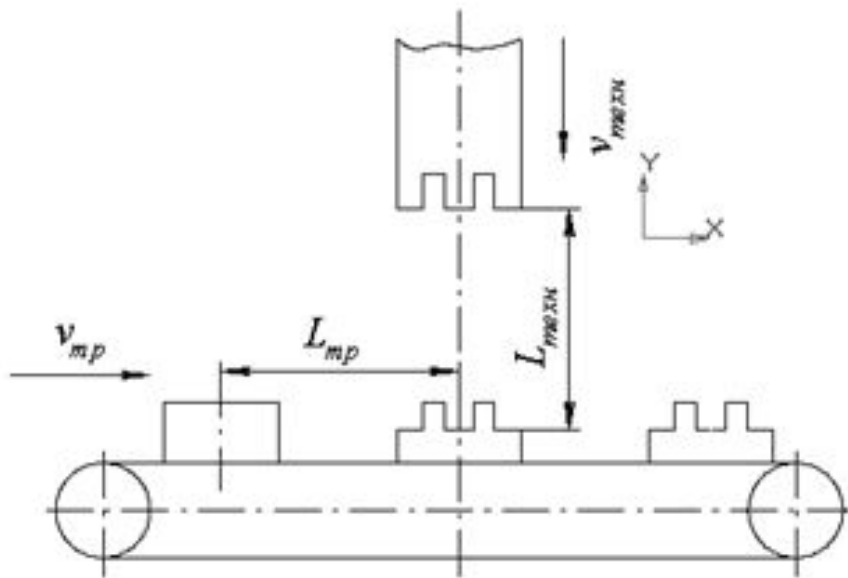
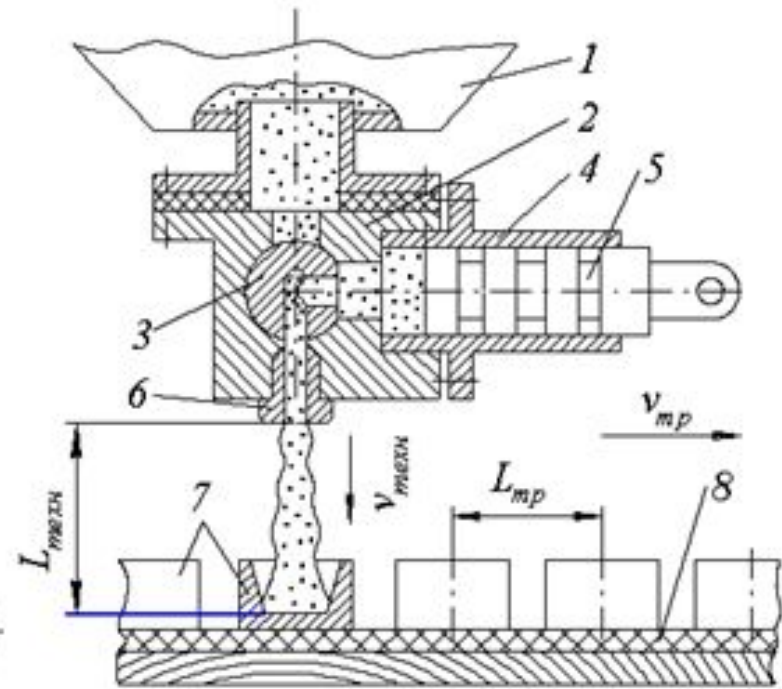


Схема операции I класса.



Устройство для дозирования и формования массы в отливочной машине (операция I класса):

1 – бункер; 2 – корпус отливочной головки; 3 – золотник; 4 – мерный цилиндр; 5 – поршень; 6 – насадка; 7 – форма; 8 – ленточный конвейер



Операции II класса

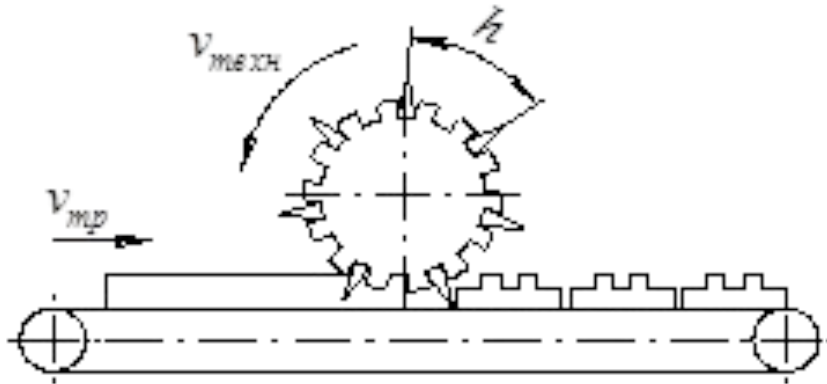
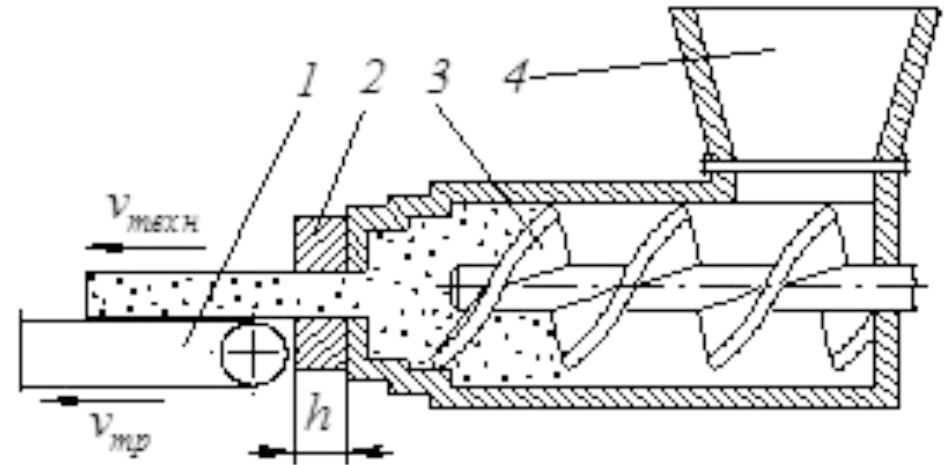


