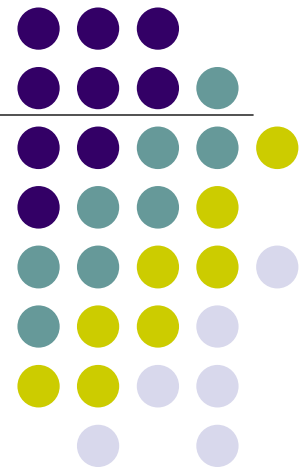
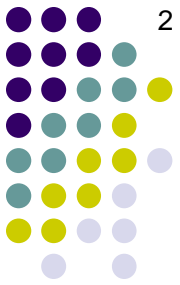


Теория систем и исследование операций

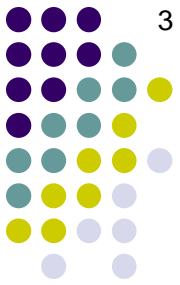
Годин Владимир Викторович, д.э.н., профессор





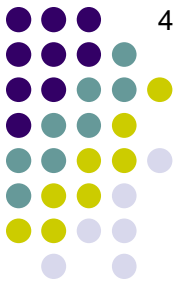
Введение

- Во всех сферах человеческой деятельности растет сложность, взаимозависимость и взаимодействие отдельных частей
- В результате возрастают трудности понимания, прогнозирования и управления
- Плодотворным подходом к решению возникающих задач является представление любого явления или объекта как системы
- Система — множество взаимосвязанных элементов, которые при объединении в одно целое обретают новые свойства
- Возникло много подходов к изучению сложных объектов как систем — «общая теория систем», «системотехника», «исследование операций», «политология», «системный подход», «системный анализ», праксеотехника, системология, ...
- А. А. Богданов «Тектология». Системы различной физической природы имеют общие закономерности функционирования и развития
- Н. Винер «Кибернетика». Единство принципов управления в биологических, технических и социальных системах



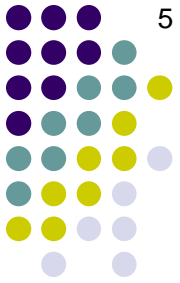
- Попытка уложить в некоторую общую методологическую схему многообразную динамику изменений экономики под воздействием ИКТ
- Конструктивная постановка вопроса требует выдвижения гипотезы
- Интеллектуальный и культурный прогресс, как показал Томас Кун («Структура научных революций»), состоит из замены одной парадигмы, которая перестала находить объяснения новым или вновь открытым фактам, той, которая более удовлетворительно толкует эти факты. «Чтобы быть принятой как парадигма, теория должна казаться лучшей, чем конкуренты, но ей не нужно – и на самом деле она никогда этого не делает – объяснять все факты, с которыми она может столкнуться»
- Познание является необходимым упрощением. Упрощенные парадигмы, схемы и карты необходимы для человеческого мышления и деятельности. Это ориентиры нашего поведения. Нужны явные (эксплицитные) или неявные (имплицитные) модели, которые позволили бы нам:
 - ✓ Систематизировать и обобщать реальность
 - ✓ Понимать причинные связи между явлениями
 - ✓ Предчувствовать и, если повезет, предсказывать будущие события
 - ✓ Отделять важное от неважного
 - ✓ Показывать, каким путем двигаться, чтобы достичь наших целей

Теория систем

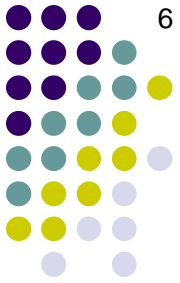


- **Общая теория систем** (теория систем) — научная и методологическая концепция исследования объектов, представляющих собой системы. Она тесно связана с системным подходом и является конкретизацией его принципов и методов
 - Общая теория систем интегрирует наиболее обобщенное знание о системах. Основой общей теории систем являются философия и математика, логика, теория множеств, кибернетика
 - «Теория систем представляет собой научную дисциплину, которая изучает различные явления, отвлекаясь от их конкретной природы, и основывается лишь на формальных взаимосвязях между различными составляющими их факторами и на характере их изменений под влиянием внешних условий» (*Месарович М.*)
- **Отраслевые теории систем** раскрывают специфику систем различной природы (физических, химических, биологических, экономических, социальных)
- **Специальные теории систем** изучают отдельные стороны функционирования и развития систем (теория переходных систем, теория эволюции систем и др.)
- **Системотехника** — это прикладная инженерная дисциплина, специализирующаяся на проблемах конструирования систем разной природы (техническая, биологическая, информационная и социальная инженерия)

Системный анализ

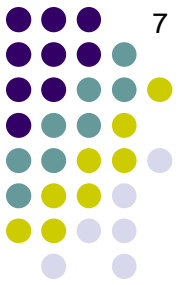


- **Системный анализ** — научный метод познания, представляющий собой последовательность действий по установлению структурных связей между переменными или постоянными элементами исследуемой системы. Опирается на комплекс общенаучных, экспериментальных, естественнонаучных, статистических, математических методов
- Источник: <https://ru.wikipedia.org/wiki>
- Системный анализ является областью деятельности, направленной на выявление проблем функционирования и развития сложных систем и выработку рекомендаций по их преодолению
 - Задачи системного анализа
 - Исследование и понимание механизмов функционирования системы
 - Решение задач проектирования систем
 - Решение задач управления систем
 - Инструменты системного анализа
 - Приемы и методы формального и неформального характера анализа систем
 - Результатом системных исследований является, как правило, выбор вполне определенной альтернативы



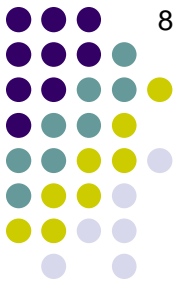
Исследование операций

- **Исследование операций** (*operations research, management science, decision science*) — наука о решениях) — дисциплина, занимающаяся разработкой и применением методов нахождения оптимальных решений на основе математического моделирования, статистического моделирования и различных эвристических подходов в различных областях человеческой деятельности. Иногда используется название **математические методы исследования операций**
- Исследование операций — применение математических, количественных методов для обоснования решений во всех областях целенаправленной человеческой деятельности. Исследование операций начинается тогда, когда для обоснования решений применяется тот или другой математический аппарат



Задачи курса "Теория систем и исследование операций"

Задачи курса "Теория систем и исследование операций "

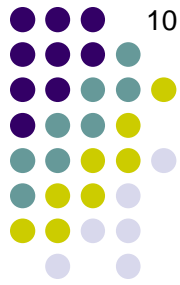


- Изучение основ теории систем и системного подхода к анализу, описанию, проектированию и управлению объектами любой природы. Приемы теории систем и системного анализа должны стать органической частью деятельности специалистов, способом их мышления
- Понимание идей исследования операций и освоение методологии применения методов исследования операций при принятии решений



Литература

Литература

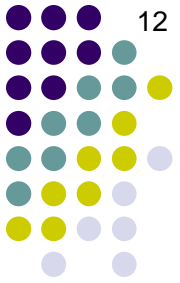


- Винер Н., Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. — М.: Наука, 1983. — 334 с.
- Волкова В. Н. Искусство формализации: От математики — к теории систем, и от теории систем — к математике. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2004. — 200 с.
- Гуд Г.Х., Макол Р.З. Системотехника: Введение в проектирование больших систем. — М.: Советское радио, 1962. — 383 с.
- Качала В.В. Основы теории систем и системного анализа. Учебное пособие для вузов. — М.: Горячая линия — Телеком, 2007. — 216 с.
- Месарович М., Мако Д., Такахара М. Теория иерархических многоуровневых систем. — М.: Мир, 1973. — 344 с.
- Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. — М.: Наука, 1981. — 488 с.
- О'Коннор, Макдермотт И. Искусство системного мышления: необходимые знания о системах и творческом подходе к решению проблем. — М.: Альпина Бизнес Букс, 2006 — 256 с.
- Системный анализ : учебник / А.В. Антонов. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : ИНФРА-М, 2017. — 366 с.

Литература

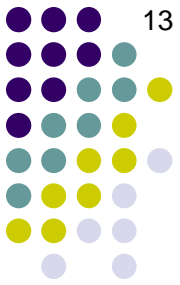


- Системный анализ: Учебник / Корнев Г.Н., Яковлев В.Б. - М.:ИЦ РИОР, НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 308 с.
- Теория систем и системный анализ / Вдовин В.М., Суркова Л.Е., Валентинов В.А., - 3-е изд. - М.:Дашков и К, 2018. - 644 с.
- Теория систем и системный анализ : учеб. пособие / А.М. Корилов, С.Н. Павлов. — М. : ИНФРА-М, 2017. — 288 с.
- Уемов А.И. Системный подход и общая теория систем. — М.: Мысль, 1978. — 272 с.
- Шуремов Е.Л. Теория систем и системный анализ. Коротко о главном. — М.: Ridero, 2016.
- Эшби Р. Введение в кибернетику. — М.: КомКнига, 2005. — 432 с.
- Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. — М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1980
- Гермейер Ю. Б. Введение в теорию исследования операций. — М.: Наука, 1971. — 384 с .
- Билл Фрэнкс. Революция в аналитике: Как в эпоху Big Data улучшить ваш бизнес с помощью операционной аналитики = The Analytics Revolution: How to Improve Your Business By Making Analytics Operational In The Big Data Era. — М.: Альпина Паблишер, 2016.



