

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

# ВЕСТНИК

Санкт-Петербургского  
государственного университета  
технологии и дизайна



**Серия 1**

Естественные  
и технические науки

**№ 1/2022**

**РАЗВИТИЕ АСУ ТП НА ОСНОВЕ ЗАКОНОВ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

© Горобченко С. Л., Ковалёв Д. А., 2022

Хотя автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) и являются техническими системами, однако с приложением законов развития технических систем (ЗРТС) к ним выявляются некоторые особенности. Среди них одно из важных мест занимают необходимость комплексного подхода к разнообразным подсистемам АСУ ТП и большая доля «виртуальности» подсистем в АСУ ТП. Статья посвящена раскрытию вопросов применения ЗРТС в АСУ ТП и путей развития АСУ ТП на их основе.

**Ключевые слова:** АСУ ТП, технические системы (ТС), законы развития технических систем (ЗРТС), отличие АСУ ТП от технической системы, комплексный подход, математические эффекты, ресурсы АСУ ТП, специфика действия ЗРТС в АСУ ТП, адаптированные линии эволюции АСУ ТП, моделирование развития АСУ ТП.

Автоматизированные системы управления техническими системами (АСУ ТП) по праву можно назвать представителями технических систем, в которых единство и синергия элементов должны давать многочисленные новые эффекты поведения систем. Они достаточно изучены с точки зрения развития их как предметной области (дисциплина Автоматизация и управление технологическими процессами), однако понимание их системной составляющей оставляет желать лучшего. Во многом это связано с тем, что АСУ ТП объединяет в себе многочисленные и разнообразные подсистемы, вносящие весьма различный вклад в становление и развитие системы в целом.

Исследованию вопроса о том, насколько законы развития технических систем (ЗРТС) проявляются в АСУ ТП, в чем их специфика и какие новые «ходы» могли бы быть получены при тщательном анализе их влияния на АСУ ТП, посвящена эта статья. Мы рассмотрим особенности логики формирования и создания АСУ ТП, сравним их с логикой развития обычных «железных» технических систем, выявим сходства и различия в формировании ТС и ТС «АСУ» и попытаемся найти новые следствия из общих законов развития ТС, которые будут специфичны для АСУ ТП.

Проектирование автоматизированных систем и создание АСУ ТП проходит несколько основных стадий:

- Исследование объекта управления и его описание
- Формирование принципиальной структурной схемы
- Формирование алгоритмической схемы
- Предварительный выбор технических средств автоматизации
- Формирование функциональной схемы автоматизации
- Формирование технической структуры и окончательный выбор технических средств автоматизации.

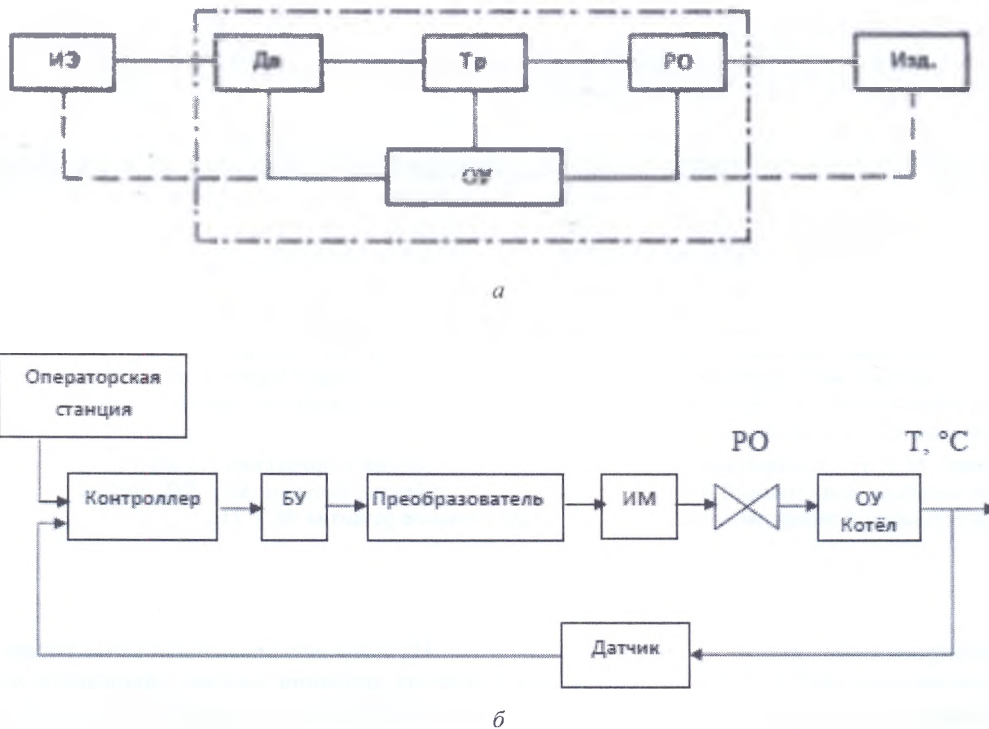
На этапе исследования объекта управления и проведения описания системы происходит перевод в семантические, ориентированные на язык АСУ, словесные описания и коды, устанавливаются основные элементы и точки входа, где будущая система управления связывается с технологическим оборудованием и технологической схемой. Результатом ее становится таблица сигналов и точек измерений, которые должны будут повышать отклик технической системы и свидетельствовать о ее хорошем «самочувствии».