Схема операции II класса.



Устройство для формования массы шнековым нагнетателем (операция II класса): 1 – ленточный конвейер; 2 – матрица; 3 – шнек; 4 – бункер



Операции III класса

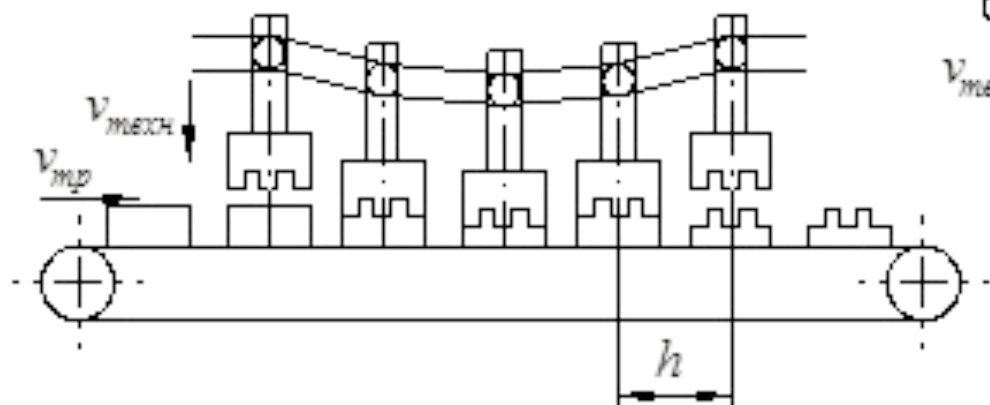
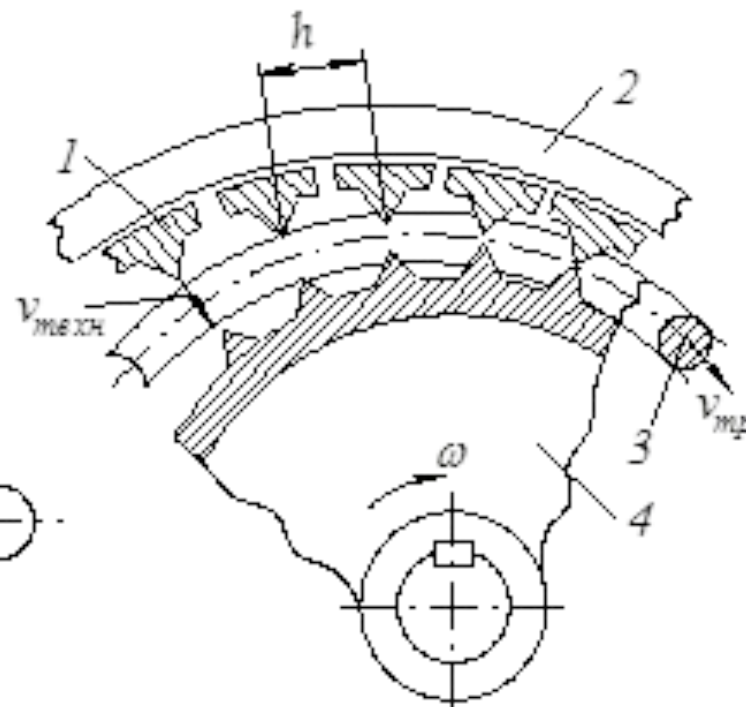


Схема операции III класса



Устройство для дозирования массы продукта в виде жгута круглого сечения в роторной режущей машине (операция III класса):

- 1 – откидной нож;
- 2 – неподвижная направляющая;
- 3 – жгут продукта;
- 4 – ротор