Теория систем и системный анализ: определения

Предмет исследования и границы теории систем



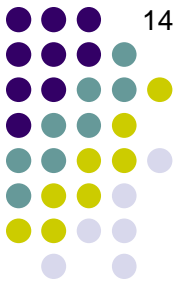
Предметом исследований в рамках теории систем является изучение:

- Различных классов, видов и типов систем
- Основных принципов и закономерностей поведения систем (например, принцип узкого места)
- Процессов функционирования и развития систем (например, эволюция, равновесие, адаптация, регенерация, сверхмедленные процессы, переходные процессы)

В границах теории систем характеристики любого сложно организованного целого рассматриваются сквозь призму фундаментальных определяющих факторов:

- Строение: устройство системы
- Состав: её состав (подсистемы, элементы)
- Состояние: текущее глобальное состояние системной обусловленности
- Среда: среда, в границах которой развёртываются все её организующие процессы.
- Инфраструктура: элементы нижних структурно-иерархических уровней, к строению, среде, составу и состоянию которых равным образом применяются принципы системной декомпозиции

Система



Система (от греч. — *целое, составленное из частей; соединение*) - совокупность элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которая образует определенную целостность, единство.

- Целостность - обобщённая характеристика объектов, обладающих сложной внутренней структурой (например, общество, личность, биологическая популяция, клетка). Понятие «Целостность» выражает интегрированность, самодостаточность, автономность этих объектов, их противопоставленность окружению, связанную с их внутренней . активностью; оно характеризует их качественное своеобразие, обусловленное присущими им специфическими закономерностями функционирования и развития.

Источник: https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_philosophy/3310/СИСТЕМА

Система (др.-греч. «целое, составленное из частей; соединение») — множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определённую целостность, единство.

- Единство (др.-греч. ενότηα, лат. Unitas) — взаимосвязь определённых предметов, процессов, которая образует целостную систему взаимодействия, внутренне устойчивую в изменениях и в то же время включающуюся в более широкую систему, в конечном счете, — в составе бесконечного во времени и пространстве мира.

Источник: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Система>

Система, свойство, параметр

Система — это совокупность (множество) объектов и процессов, называемых элементами, взаимосвязанных и взаимодействующих между собой, образующих единое целое, обладающее свойствами, не присущими составляющим его элементам, взятым в отдельности

- Система состоит как минимум из двух элементов. Понятие системы представляет собой дискретную модель человеческого бытия
- Систему можно описать в виде множества элементов, связей и их свойств

Свойство — это сторона объекта, обуславливающая его различие или сходство с другими объектами и проявляющееся во взаимосвязи с ними

Особенности свойств:

- Любое свойство относительно
- Совокупность свойств составляет качество объекта
- Свойства объектов могут быть отделены от них только умозрительно
- Свойства дают возможность описывать объекты системы количественно, выражая их в единицах, имеющих определенную размерность

Параметр — это количественное выражение свойства

Элемент системы

Элемент системы — это объект, выполняющий определенные функции и не подлежащий дальнейшему разделению в рамках поставленной задачи

- Элемент не тождественен понятию «часть». «Часть» указывает на внутреннюю принадлежность чего-либо объекту, а «элемент» обозначает функциональную единицу
- Совокупность элементов может образовывать подсистему

Подсистема — это система, являющаяся элементом данной системы

Надсистема — это система, элементом которой является данная система

Состав — это совокупность всех элементов, из которых состоит система

Классификация элементов

По степени самостоятельности:

- Программный — действует по жесткой программе
- Адаптивный — обладает способностью приспособления к изменениям в других элементах и окружающей среде
- Инициативный — обладает способностью целенаправленно изменять собственное состояние и состояние других элементов системы

По длительности существования:

- Постоянный — имеет относительно длительное время существования
- Временный — существующий временно

По временной принадлежности:

- Элемент прошлого (атавизм) — остался от прошлых этапов жизни системы
- Элемент настоящего — характерен для настоящего времени существования системы
- Элемент будущего — свойственен для будущего данной системы (инновационный элемент)

Классификация элементов

По роли в системе:

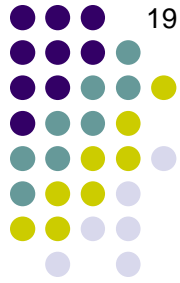
- Основной — играет главную роль в системе
- Неосновной — играет второстепенную роль в системе

По активности в системе:

- Активный — воздействует на процессы в системе
- Пассивный — слабо воздействует на процессы в системе

По характеру воздействия на систему:

- Определенный (предсказуемый) — оказывает вполне определенное воздействие на систему
- Неопределенный (непредсказуемый) оказывает непредсказуемое воздействие на систему

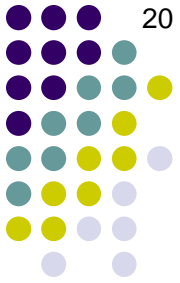


Связи и их типы

Связи — компоненты системы, осуществляющие взаимодействие между ее элементами, а также между системой в целом и внешней средой

- Связи элементов обеспечивают возникновение и сохранение целостности свойств системы
- Связи обеспечивают перетекание материальных, энергетических и информационных потоков между элементами, а также между элементами системы и внешней средой. Это означает, что у каждого элемента есть входы и выходы, через которые эти потоки перетекают от одного элемента к другому. Поэтому с кибернетической точки зрения связь — это способ взаимодействия входов и выходов элементов системы между собой и с окружающей средой
- Система развивается в направлении отмирания атавизмов и постепенной трансформации элементов настоящего под воздействием связей с элементами будущего

Связи и их типы



Типы связей:

- Материальные — обеспечивают передачу вещества между элементами системы
- Энергетические — обеспечивают передачу энергии между элементами системы
- Информационные — обеспечивают передачу информации между элементами системы
- Связи первого порядка реализуют основные функции системы, связи второго порядка — вспомогательные функции, а связи третьего порядка — это излишние, противоречивые связи, как правило, мешающие нормальному функционированию системы
- По характеру (виду) различают связи подчинения, порождения (генетические), равноправные и связи управления

Связи и их типы

Прямая связь — непосредственное воздействие одного элемента на другой (связь между выходом одного элемента и входом другого)

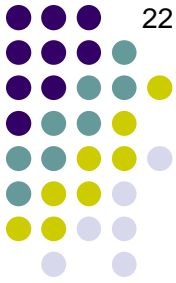
Обратная связь — воздействие результатов функционирования элемента на характер этого функционирования (связь между выходом и входом одного элемента). Обратная связь характеризует, как изменения во входящих в элемент потоках сказываются на его функционировании и формировании выходных потоков элемента

Отрицательная обратная связь уменьшает влияние входного воздействия на интенсивность выходных потоков

Положительная обратная связь увеличивает влияние входного воздействия на интенсивность выходных потоков

Упреждающая связь — влияние предвидимых в будущем событий на текущее состояние объекта

Структура



Структура — устойчивая упорядоченность в пространстве и времени элементов и связей системы

- Системы, имеющие одинаковый состав могут обладать разными свойствами и назначением из-за различного взаимодействия элементов

Материальная структура — носитель конкретных типов и параметров элементов системы и их взаимосвязей

Формальная структура — совокупность функциональных элементов и их отношений, необходимых и достаточных для достижения системой поставленных целей

- Одной формальной структуре может соответствовать множество материальных структур.
- Считается, что фиксированной цели соответствует одна и только одна формальная структура

Теория систем и системный анализ: закономерности

Общесистемные закономерности

Закономерность — часто наблюдаемое, типичное свойство (связь, зависимость), присущее объектам и процессам

Общесистемные закономерности — это закономерности, характеризующие принципиальные особенности построения, функционирования и развития сложных систем. Они присущи всем системам

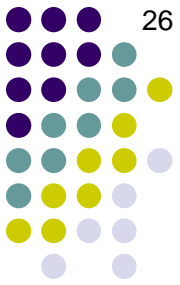
Закономерности взаимодействия части и целого



Эмерджентность (emergence — возникновение, появление нового) — это возникновение в системе новых интегративных качеств, не свойственных ее компонентам

- Эмерджентность является одной из форм проявления диалектического закона перехода количественных изменений в качественные
- Чем проще система, тем меньше она проявляет системное качество, чем сложнее — тем более непохожим становится ее системный эффект по сравнению со свойствами каждого элемента
- Нельзя предсказать поведение системы в целом, исходя из анализа поведения ее частей

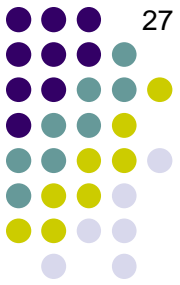
Закономерности взаимодействия части и целого