Семантически правильное описание технической системы становится основой для выделения из нее будущей структуры и создания структурной схемы автоматизации на основе принципиальной схемы автоматизации. Сравнивая ее с принятым трактованием технической системы, нельзя не заметить определенного сходства, рис. 1.

Подобным образом проводится структурное, функциональное описание и создание алгоритмических схем и функциональных схем автоматизации. Работы по созданию АСУ ТП завершаются окончательным выбором комплекса технических средств автоматизации. Для обеспечения работы АСУ ТП требуется обеспечение:

- Общесистемное,
- Организационное и кадровое
- Информационное
- Программно-алгоритмическое и математическое
- Техническое.
- Дополнительные виды обеспечения, включая метрологическое, лингвистическое, эргономическое и пр.

Все виды обеспечения АСУ ТП связаны и взаимодействуют между собой. Их влияние на работу системы в целом переплетается сложным образом. Это взаимодействие не является простым механическим взаимодействием, поскольку в основном мы имеем взаимодействие между собой виртуальных подсистем, обслуживающих АСУ ТП. Ошибки в их



**Рис. 1.** Принципиальная схема а) технической системы по [1]: ИЭ — источник энергии; Дв — Двигатель; Тр — трансмиссия; РО — рабочий орган; Изд. — Изделие; ОУ — орган управления. б) контура регулирования (Пример котла) Бу — устройство преобразования; ИМ — исполнительный механизм; РО — Регулирующий орган; ОУ — Объект управления.

взаимодействии часто неопределимы, малопонятны и не определяются простыми способами линейного подхода к причинно-следственному анализу.

Хотя система управления косвенно входит в простейшую принципиальную схему технической системы, она может быть рассмотрена отдельно как самостоятельная техническая система, целью которой является управление. В этом проявляется ее двойственность. Система управления является и частью общей технической системы, и в то же время является самодостаточной системой. Поэтому она, с одной стороны, является значимой частью ТС, связанной со всеми ее подсистемами, и в то же время обладает относительной свободой. Ее минимальной задачей является обеспечение согласования и работоспособности всех подсистем ТС.

Если с таким видом ее обеспечения как техническое более или менее все понятно, поскольку, все, что описано в «металле», достаточно просто ложится в поле системного анализа обычных механических систем, то, если иметь в виду другие виды обеспечения АСУ ТП, ясность начинает исчезать. До сих пор идут споры о том, насколько идеи, пришедшие из анализа патентов машинных систем, могут восприниматься виртуальной частью АСУ ТП.

Эта «виртуальная» часть в большей степени связана с информационным, программным, алгоритмическим, математическим, лингвистическим и другими видами обеспечения, значительно удаленными от простой схемы, описываемой ТС.