Операции IV класса

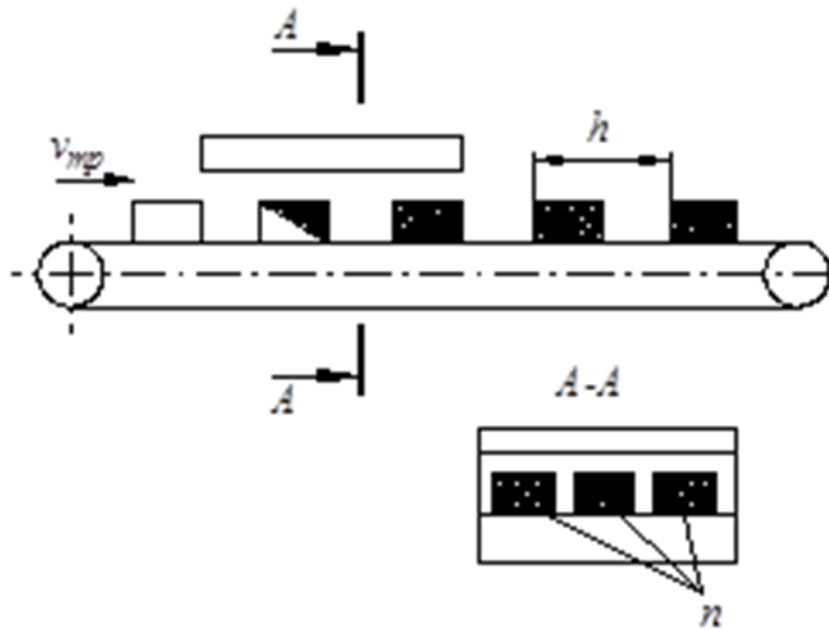
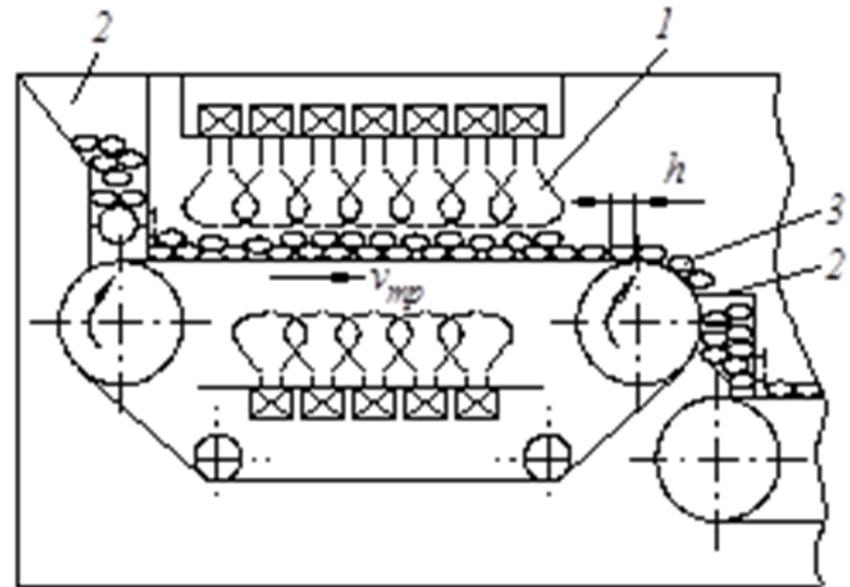


Схема операции IV класса



Устройство для сушки
продукта (операция IV класса):
1 – генератор инфракрасного излучения;
2 – воронка; 3 – продукт



Эволюция технологического потока

Перспектива развития операции I класса. Производительность машин, реализующих операции 1 класса, обусловлена технологическими параметрами операции и динамическими возможностями механизма перемещения пищевой среды в зону и из зоны обработки.

Перспектива развития операции II класса. Существенным отличием операций II класса является то, что вследствие совмещения во времени технологический и транспортный процессы не прерывают друг друга и могут происходить непрерывно с постоянной скоростью.

Перспектива развития операции III класса. В этих операциях, имеющих важное значение при создании линий, также важен характер соотношения между производительностью, динамическим режимом работы машин и технологическим режимом процесса.

Перспектива развития операций IV класса. Операции IV класса также позволяют создавать машины (аппараты) произвольной производительности.



Роторный технологический поток

При роторной схеме рабочие органы монтируются на жёстких роторах, при роторно-конвейерной схеме – на гибких замкнутых транспортных системах-конвейерах.

Эти две схемы машин имеют принципиальные различия, которые определяют их важнейшие технические возможности. Роторная схема машин соответствует начальной стадии развития операций III и IV классов и обладает ограниченными возможностями как по технико-экономическим показателям, так и по диапазону применения. Роторно-конвейерной схема машин соответствует развитой форме этих операций. Поскольку такие операции первоначально были реализованы в форме роторных машин и линий, то многие относящиеся к ним технические решения сохраняются и в роторно-конвейерных машинах и линиях.



Системный анализ и системный синтез технологического потока

Системный анализ - это логический способ воспроизведения в мышлении расчлененной объективно существующей целостной системы.

Сущность анализа - расчленение целого на образующие его компоненты, части, выделение и изучение функций каждой из частей. Системный объект расчленяют в соответствии с присущими ему закономерностями, его функциями и структурой, с учетом состава компонентов и внутрисистемных связей. Смысл анализа - в определении места и роли каждого элемента в целостной системе.