Целостность — изменение в состоянии других элементов и системы в целом при возникновении изменений в одном из элементов

- Свойство целостности означает, что изменения в пределах системы не могут ограничиться только ее частью и в той или иной степени влияют на всю систему
- Объединенные в систему элементы утрачивают часть своих свойств, поскольку выполняют в системе строго определенные функции

Закономерности взаимодействия части и целого



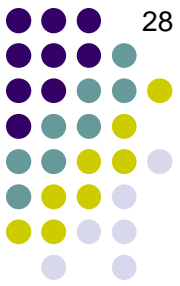
Аддитивность — противоположность целостности и эмерджентности. Изменения в системе представляют собой сумму изменений в ее отдельных частях

Синергизм — проявление мультипликативного эффекта при однонаправленных действиях

Прогрессирующая изоляция — процесс, в результате которого система переходит от целостности к аддитивности

Прогрессирующая систематизация — процесс, в результате которого система переходит от аддитивности к целостности

Закономерности взаимодействия части и целого



Изоморфизм — сходство объектов по форме или строению

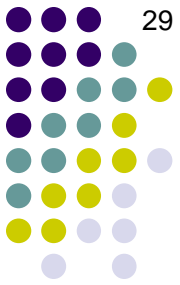
- Системы, рассматриваемые отвлеченно от природы составляющих их элементов, являются изоморфными друг другу, если каждому элементу одной системы соответствует лишь один элемент второй и каждой связи в системе соответствует связь в другой и наоборот

Гомоморфизм — односторонне однозначное соответствие.

Каждому элементу и каждой связи одной системы соответствует один элемент и одна связь другой, но каждому элементу и связи другой системы может соответствовать более одного элемента или связи первой системы

Изофункционализм — свойство, при котором изоморфизм остается присущ двум системам при их независимом изменении во времени

Закономерности иерархической упорядоченности систем



Иерархия — соподчиненность объектов.

- Любая система может быть представлена в виде иерархического образования. Более высокий иерархический уровень объединяет элементы нижестоящего и оказывает на них направляющее воздействие. В результате подчиненные члены иерархии обретают новые свойства, а возникшее целое приобретает свойство эмерджентности

Энтропийные закономерности

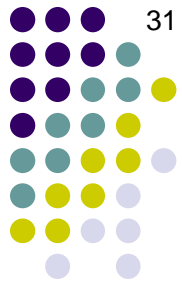
Энтропия — функция состояния термодинамической системы, характеризующая направленность тепловых процессов

- Изменение энтропии системы равно отношению приращения (уменьшения) количества теплоты к абсолютной температуре, при которой это приращение (уменьшение) происходит
- В системном анализе — *энтропия* — это количественная мера беспорядка в системе
- Между системой и окружающей средой происходит обмен веществом, энергией и информацией. Причиной обмена является неравновесное состояние системы по отношению к окружающей среде

Открытая система — это система, способная обмениваться с окружающей средой массой, энергией и информацией. Практически все реальные системы открытые

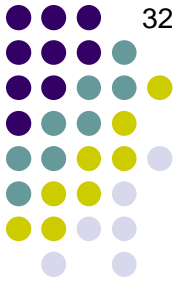
Закрытая (замкнутая) система — это абстрактная система, рассматриваемая изолированно от среды ее функционирования

Энтропийные закономерности



- Второй закон термодинамики — энтропия изолированной системы монотонно возрастает (не убывает) со временем вплоть до достижения максимального значения в конечном равновесном состоянии, при котором число допустимых состояний системы максимально
- Это означает, что любая изолированная система стремится достичь ситуации, соответствующей наибольшему беспорядку, то есть максимального значения энтропии
- В открытой системе возможно снижение энтропии со временем за счет внешнего вмешательства
- Управление призвано способствовать снижению энтропии — увеличению организованности (реинжиниринг бизнес-процессов, внедрение новых технологий, и т.п.)
- Увеличение организованности в управляемой системе происходит за счет увеличения энтропии в окружающей систему среде

Энтропийные закономерности



Принцип компенсации энтропии — энтропия открытой системы может быть уменьшена только за счет увеличения энтропии в других системах, взаимодействующих с данной

- Для уменьшения разнообразия (беспорядка) необходимо привнести в систему информацию (управляющее воздействие) — **негэнтропию**
- В соответствии с «законом необходимого разнообразия» У.Р.Эшби применительно к социально-экономическим системам — только разнообразие управленческих решений может подавить стремление системы к дезорганизованности (только разнообразие может уничтожить разнообразие). Это означает, что управляющая система должна иметь большее разнообразие (свободу выбора), чем объект управления

Закономерности развития



Жизненный цикл — это период времени от возникновения системы до ее ликвидации (возникновение, функционирование, развитие, уничтожение)

- При развитии со временем любая система претерпевает количественные и качественные изменения.

Рост — увеличение в числе и размерах

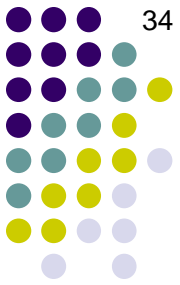
Развитие — это изменение процессов в системе во времени, выраженное в количественных, качественных и структурных преобразованиях от низшего (простого) к высшему (сложному)

- Причиной изменений системы является наличие **проблемы** или **противоречия**, которые порождают *кризис*. Если нет противоречий, то система остается неизменной

Кризис — (греч. krisis — решение, поворотный пункт, исход) — резкий, крутой перелом в чем-либо

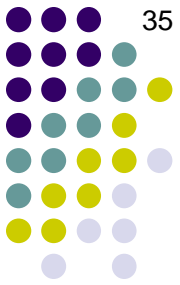
- Изменения направлены на ликвидацию противоречия. Бескризисного развития не существует

Закономерности неравномерного развития



Чем сложнее система, тем более неравномерно развиваются ее элементы. Развитие отдельных элементов может отставать от развития системы в целом. Это создает угрозу целостности системы и ее способности выполнять свои функции

Закономерность увеличения степени идеальности

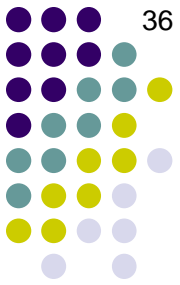


Развитие всех систем идет в направлении увеличения степени идеальности

Идеальная система — это система, у которой вес, объем, надежность и потребление ресурсов стремятся к нулю при сохранении возможности системы выполнять свои функции

- Идеальная система — это абстрактное, реально несуществующее понятие

Закономерность внутрисистемной и межсистемной конвергенции

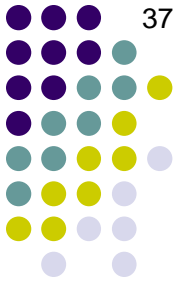


Конвергенция — сближение, взаимовлияние, взаимопроникновение между системами или различными элементами внутри одной системы.

- Конвергенция возникает:
 - При наличии общей среды обитания двух систем
 - При открытости систем и возможности среды влиять на внутренние структуры систем
 - При отсутствии противостояния между системами
 - При взаимном влиянии систем

Эвифинальность — способность системы достигать определенного состояния, которое не зависит от времени и начальных условий, а определяется только ее параметрами

Другие общесистемные закономерности



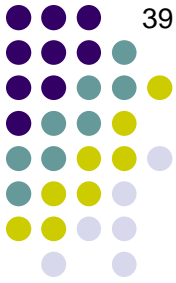
Полисистемность. Любой элемент окружающего мира принадлежит в качестве элемента одновременно многим системам. Поэтому элементам свойственны противоречия: каждая из систем стремится к своей цели и использует свой элемент в качестве средства

Противодействие системы внешнему возмущению. «Целое препятствует нарушению целостности»

Закономерность наиболее слабых мест. «Где тонко, там и рвется».

Закономерность «80/20» (принцип Парето). Меньшая часть элементов системы выполняет большую часть ее функций

Теория систем и системный анализ: классификация систем



Классификация систем

«У нас нет полной уверенности в том, что в области сложных задач реальный объект не может являться простейшим описанием самого себя, т.е. что всякая попытка описать его с помощью обычного словесного или формально-логического метода не приведет к чему-то более сложному, запутанному и трудновыполнимому...»