Некоторые работы и даже учебники [2] показали возможности применимости приемов и соответствие проявления ЗРТС в виртуальных системах. В свое время Г. С. Альтшуллер, пользуясь объективностью проявления законов развития и диалектики во всех материальных и нематериальных системах, также указал на то, что схемы, характерные, например, для радиотехники, будут также развиваться по аналогичным законам развития технических систем [3].

Пользуясь основными положениями, изложенными в работе Альтшуллера Г. С. как базой для исследования, можно попытаться найти специфику их проявления и удостовериться в том, какие законы и каким образом будут наиболее ярко проявляться в АСУ ТП. Базовые отношения схем АСУ ТП и ТС, как мы видели из сравнения принципиальных схем автоматизации и ТС, весьма близки.

Некоторые закономерности нахождения ресурсной базы АСУ ТП ясны, если заглянуть вглубь используемого обеспечения АСУ ТП. В частности, если мы не говорим о физических системах и явлениях на их основе, характерных для их использования в техническом обеспечении АСУ ТП, то одним из главных ресурсов становится математическое обеспечение. В свою очередь, оно является основой для алгоритмического и программного обеспечения. С привлечением компьютерной лингвистики, семантики, семиотики, их математической символизации и обработки можно будет использовать их для повышения ресурсоотдачи при создании АСУ ТП.



Таблица 1. Математические эффекты [4]

№	Объект	Условие	Преобразование	Свойства	Применение
1	Случайная выборка $X_0 = (x_1, x_2, \dots, x_n)$	Независимость и стационарность выборки	Переход к вектору рангов $R_0 = (R_1, R_2, \dots, R_n)$	Равновероятность ранговых векторов, статистическая связь между $R_i$ и $X_i$	Проверка статистических гипотез, обработка сигналов
2	Тот же	То же	Упорядочение элементов $X_i$ по величине	Сходимость $R$ -г порядковой статистики к квантилю уровня $R/(n+1)$	Конструирование асимптотически оптимальных ранговых гипотез
3	Вектор рангов $R_n = (R_1, R_2, \dots, R_n)$	То же	Алгоритм $(R_n) C$	Постоянство ошибки первого рода (ложных тревог) для любых непрерывных законов распределения помехи	Конструирование ранговых алгоритмов сигналов
4	Числа $a, b$	Сумма $a+b$ постоянна	Умножение $ab$	Максимум произведения $ab$ достигается при $a=b$	Используется в ранговых корреляторах
5	Ранговая статистика $T = T(R_n)$	Аддитивный характер статистики $n=1$	Вычисление перемешанного алгоритма	Снижение числа операций сравнения при небольшой потере эффективности	Обработка сигналов при больших $n$
6	То же	$t=1$	Вычисление рангов для элементов $X_i$ , превысивших заданный порог	Снижение числа операций за счет уменьшения размера выборки	То же
7	То же	$n=1$	Последовательный алгоритм	Снижение числа операций	То же

Главные возможности поиска ресурсов для развития АСУ ТП лежат в продвижении не только математики как таковой, математического анализа и пр., но в основном в поле теории автоматического управления (ТАУ). Именно в ее развитии приходится искать большее число эффектов, лежащих в основе формирования алгоритмического обеспечения систем управления и АСУ ТП.

Под математическим эффектом, следуя [4], назовем математические преобразования, где математические факты представлены в виде элементарной структуры «объект — условие — преобразование — новое свойство». Некоторый ряд математических эффектов, которые используются для реализации законов управления и статистической обработки сигналов, приведен ниже, табл. 1.

Основными функциями, которые необходимо рассматривать при анализе систем управления, являются базовые функции и уравнения преобразования Лапласа. Поиск новых решений в этих преобразованиях, по сути, дает новые толчки или решает новые задачи по повышению устойчивости, снижению нежелательных эффектов при регулировании, управлении и пр.

В целом, эти вопросы сейчас решаются за счет использования усложненных схем управления. Например, сложные задачи решаются за счет ввода новых математических описаний, формирования эталонов, включения моделирования совместно с регулированием и пр. Другим, пока еще недостаточно развитым и используемым источником полезных эффектов для применения в системах управления, являются банки алгоритмов и программ, формируемых для обслуживания определенных потребителей [6].