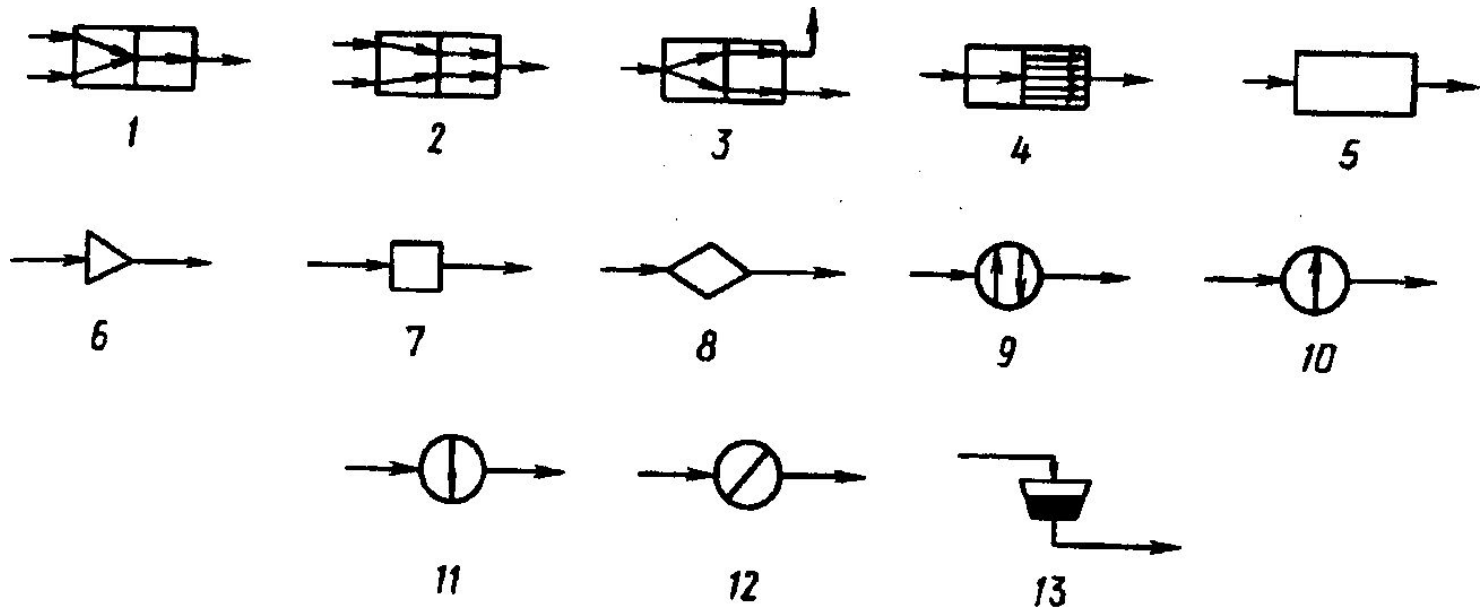
Синтез - это физическое или мысленное воссоединение частей, границы которых были установлены в процессе анализа.

Синтез, так же как анализ, представляет собой сложный многоэтапный процесс. Многоэтапность синтеза обусловлена многоуровневостью сложных систем, их непрерывным развитием.

Рациональный метод анализа и синтеза технологических систем - разработка операторных моделей.



Условные обозначения технологических процессов обработки сред (процессоры)



1-соединение без сохранения поверхности раздела (смешивание сред); 2-соединение с сохранением поверхности раздела (образование слоя); 3-разделение на фракции; 4-измельчение; 5-сложный процесс преобразования (комплекс физических, химических и микробиологических процессов); 6-дозирование; 7-формообразование; 8-ориентирование (в частности, предметов); 9-термостатирование (поддержание постоянной температуры); 10-нагревание; 11-охлаждение; 12-изменение агрегатного состояния; 13-хранение



Моделирование технологического потока

Моделируя реальный объект в виде системы, исследователь выделяет в процессе познания определенную структуру объекта и придает ей требуемое значение, которое является отражением взаимосвязи ее элементов.

При этом исследователь рассматривает объект в качестве системы, если необходимо исследовать объект в его целостности, а не как механическую сумму составляющих.

Модель представляет собой упрощение, определенным образом схематизированное отражение моделируемой системы. Это упрощение может выражаться в значительном сокращении в модели числа компонентов оригинала с сохранением лишь некоторых его общих морфологических черт, в сокращении числа взаимосвязей компонентов оригинала и упрощении их внутреннего содержания, в схематизации пространственного порядка и следования во времени присущих оригиналу компонентов и процессов и т.д.