фон Нейман

Классификация систем

Классификация — это разделение объектов на классы по каким-либо существенным признакам

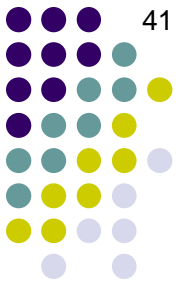
Классификация по происхождению

- Естественные системы — это системы, объективно существующие в живой и неживой природе
- Искусственные системы — это системы, созданные человеком

Классификация по наличию взаимодействия с внешним миром

- Открытые
- Закрытые

Классификация по объективности существования



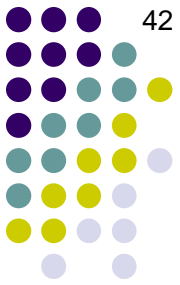
Реальные системы — системы из естественных и искусственных материальных объектов

- Технические, технологические
- Экономические, социальные
- Организационные, системы управления, эргатические

Абстрактные системы — модели реальных объектов (языки, гипотезы, понятия, алгоритмы, компьютерные программы, математические модели, системы наук)

- Идеальные (концептуальные) системы — системы, выражающие принципиальную идею или образцовую действительность
- Виртуальные системы — модельные или мыслительные представления реальных объектов, явлений, процессов

Классификация по объективности существования



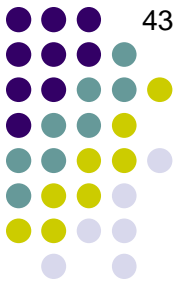
Экономическая система — это совокупность экономических отношений, возникающих в процессе производства, распределения, обмена и потребления экономических продуктов, регламентируемых совокупностью соответствующих принципов, правил и законодательных норм

Социальная система — это совокупность социальных явлений и процессов, которые находятся в отношениях и связи между собой и образуют некоторый социальный объект

Организационная система — это совокупность элементов, обеспечивающих координацию действий, нормальное функционирование и развитие основных функциональных элементов объекта. Элементы организационной системы: органы управления, обладающие правом принимать управленческие решения (руководители, подразделения, министерства и др.). Связи в организационной системе имеют информационную основу и определяются должностными инструкциями и другими нормативными документами, в которых прописаны права, обязанности и ответственность органа управления

Техническая система — это совокупность взаимосвязанных технических элементов. В качестве связей в технических системах выступают физические взаимодействия (механические, электромагнитные, гравитационные и др.).

Классификация по объективности существования



Система управления — это система, реализующая функции управления. Состав: управляемая подсистема (объект управления) и управляющая подсистема (осуществляющую функции управления)

В технических системах управляющая подсистема называется **системой регулирования**, а в социально-экономических — **системой организационного управления**

Централизованной системой называется система, в которой некоторый элемент (главный элемент) является доминирующим при функционировании системы

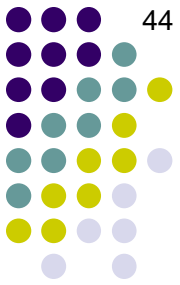
Децентрализованная система — это система, в которой нет главного элемента

Эргатическая система — это система, составным элементом которой является человек-оператор (шофер за рулем автомобиля, пилот в самолете). Эргатическая система является разновидностью системы управления

Формальная технологическая система — совокупность операций (процессов), направленных на достижение определенных целей. **Процесс** — это последовательная смена операций (действий), направленных на изменение состояния объекта

Материальная технологическая система — это совокупность реальных приборов, устройств, инструментов и материалов (техническое обеспечение системы), реализующих операции (процессное обеспечение системы) и определяющих их качество и длительность

Классификация по разнообразию структурных элементов



По разнородности элементов

- Гомогенные системы — структурные элементы однородны, обладают одинаковыми свойствами и взаимозаменяемы
- Гетерогенные системы — состоят из разнородных элементов, не обладающих свойством заменяемости

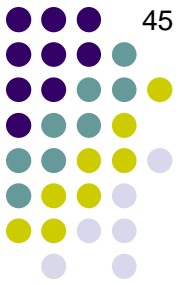
Линейность - нелинейность

- Система называется линейной, если она описывается линейными уравнениями. Реакция линейной системы на любую комбинацию внешних воздействий равна сумме реакций на каждое из этих воздействий, осуществленных порознь
- Большинство сложных систем являются нелинейными, но в целях упрощения их подвергают линеаризации в определенной области изменения ее параметров

По наличию у системы цели — казуальные и целенаправленные

- Казуальные системы — это системы, не имеющие внутренне присущей цели (большинство систем в неживой природе)
- Целенаправленные системы — это системы, способные к выбору своего поведения в зависимости от внутренне присущей цели

Классификация по разнообразию структурных элементов



По уровню организации

- Диффузные (случайные блуждания)
- Организованные (наличие структуры) и адаптивные (структура подстраивается под изменения вовне)

По количеству элементов и сложности взаимодействия между ними — простые и сложные

- Сложная система — это система, имеющая большое число разнообразных внутренних связей

По возможности наблюдения всей системы полностью — малые и большие

- Большая система — это система, имеющая большое число элементов

Классификация по уровню сложности

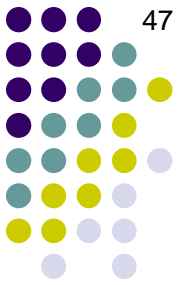
Неживые системы

- Статические структуры
- Простые динамические структуры с заданным законом поведения
- Кибернетические системы с управляемыми циклами обратной связи

Живые системы

- Открытые системы с самосохраняемой структурой
- Живые организмы с низкой способностью воспринимать информацию
- Живые организмы, не обладающие самосознанием
- Системы с самосознанием и мышлением
- Социальные системы (социальные организации)
- Трансцендентные системы, лежащие вне познания

Классификация систем по уровню сложности



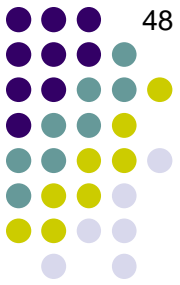
По наличию элемента случайности — детерминированные и недетерминированные

- **Детерминированная система** — это система, поведение которой может быть однозначно предсказано
- **Недетерминированная (стохастическая) система** — это система, поведение которой может быть предсказано только с определенной вероятностью
- Случайность — это цепь не выявленных закономерностей, скрытых за порогом нашего понимания

Самоорганизующаяся система — это система, обладающая следующими свойствами:

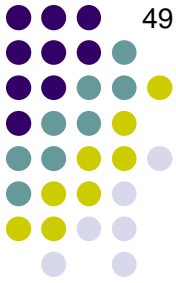
- Нестационарность (изменчивость) отдельных параметров;
- Непредсказуемость поведения;
- Способность изменять свою структуру и формировать варианты поведения, сохраняя целостность и основные свойства
- Способность противостоять разрушающим тенденциям
- Способность адаптироваться к изменяющимся условиям
- Способность к целеобразованию
- Неравновесность

Самоорганизация и адаптивные системы



- Самоорганизация означает, что система меняет свое поведение и состояние, в зависимости от изменений во внешнем мире, она адаптируется к изменениям, постоянно преобразуясь. Такие системы повсюду, практически любая социально-экономическая или биологическая, равно как комьюнити любого продукта, являются примерами адаптивных систем. Для того, чтобы система была способна к адаптивному поведению необходимо
- **Открытость.** Закрытая система не может адаптироваться по определению, поскольку она ничего не знает о внешнем мире.
- **Наличие положительных и отрицательных обратных связей.** Отрицательные обратные связи позволяют системе оставаться в выгодном состоянии, так как они уменьшают реакцию на внешний шум. Однако, адаптация невозможно и без положительных обратных связей, которые помогают системе переходить в новое лучшее состояние. Если говорить об организациях, то за отрицательные обратные связи отвечают процессы, тогда как за положительные — новые проекты.
- **Разнообразие элементов и связей между ними.** Эмпирически, увеличение разнообразия элементов и количества связей увеличивает количество хаоса в системе, поэтому любая адаптивная система должна обладать необходимым количеством и того и другого. Также разнообразие позволяет более гладко реагировать на изменения.

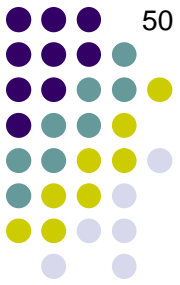
Сложные системы



- Сложность устройства (complicatedness)
- Сложность поведения

- Особенности сложных систем
 - Система большого порядка
 - Многозвенность
 - Взаимосвязанная структура цепей как положительной, так и отрицательной обратной связи
 - Нелинейность
 - Простые правила сложного поведения
 - Эффект бабочки или детерминированный хаос
 - Эмерджентность
 -