Среди основных законов развития технических систем в АСУ можно выделить несколько наиболее сильных, наиболее часто проявляющихся в развитии АСУ ТП. В частности, сами системы АСУ родились тогда, когда невозможно было использовать доступный до этого ресурс — человека. Некоторые примеры действия законов в порядке их приоритетности показаны ниже.

1. Вытеснение человека из системы. Вытеснение человека из различных уровней технической системы стало главным в развитии АСУ ТП. Хорошо известным фактом является то, что если в середине прошлого века на долю человека приходилось только 20% ошибок в работе систем управления, то в настоящее время их количество оценивается в 80%. Достижения в автоматизации сумели снизить количество ошибок технической системы настолько, что начали явно высвечиваться ошибки персонала. В настоящее время этот закон действует уже не только на исполнительском уровне, но в основном он переместился на уровень информационный и даже интеллектуальный. Сейчас его действие все больше захватывает новые области вытеснения человека из системы, в частности подсистема искусственного интеллекта АСУ начинают полностью вытеснять человека из диспетчеризации и даже экспертизы поведения процесса.

2. Повышение идеальности системы. Закон повышения идеальности управления и регулирования, снижение негативных явлений в процессе регулирования является одним из важнейших законов. В частности, движение идет по линии устранения негативных эффектов, при этом усиливаются тенденции к работе над уменьшением перерегулирования, времени переходного процесса, снижения установившегося отклонения, динамической ошибки и пр. Разрабатываемые алгоритмы посвящены в основном им.

3. Повышение динамичности и управляемости. Закон прямо призывает динамично устранять проблемы регулирования и повышать управляемость системы. Переход к росту динамичности и управляемости происходит через алгоритмы автоматического регулирования, (автоматы), повышение их адаптивности, перехода к самонастраивающимся системам, в т. ч. с применением нейросетей.

4. Согласование-рассогласование технической систем. Особенность проявления этого закона в системах управления заключается в том, что практически одновременно работа всех подсистем должна согласовываться между собой. В противном случае система

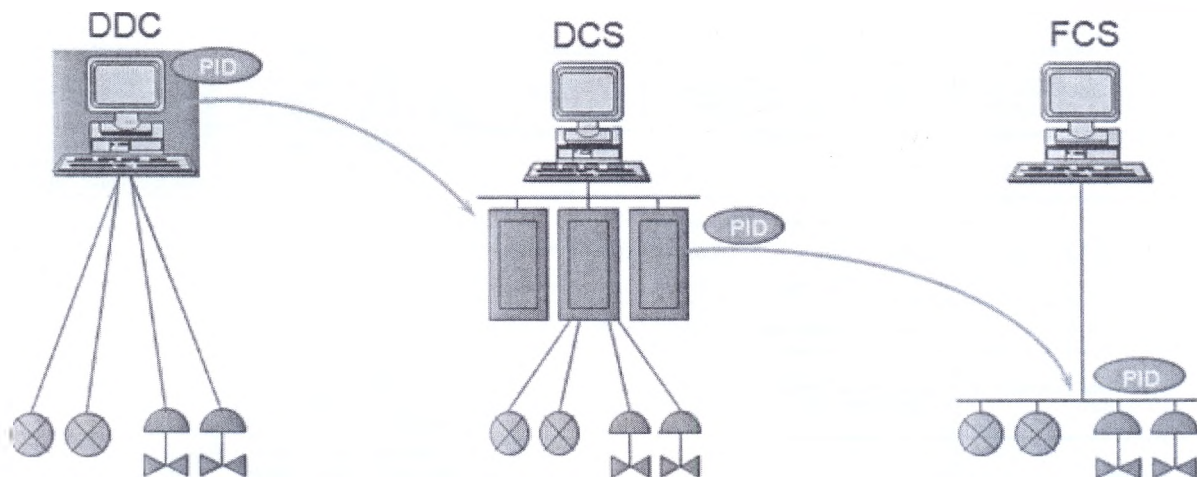


Рис. 2. Закон перехода на микроуровень в АСУ ТП. DDC—Direct Digital Control; DCS — Distributed Control System; FCS — Field Control System

ности не сможет работать. Это связано с тем, что процессы регулирования, как правило, очень быстры, а сама система управления должна работать в непрерывном режиме с минимальным количеством ошибок между своими подсистемами. Закон особенно важен при развитии АСУ ТП, поскольку рассогласованность в работе подсистем приводит к мгновенным ошибкам, сбоям, потерям данных, сбоям и, в конечном итоге, к выводу системы управления из строя.