Моделирование строения технологического потока

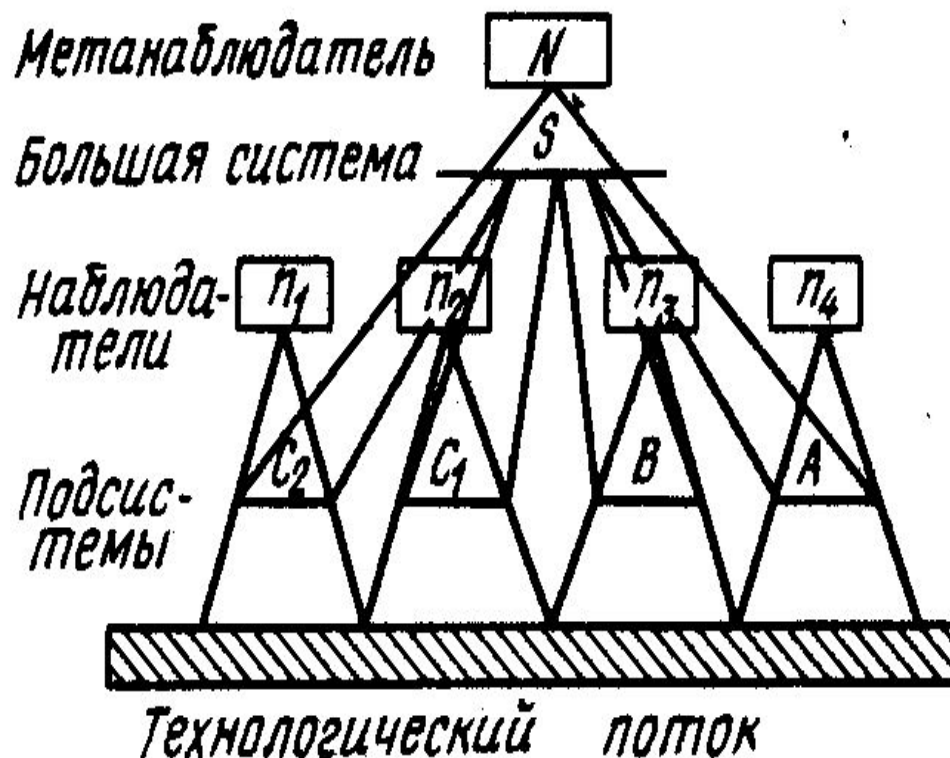


Схема системного подхода к моделированию строения технологического потока



Моделирование потока целесообразно тогда, когда исследователь должен решить сложную проблему, т. е. разрешить противоречие между необходимостью развития поточной линии и невозможностью это сделать с помощью современной техники и технологии.

Моделирование строения технологического потока как системы имеет своей конечной целью выявление его механизма функционирования и развития.

При моделировании строения сложный объект качественно расчленяется на ряд простых, а в процессе моделирования его функционирования взаимодействия этих простых объектов выражаются количественно. Разрешение сложного технического противоречия распадается на ряд задач, которые имеют хорошо отработанные методы решения.



Моделирование функций технологического потока

Закономерности функционирования системы в целом и ее частей отражают математические модели.

В математическом моделировании технологических процессов пищевого производства сформировалось два направления: теоретическое и статистическое.

Теоретическое исследование базируется на применении различных математических методах

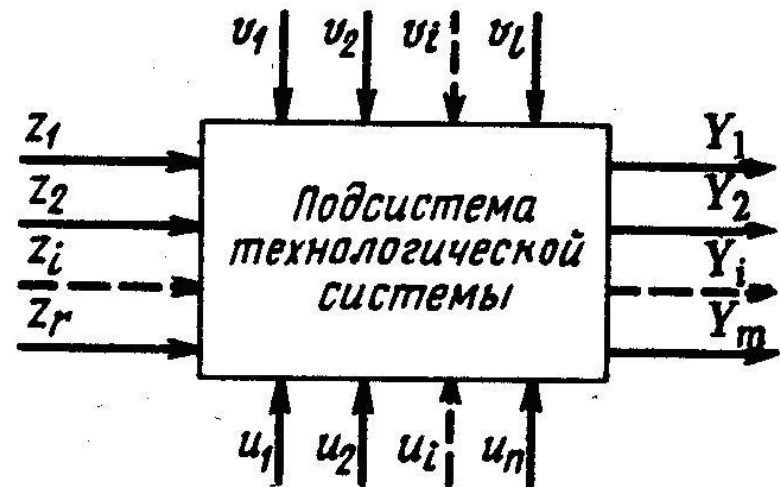
Статистическое исследование стохастических процессов имеет два подхода. Первый из них - регрессивный анализ - базируется на обработке результатов так называемых "пассивных" экспериментов. Второй - на обработке результатов «активных» экспериментов.

При оптимизации процессов все они сводятся к тому, чтобы найти минимум или максимум поверхности, описываемой уравнением целевой функции.



Кибернетическое моделирование технологического потока

z_i ($i = 1, 2, \dots, r$) – входные параметры;
 u_i ($i = 1, 2, \dots, n$) – управляющие параметры;
 v_i ($i = 1, 2, \dots, l$) – возмущающие параметры;
 Y_i ($i = 1, 2, \dots, m$) – выходные параметры



Параметрическая схема технологического процесса в подсистеме



Чтобы процесс имел возможность функционировать, он должен обладать, по крайней мере, одним входом и одним выходом. Функционирование процесса математически представляет собой преобразование входного вектора в выходной.

Закон преобразования входных факторов в выходной определяет является процесс детерминированным или стохастическим. Кроме прямой трансформации можно ввести обратную трансформацию

При обратной трансформации по значениям выходов процесса можно сделать заключение о состоянии его входов.

Кибернетическое моделирование устанавливает количественные и качественные связи между параметрами процесса и сводится к тому, чтобы теоретически или экспериментально найти оператор трансформации и в дальнейшем использовать его для изучения сущности процесса, а также для обратной трансформации при управлении им.



Уровень целостности технологической системы

Направление развития машинных технологии определяет количественная оценка уровней организации бинарных систем, фактором целостности которых является стабильность процессов их составляющих.

Стабильность i -й подсистемы технологии как системного объекта

$$\eta_i = 1 - \frac{H_i}{H_{\max}}$$

где H_i – текущая информационная энтропия i -й подсистемы, соответствующая данному распределению значений показателя выхода подсистемы; H_{\max} – максимально возможная энтропия, соответствующая закону равномерного распределения.

Как известно, информационная энтропия

$$H_i = -\sum P(x_i) \log P(x_i)$$

где $P(x_i)$ – вероятность попадания случайной величины в интервал $(x_{(i-1)}; x_i)$.