Особенности поведения сложных систем

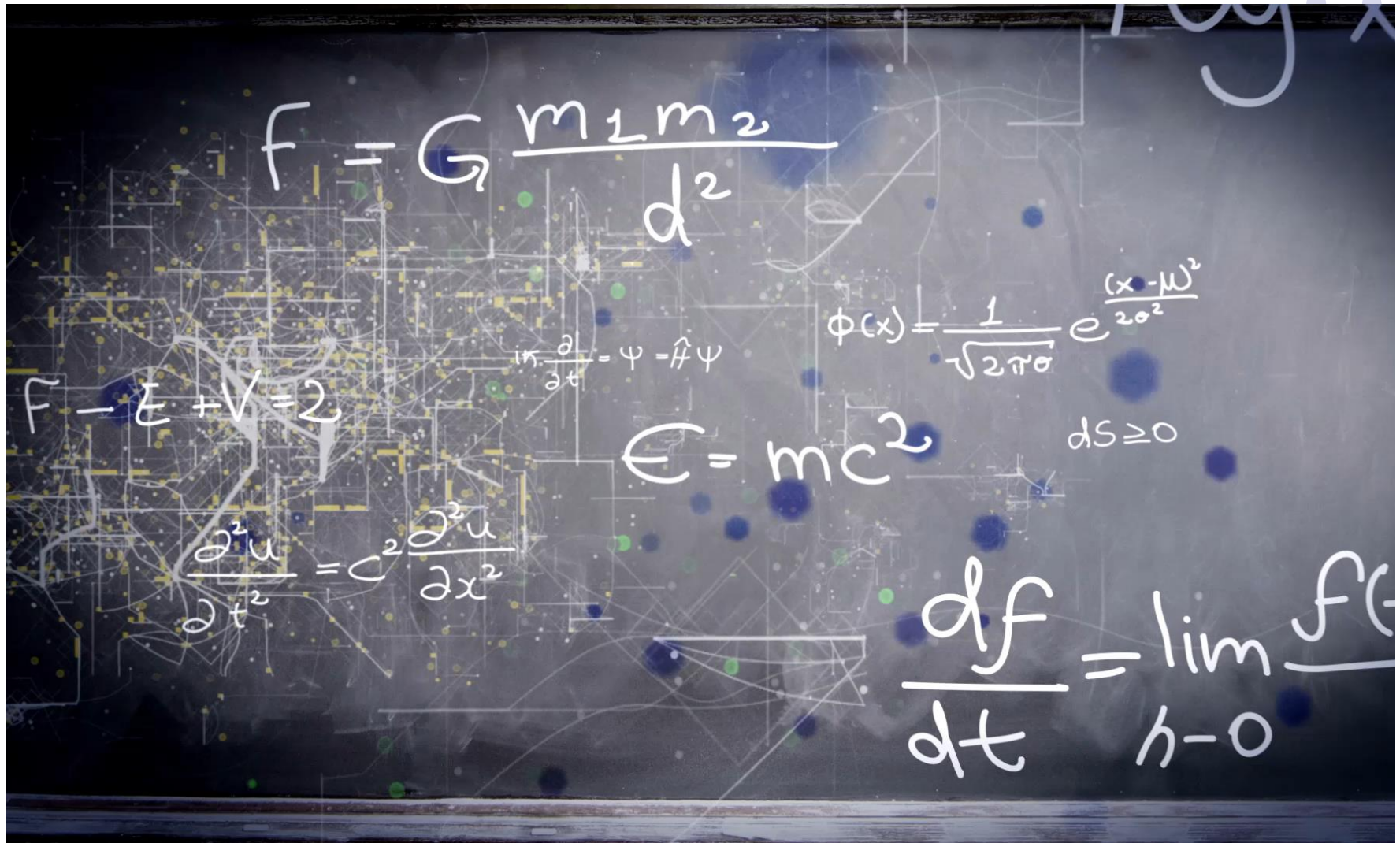


- Контринтуитивность
- Нечувствительность к изменениям многих параметров системы
- Резистентность к административным новшествам
- Управляются через точки влияния
- Нейтрализация корректирующих программ
- Соотношение долгосрочных и краткосрочных реакций
- Тенденция к ухудшению качества

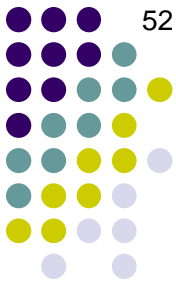
Практика. Линейные и нелинейные, стохастические и детерминированные, дискретные и непрерывные системы



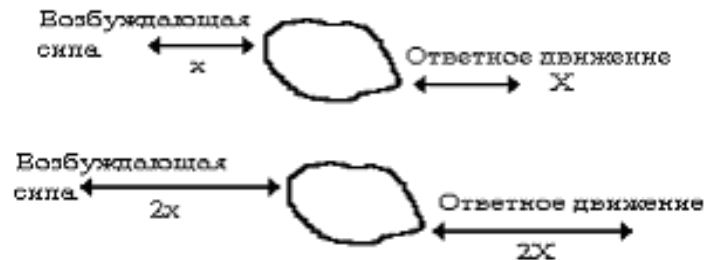
51



Линейные системы

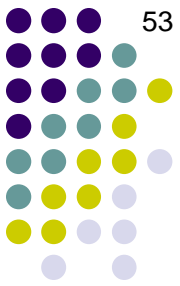


- Линейной называется система, которая описывается линейными уравнениями, т. е. имеет линейную математическую модель. В противном случае система является нелинейной. Чтобы система была нелинейной, достаточно иметь в ее составе хотя бы одно нелинейное звено, т. е. звено, описываемое нелинейным уравнением
- Систему называют линейной, если она удовлетворяет двум следующим критериям, которые называются принципом суперпозиции
 - Если вход x вызывает в системе выход X , то вход $2x$ даст выход $2X$

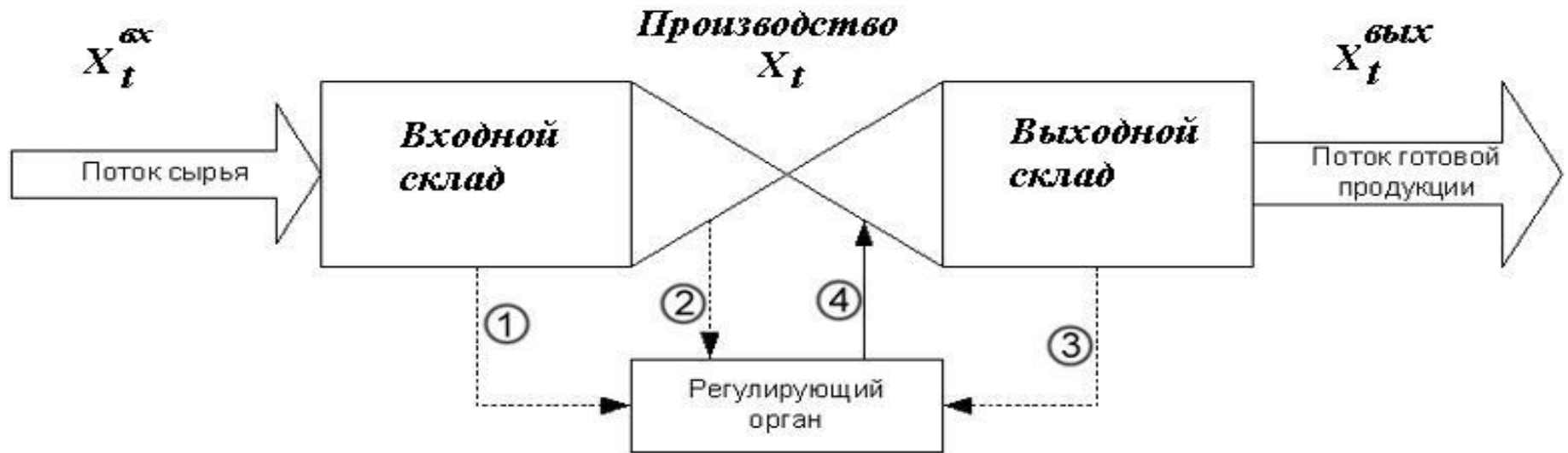


- Если вход x дает выход X , а вход y - выход Y , то вход $x+y$ даст выход $X+Y$. Линейная система обрабатывает два одновременных входных сигнала независимо друг от друга, причем они не взаимодействуют между собой внутри нее

Пример производственной линейной дискретно-детерминированной системы

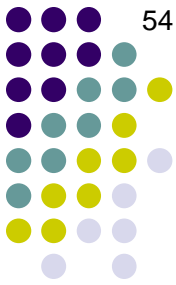


53



- Поток сырья состоит из металлических болванок, которые складываются на входном складе. Затем эти болванки поступают на производство, где из них производят какое - то изделие. Готовые изделия складываются на выходном складе, с которого их забирают для дальнейших действий с изделиями (передают на следующие фазы производства или на реализацию). В общем случае такая производственная система преобразует материальные потоки сырья, материалов и полуфабрикатов в поток готовой продукции

Способы управления



Способ 1. Регулирующий орган получает только информацию о состоянии входного склада (это может быть информация об изменении запасов на складе, либо об отклонении объема запасов от их нормативного уровня) и по ней судит о скорости протекания производственного процесса (это скорость изымания сырья со склада)

- 1) $(u_t^{sx} - u_{t-1}^{sx})$ – изменение уровня запасов на складе (u_t^{sx} – объем сырья на входном складе в момент времени t);
- 2) $(\bar{u} - u_t^{sx})$ – отклонение объема сырья на входном складе от нормы запасов.

Способ 2. Регулирующий орган получает информацию непосредственно с производства, x_t – фактическая интенсивность производства, и сравнивает ее с директивной интенсивностью $(d_t - x_t)$.

Способ 3. Регулирующий орган получает информацию, как и при способе 1, но с выходного склада в виде $(u_t^{syx} - u_{t-1}^{syx})$ или $(\bar{u} - u_t^{syx})$. Он так же судит о производственном процессе на основе косвенных данных - росте или уменьшении запасов готовой продукции.