5. Дробление технической системы. Закономерность проявляется через специализацию контуров, повышение новых функций, насыщение новыми функциями старых элементов. В этом плане это не совсем известное дробление элементов, часто указываемое в учебниках по техническим системам, например [1]. Здесь речь скорее всего идет о схемном дроблении, когда на схеме (схемном поле — PID диаграмме) одновременно появляются множество новых циклов, контуров регулирования, новых связей и пр.

6. Переход в надсистему. Управляющие функции верхнего уровня начинают проникать на нижние уровни и воздействовать на них, существенно насыщая их датчиками и изменяя их как конструктивно, так и информационно. Но есть и обратные «толчки». Как только многие функции передаются на микроуровень, являвшиеся обычными для централизованных систем управления, то начинает происходить и обратное движение. Так, выделение области облачных вычислений, хранение и обработка информации осуществляется на более высоком «вычислительном» уровне облачных вычислений, вне локальных устройств, которым ранее передавались функции от централизованных систем.

7. Переход на микроуровень. Особенность действия этого закона в АСУ ТП проявляется в том, что здесь происходит одновременное воздействие этого закона на несколько уровней, как показано на рис. 2.

Основной тенденцией является перевод ПИД-регулятора с уровня централизованной системы на микроуровень — в свои подсистемы — в регулирующий

клапан. Одновременно происходит замена аналоговых сетей на цифровые.

Можно обратить внимание, что закон перехода в надсистему и закон перехода на микроуровень в АСУ ТП проявляются как парные законы. В указанном переходе на микроуровень ПИД-регулятор своим движением вызывает перестройку всей системы. В частности, наиболее характерная примета сегодняшнего времени — перевод ПИД-регуляторов с уровня централизованной системы управления сначала к распределенной системе управления (DCS) и далее к полевой системе управления (FCS). При этом на верхнем уровне появляются доселе невиданные функции, такие как обработка больших баз данных и облачные вычисления. Подавляющее действие надсистемы в этом случае заключается в том, что рост ее вычислительной мощности позволяет передать ряд функций сначала распределенным устройствам, а затем, с повышением пропускной способности и защищенности сетей, передать ее и на нижние уровни.

8. Свертывание-развертывание системы. Закон во многом повторяет развитие схемных решений. Вслед за повышением количества технологических циклов в схеме увеличивается и количество обслуживающих их контуров регулирования. С достижением определенного усложнения технологических схем начинает происходить свертывание. Оно происходит через приобретение multifunctionality, начиная с верхнего уровня, где проще всего провести свертывание информационных подсистем, а на нижнем уровне с применением цифровых промышленных сетей, позволяющих одновременно проводить сигналы как в обе стороны, так и одновременно от разных устройств. На среднем уровне рост вычислительной мощности ПЛК (программируемых логических контроллеров) позволил в значительной степени взять на себя обслуживание сразу нескольких контуров регулирования (исполнительных устройств, датчиков, исполнительных механизмов и регулирующих органов). Переход к управлению на уровне ПЛК позволил



снизить зависимость системы в целом от помех и соответствующих погрешностей в процессе передачи сигналов по многочисленным линиям КИП. ПЛК приблизились к источникам управления и тем самым уменьшили «транспортную» составляющую погрешности регулирования.

Специфика действий законов по сравнению с «железными» техническими системами заключается в следующем:

— Большие по сравнению с другими типами «железных» систем эмерджентность, синергетичность и порождение сверх эффектов.

— Большая функциональность и возможность направления большинства элементов на обеспечение главной полезной функции, чему содействует четыре главные функции САУ (контроль, регулирование, защита, блокировки).

— Одновременное действие комплекса законов.