Для случая с двумя возможными исходами

$$H = -P \log_2 P - (1 - P) \log_2 (1 - P)$$

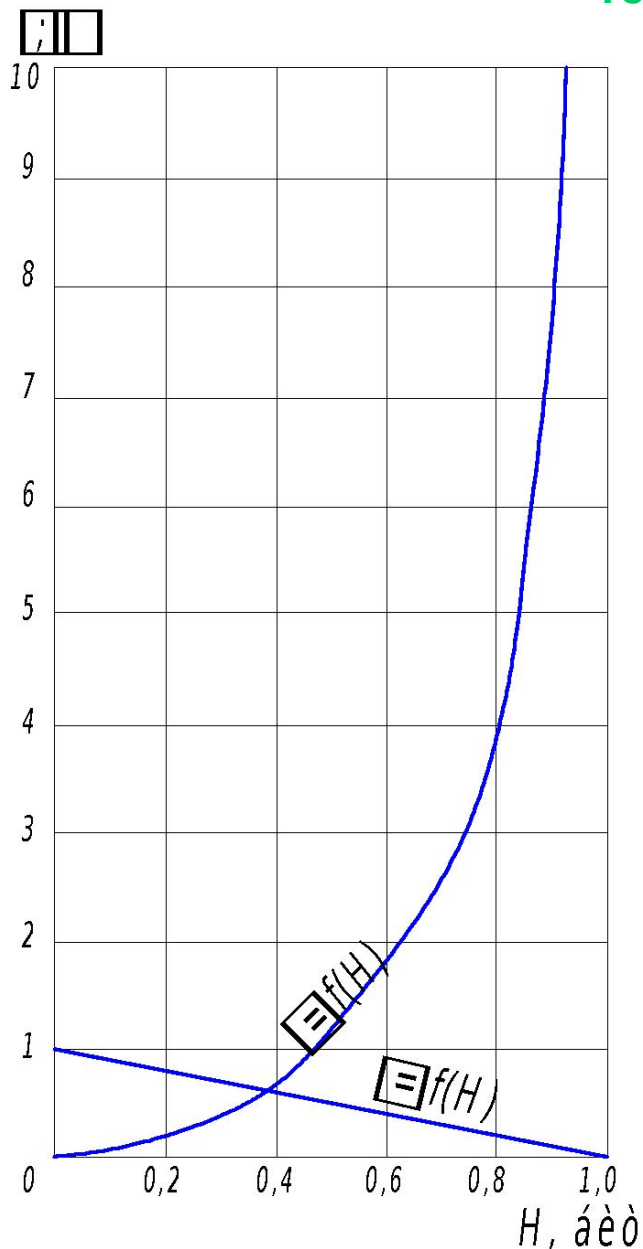
Выбор основания логарифмов несуществен, так как от него зависит только масштаб измеряемой величины. Максимальное значение энтропия достигает тогда, когда $P_1 = P_2 = \dots = P_n = 1/n$. Минимальное значение энтропия имеет тогда, когда одно из значений $P = 1$, а остальные $(n-1)$ значения вероятности составляют $P = 0$.

В соответствии с формулой (4.3) максимально возможная энтропия, (бит)

$$H_{\max} = -0,5 \log_2 0,5 - 0,5 \log_2 0,5 = 1$$



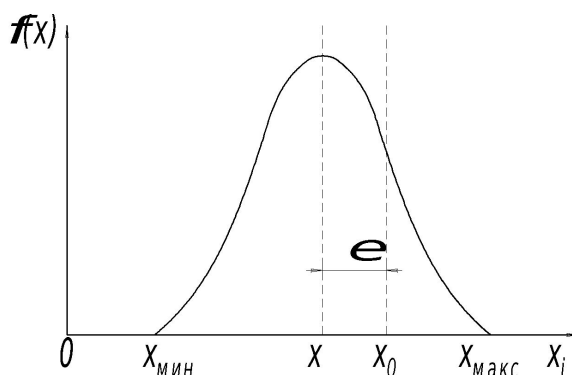
Функция потенциала развития ξ и функция стабильности η технологической системы



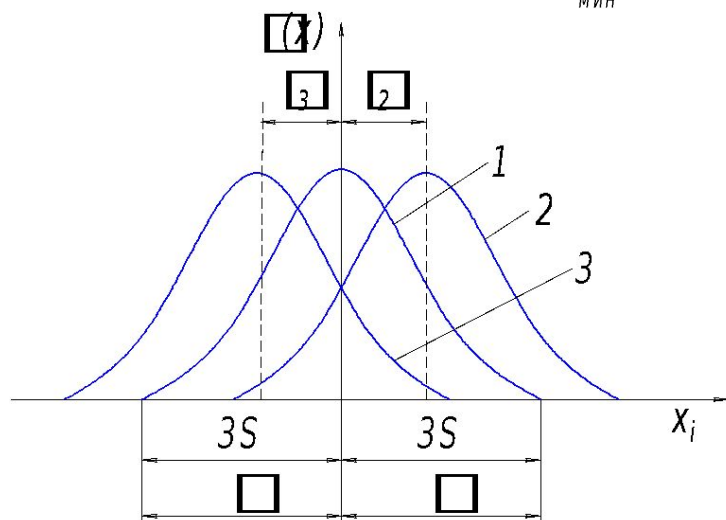
При таком значении энтропии своего выхода подсистема сохраняет достаточную стабильность и определенность и одновременно оставляет возможность для перемен и поддержания темпов развития. График совмещенных функций дает ясное представление о том, что развитие целесообразно не при всякой стабильности функционирования подсистем, а лишь при $\eta = 0,618$. Другими словами, технологическая система, подсистемы которой имеют среднюю стабильность своих выходов $0,618 >> \eta >> 0,618$, в сущности, не должна и не может целесообразно развиваться: в первом случае из-за чрезвычайно низкой организации производства, а во втором, наоборот, – по причине чрезмерной заорганизованности.