Принятие решения

Чтобы поддержать заданную интенсивность выпуска продукции d_t , регулирующий орган принимает решения y_t (либо $(y_t - y_{t-1})$), нацеленные на изменение фактической интенсивности выпуска x_t . В качестве решения регулирующий орган сообщает производству значения интенсивности, с которой надо работать, т. е. $x_t = y_t$. Второй вариант управляющего решения - $(y_t - y_{t-1})$, т. е. регулирующий орган сообщает производству, на сколько нужно увеличить или уменьшить интенсивность производства $(x_t - x_{t-1})$.

В зависимости от способа получения информации и вида переменной, описывающей управляющее воздействие, на принятие решений могут влиять следующие величины:

- 1) База решения (величина, которой должна быть равна фактическая интенсивность производства, если бы не было бы отклонений):

директивная интенсивность выпуска в момент t - d_t ;

темп изменения директивной интенсивности выпуска в момент t - $(d_t - d_{t-1})$.

- 2) Величина отклонения:

отклонение фактического выпуска от директивного $(d_t - x_t)$;

отклонение фактического объема выпуска от планового объема выпуска

$$\left(\sum_{\tau=0}^t d_{\tau} - \sum_{\tau=0}^t x_{\tau} \right);$$

изменение уровня запасов на входном $(u_t^{ex} - u_{t-1}^{ex})$ или выходном $(u_t^{ex} - u_{t-1}^{ex})$ складах;

отклонение уровня запасов на входном $(\bar{u} - u_t^{ex})$ или выходном $(\bar{u} - u_t^{ex})$ складах от нормативного уровня;

Принятие решения

В общем случае управленческое решение, принимаемое регулирующим органом, состоят из следующих составляющих:

Управляющее решение	=	База решения	±	Доля рассогласования, используемая для регулирования ($\gamma, \gamma \in (0,1)$)	*	Величина рассогласования
---------------------	---	--------------	---	-------------------------------------------------------------------------------------	---	--------------------------

Примеры решений:

$$y_t = d_t + \gamma \cdot (d_{t-1} - x_{t-1})$$

$$y_t = d_t - \gamma \cdot (u_t^{\text{вых}} - u_{t-1}^{\text{вых}})$$

$$y_t = d_t - \gamma \cdot (\bar{u} - u_{t-2}^{\text{вх}})$$

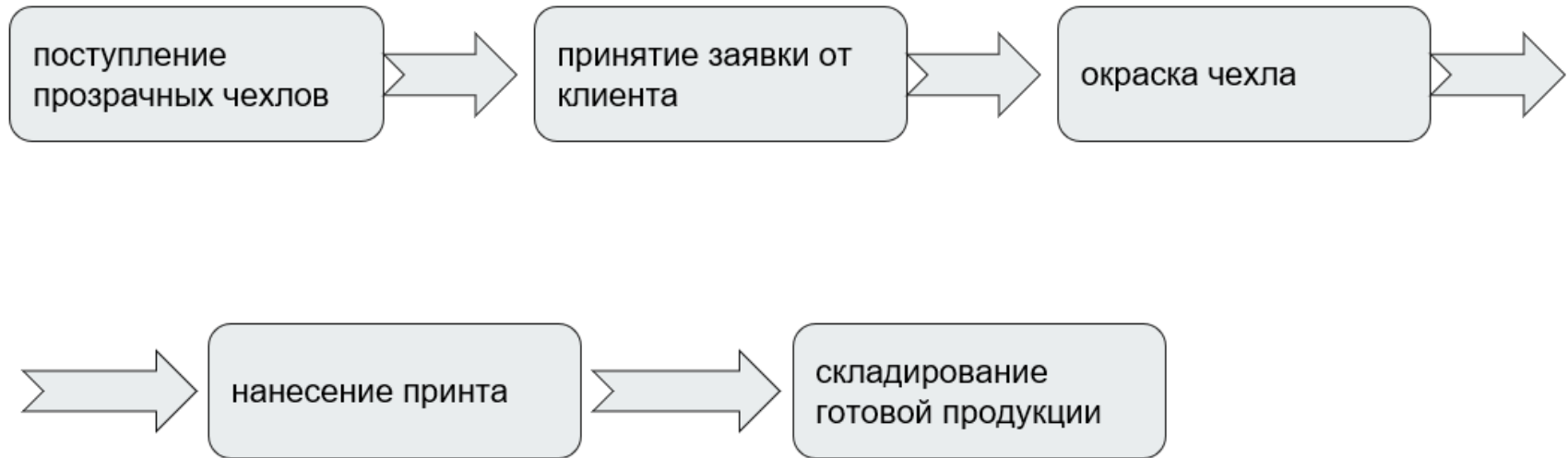
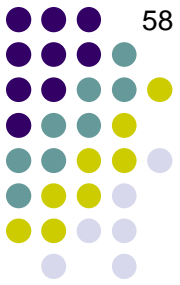
$$y_t - y_{t-1} = \gamma \cdot (u_t^{\text{вх}} - u_{t-1}^{\text{вх}})$$

Принимая различные по форме решения, регулирующий орган стремится достичь главную цель - приблизить фактическую интенсивность выпуска к директивной. Однако он не всегда может непосредственно ориентироваться в своих решениях на степень достижения этой цели ($d_t - x_t$). Конечные результаты могут выражаться в достижении локальных целей - стабилизации уровня запасов на входном или выходном складе ($u_t^{\text{вх}} - u_{t-1}^{\text{вх}}$), приближении уровня запасов на складе к нормативному ($\bar{u} - u_t^{\text{вх}}$). В зависимости от достигаемой цели, определяется вид знака (+ или -) в управляющем решении перед долей рассогласования, используемой для регулирования

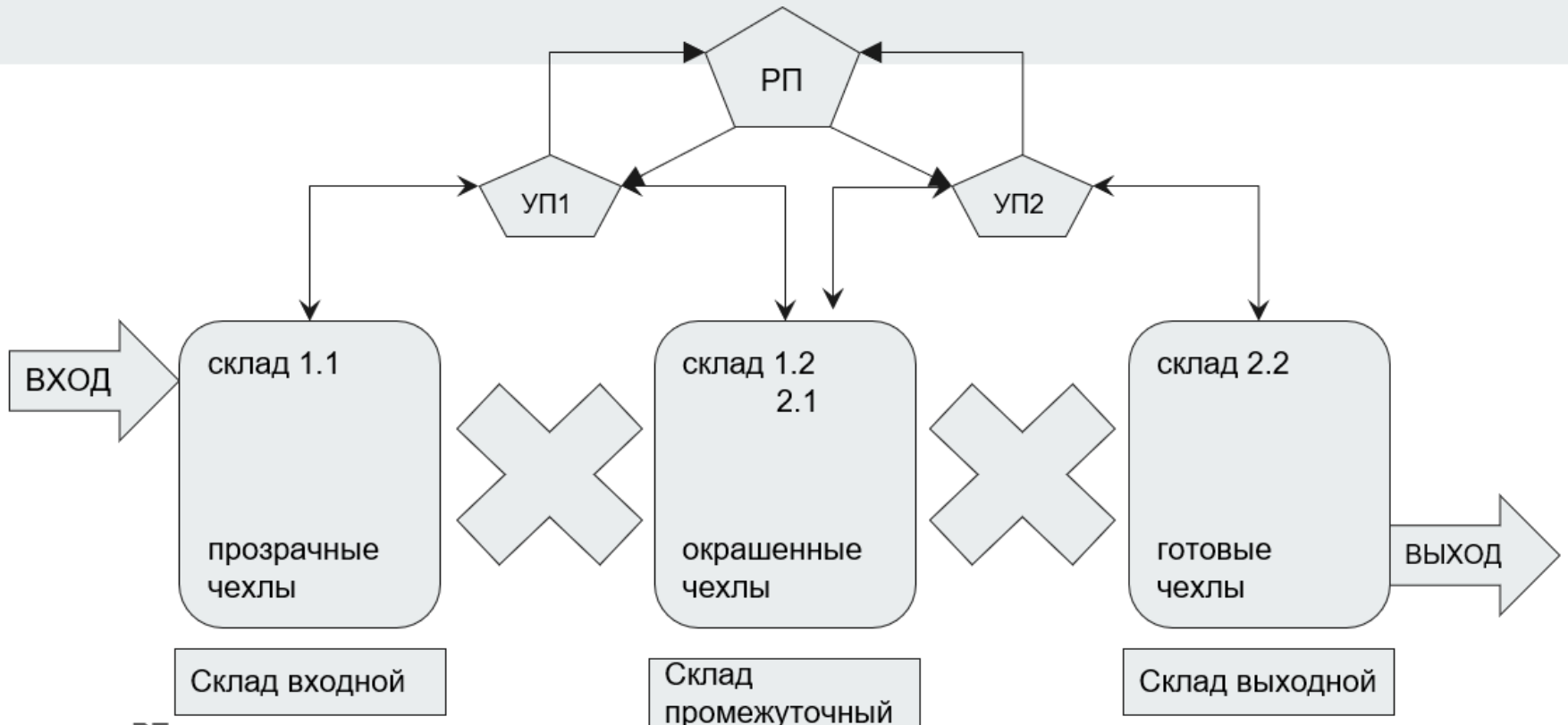
Производство чехлов для мобильных телефонов на заказ