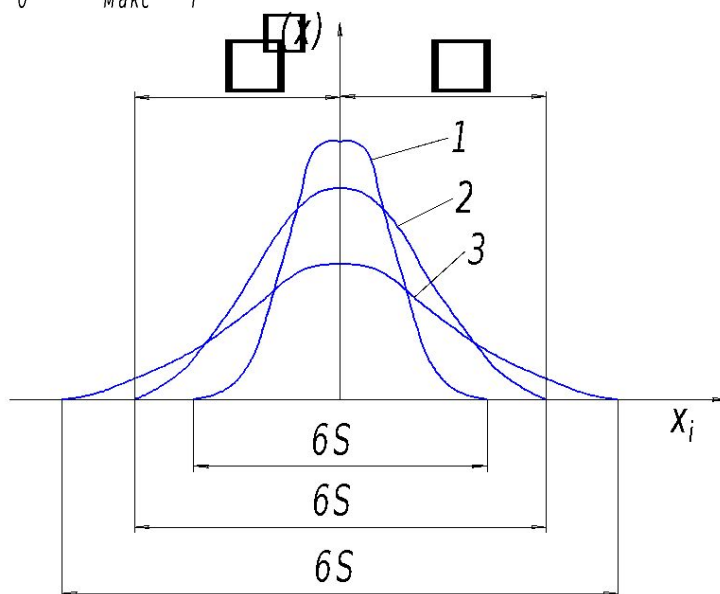
Точность процессов



Кривая плотности вероятности параметра продукции



Кривые нормальной плотности вероятности параметра продукции при различных значениях коэффициента смещения: 1 – $E = 0$; 2 – $E > 0$; 3 – $E < 0$

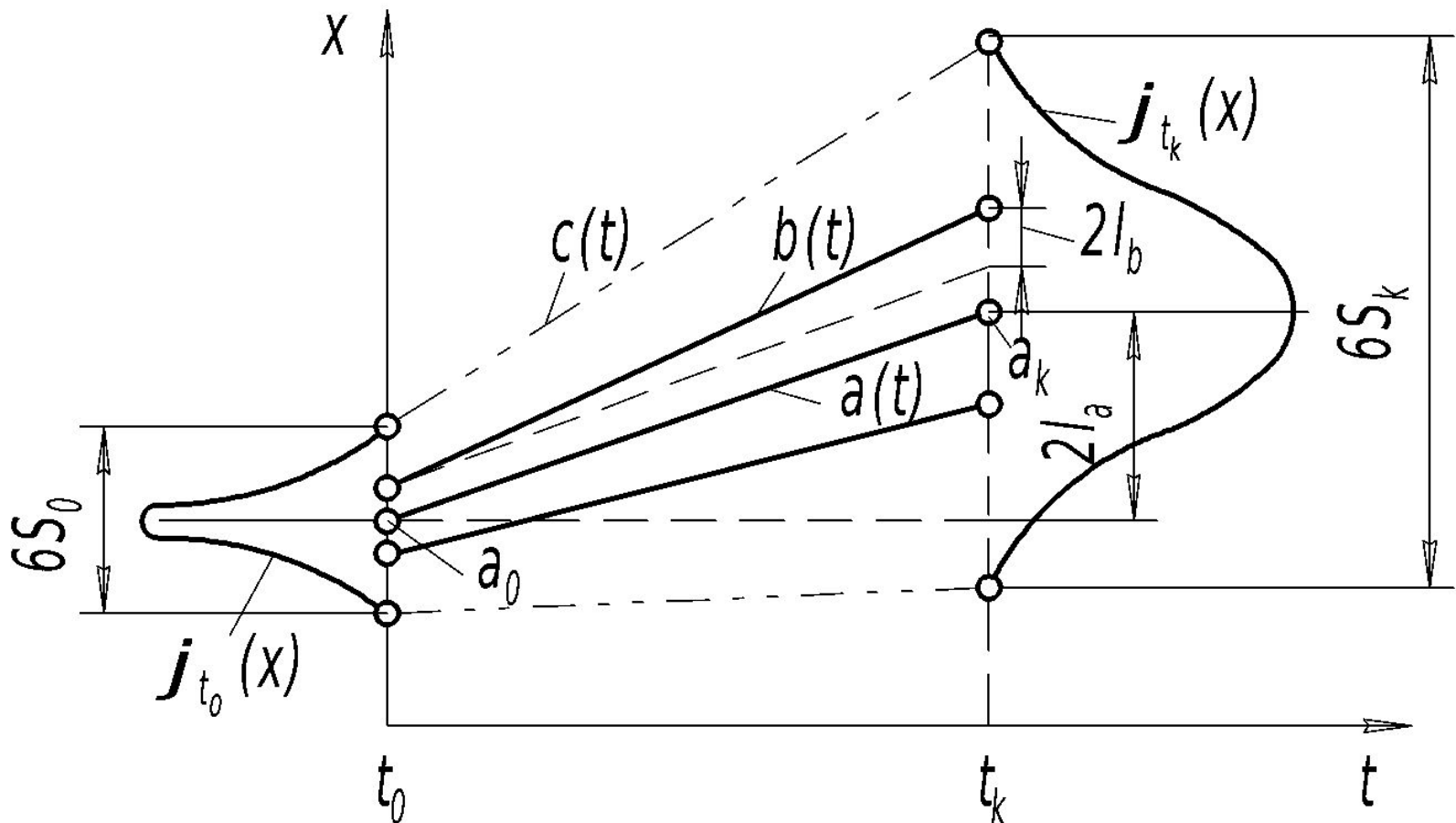


Кривые нормальной плотности вероятности параметра продукции при различных значениях коэффициента точности: 1 – $T > 1$; 2 – $T = 1$;

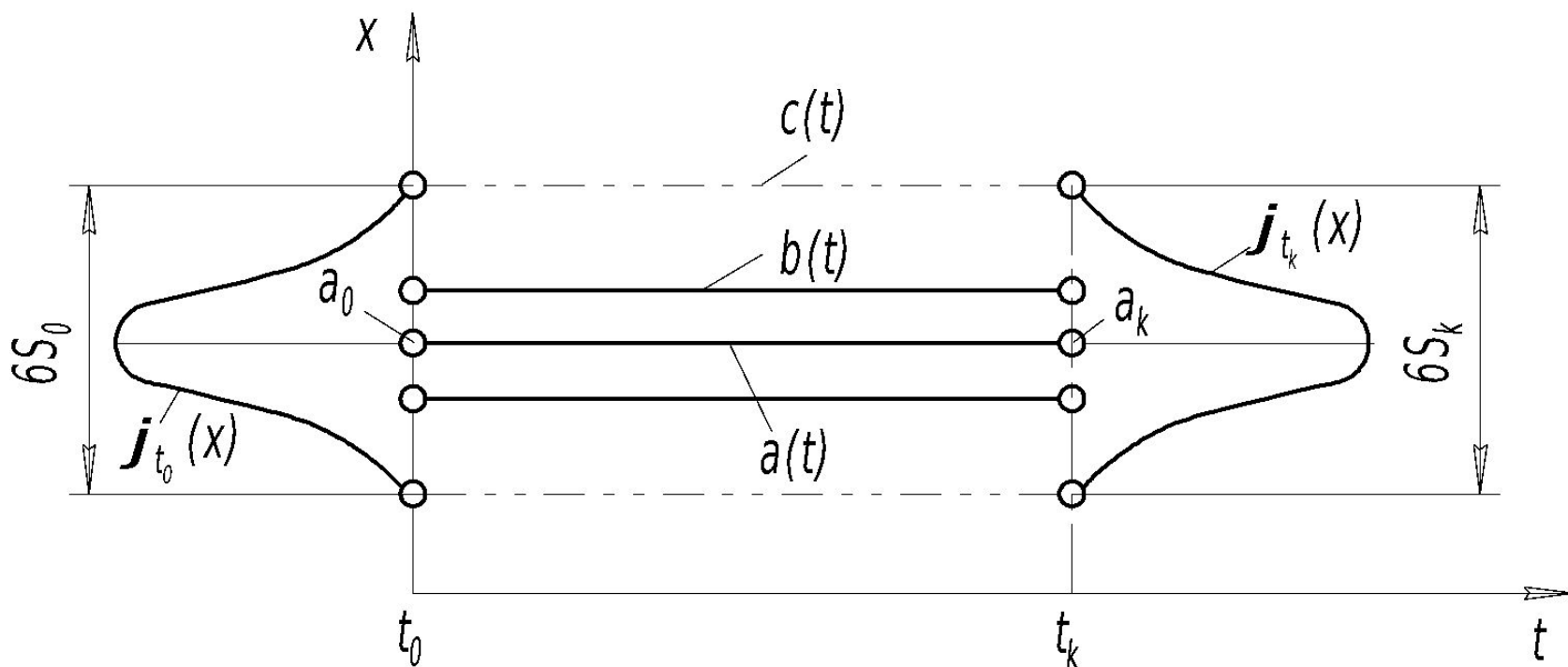


Устойчивость процессов

Точностная диаграмма функционирования процесса



Точностная диаграмма идеально устойчиво функционирующего процесса



Потенциал развития технологической системы

В процессе развития технологических систем повышается их уровень целостности, проявляющийся в функциональном и структурном отношениях. Функциональная целостность системы рассматривается в ее отношении к внешней среде, структурная – в отношении к ее составным частям.

Повышение функциональной целостности технологических систем выражается в расширении функциональных возможностей системы, соответствующих требованиям внешней среды при минимальных усложнениях ее структурной организации.

Повышение структурной целостности достигается уменьшением числа элементов и упрощением связей между ними.

В процессе прогрессивного развития технологической системы повышается ее целостность и сама она может перейти в подсистему более сложной системы.

Плохо организованная система вследствие огромного количества саморазрушающих факторов очень затрудняет работу исследователя по ее усовершенствованию. Но и чрезмерно организованная система с высоким уровнем целостности снижает творческую активность исследователя.