Модель верхнего уровня бизнес-процесс производства чехлов



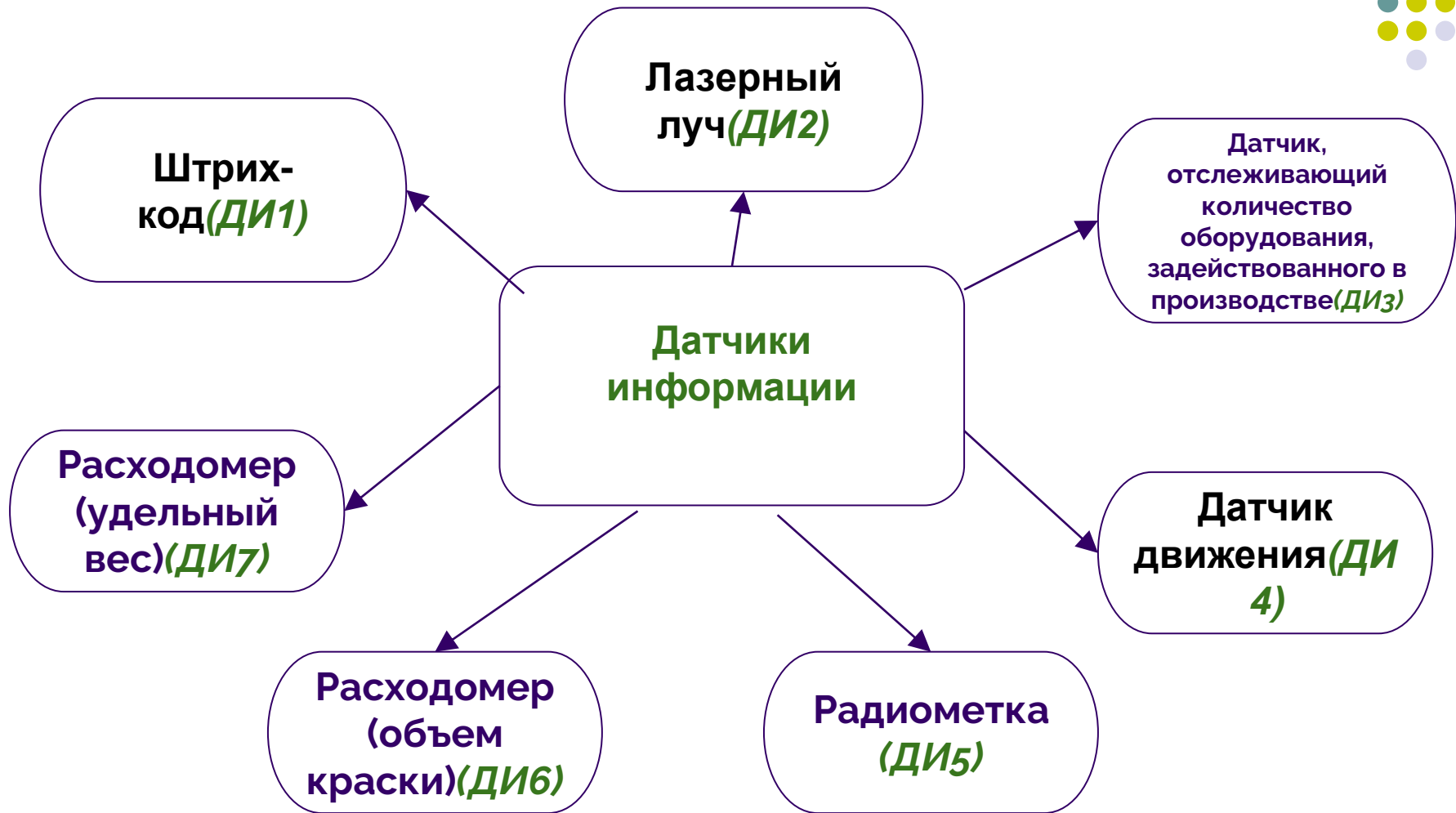
Модель производства



РП - руководитель производства

УП1 - управляющий первой фазой производства; УП2 - управляющий второй фазой производства

Применяемые датчики информации



Применяемые датчики информации



■ Штрих-код

- Штрих-код наносится на прозрачный чехол в соответствии с заказом, несет в себе информацию для производства(цвет,принт чехла).
- Дает информацию о цвете, принте будущего чехла; позволяет контролировать качество изготавливаемой продукции

■ Лазерный луч

- Фиксирует количество отправленных на производство прозрачных чехлов, установлен на выходе из входного склада
- Дает информацию о количестве чехлов в производстве.

■ Датчик, отслеживающий количество оборудования, задействованного в производстве

- Отслеживает количество машин, работающих в данный момент, т.е. различает работающее и неработающее оборудование и сообщает об этом
- Дает информацию о количестве работающих машин, следовательно и о количестве чехлов, находящихся в производстве

■ Датчик движения

- Фиксирует движение, работу оборудования.
- Дает информацию о том, идет ли процесс производства.

Применяемые датчики информации



■ Радиометка

- Прикрепляется к чехлу и отслеживает местоположение товара
- Дает информацию о нахождении товара в производстве

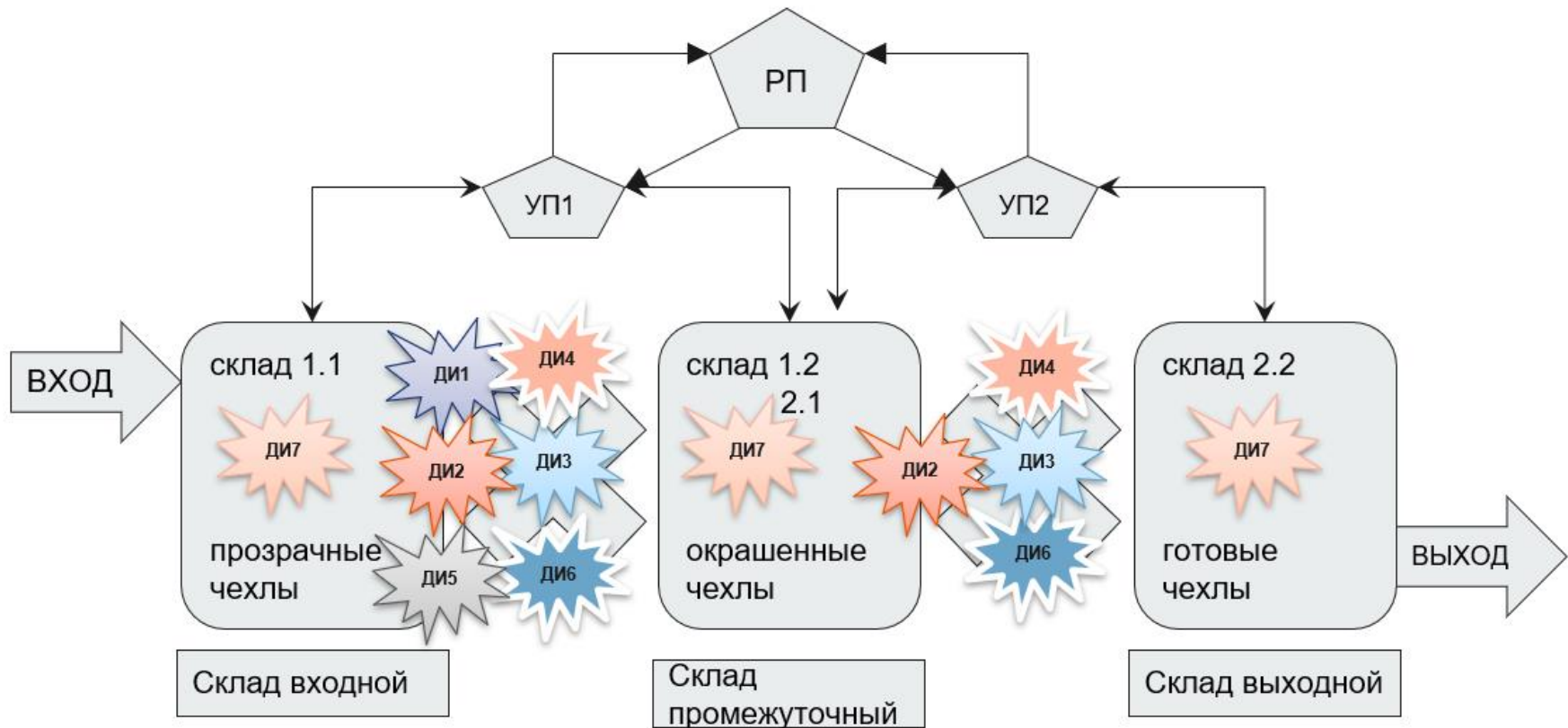
■ Расходомер (объем краски)

- Фиксирует объем краски в машинах, дает сигнал при необходимости пополнения краски.
- Дает информацию о количестве краски в производственных машинах

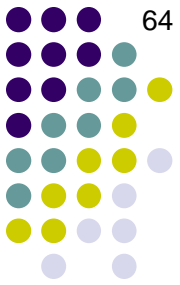
■ Расходомер (удельный вес)

- Определяет вес только поступивших в производство чехлов; определяет вес уже готовых чехлов, таким образом можно выявить количество товара, списанного на производстве.
- Дает информацию о количестве чехлов в производстве и на складах. Позволяет быстро выявить недостачу товара

Модель производства



Пример линейной дискретно-стохастической производственной системы



Шаг изменения времени $\Delta t=1$

Директивная интенсивность $d_t = a + b * t$

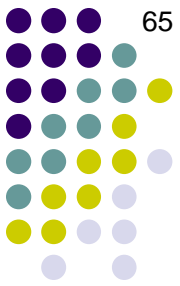
$$x_t^{ex} = d_t + \varepsilon_t^{ex},$$

ε_t^{ex} - равномерно распределенная случайная величина от -15 до +15.

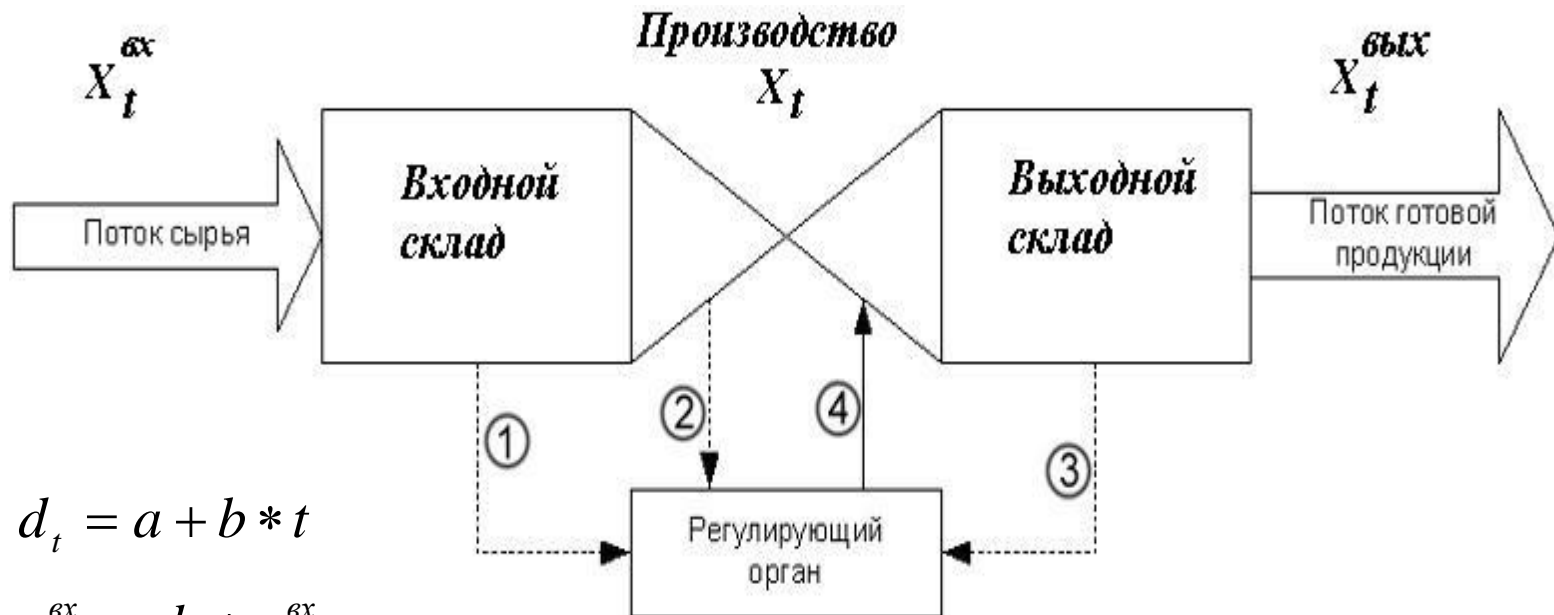
$$x_t^{bix} = d_t + \varepsilon_t^{bix},$$

ε_t^{bix} - нормально распределенная случайная величина с нулевым математическим ожиданием и дисперсией равной 15

Уравнения потоков линейной стохастической производственной системы



65



$$d_t = a + b * t$$

$$x_t^{вх} = d_t + \varepsilon_t^{вх},$$

$$x_t^{вых} = d_t + \varepsilon_t^{вых},$$

$$y_t = d_t + \gamma \cdot (u_{t-1}^{вх} - u_{t-2}^{вх})$$

$$x_t = y_{t-1} + \varepsilon_t$$

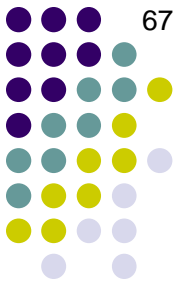
$$u_t^{вх} - u_{t-1}^{вх} = x_t^{вх} - x_t$$

Нелинейные системы



- Ни одна реальная система не является абсолютно линейной
- Существует большое разнообразие нелинейностей, которые в той или иной степени присутствуют в любой системе
- Рассматриваемые нами уравнения материального потока описывают линейную систему, в которой нет ограничений
- В реальности входной и выходной склады имеют ограниченную емкость. Максимально возможная производительность производственной фазы – это ее мощность. Нельзя выпустить продукции больше, чем мощность. Нельзя взять со склада больше, чем на нем есть. Нельзя положить на склад больше, чем там есть свободного места

Пример нелинейной дискретно-стохастической производственной системы



Рассмотренная выше модель не содержала ограничений на объемы складов и мощности производства. Если принять, что емкость входного склада равна V^{ex} , емкость выходного склада - V^{ex} , а мощность производства - M , то новая система уравнений для такой нелинейной производственной системы будет следующей:

$x_t^{ex} = \min((d_t + \varepsilon_t^{ex}), (V^{ex} - u_t^{ex}))$ - нельзя положить на входной склад больше, чем там есть свободного места.

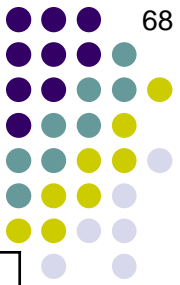
$x_t^{ex} = \min((d_t + \varepsilon_t^{ex}), u_t^{ex})$ - нельзя взять с выходного склада больше, чем там имеется изделий.

$$y_t = d_t + \gamma \cdot (u_{t-1}^{ex} - u_{t-2}^{ex})$$

$x_t = \min(u_t^{ex}, (y_{t-1} + \varepsilon_t), M, (V^{ex} - u_t^{ex}))$ - нельзя произвести больше, чем приказано, но и чем есть заготовок, и сколько есть свободного места на выходном складе.

$$u_t^{ex} - u_{t-1}^{ex} = x_t^{ex} - x_t$$

Непрерывно-детерминированная линейная система



Непрерывно-детерминированная линейная система	Дискретно - детерминированная линейная система
$T \frac{\partial}{\partial t} \alpha(t) + \alpha(t) = \beta(t)$	$\alpha_t = \beta_{t-k}$
$T_2 \frac{\partial}{\partial t} x(t) + x(t) = y(t)$	$x_t = y_{t-l}$

Апериодическое звено первого порядка

$T \frac{\partial}{\partial t} \alpha(t) + \alpha(t) = \beta(t)$, где $\alpha(t)$ запаздывает относительно $\beta(t)$ на величину $3T$

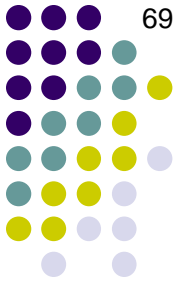
Запаздывание по выработке решения:

$$T_1 \frac{\partial}{\partial t} y(t) + y(t) = d(t) - \gamma \frac{\partial}{\partial t} U_{\text{вых}}(t), \quad T_1 = 0,333$$

Запаздывание по реализации решения:

$$T_2 \frac{\partial}{\partial t} x(t) + x(t) = y(t)$$

Курсовое задание



- **Первая часть задания.** Придумать примеры к определениям, и закономерностям, связанным с теорией систем
- **Вторая часть задания** – классификация систем. Для задания мы использовали следующие признаки: линейные – нелинейные, стохастические – детерминированные, дискретные – непрерывные. Задача привести примеры и построить для них уравнения интенсивностей материальных потоков, описанных в раздаточном материале:
 - Для линейной детерминированной дискретной системы
 - Для линейной детерминированной непрерывной системы
 - Для нелинейной стохастической дискретной системы
- **Третья часть задания.....**