— Охват всей структуры системы.

— Быстрое согласование между подсистемами как единым целым иначе система не работает.

— Переходы «туда и обратно». Пример: переход в надсистемы и переход на микроуровень — две стороны одного закона. То, что система может развиваться сразу в двух взаимопротивоположных направлениях, отмечено еще в книге [1], рис. 3.

Обратим внимание также на то, что эти процессы ложатся на большинство законов: дробления-объединения, S-образного развития систем, свертывания-развертывания. Практически, это все законы, отвечающие за изменение структуры системы. Законы кинематики и динамики, отражающие в целом только формирование структуры системы, в данном случае не учтены. Можно также сказать, что развитие АСУ ТП хорошо ложится на известную общую схему развития ТС по [1].

Но есть и отличия. В связи с виртуальностью многих элементов АСУ она, по нашему мнению, не будет свертываться в идеальное вещество, как это предсказывается ЗРТС, например, в [1]. Ее главной направленностью будет свертывание в программируемые модели и алгоритмы, заменяющие даже датчики и элементы обработки информации.

Хорошо вписывается в развитие АСУ и закон повышения вепольности, точнее элепольности [2]. Аналогичный по своей структуре контурам регулирования, вепользация в схемах АСУ является важной частью развития АСУ ТП. При этом основные методы вепольных (элепольных) преобразований могут быть связаны в основном с установлением новых связей, а в качестве закономерностей используются математические эффекты и информационные поля (например, матрицы, векторные поля, определяемые в ТАУ как пространства состояний).

Значительно большая направленность на функциональность системы еще одна особенность АСУ ТП. Так, АСУ ТП может быть представлена как система функциональных задач.

Одним из следствий парности законов может стать переход от централизованной к сетевой (ретикулярной)

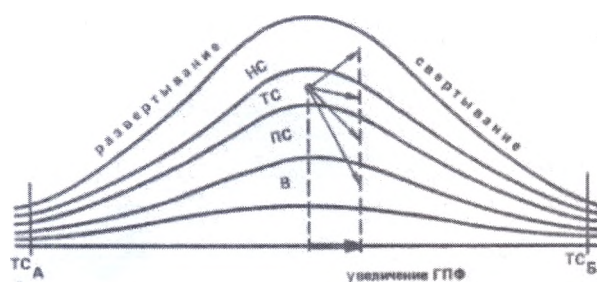


Рис. 3. Направленность изменения движения системы, как в сторону НС, так и ПС [1]

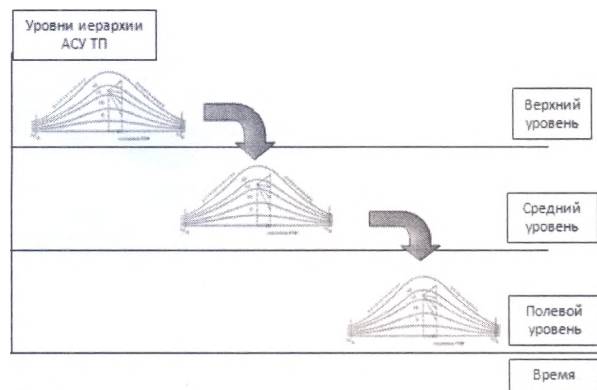


Рис. 4. Закономерности перехода системных преобразований и использования решений по уровням иерархической структуры АСУ ТП

структуре. Происходит развертывание системы от централизованной к полностью развернутой и далее будет происходить обратное свертывание в рабочий орган, когда вся система переформируется в сеть. В АСУ ТП это один из весьма вероятных исходов достижения максимальной самоорганизованности системы, когда она представляет собой полностью децентрализованную и становится сообществом самоорганизующихся сетей ПЛК и даже интеллектуальных регулирующих органов.

В случае АСУ ТП непрерывных процессов ими вполне могут быть регулирующие клапаны, приобретающие черты интеллектуальной мини и микро автоматической системы. Например, будущий регулирующий клапан представляется как элемент трубопроводной системы, являющийся умным веществом, в котором свернуты датчики и исполнительный механизм. Пути к этому уже намечены. К примеру, металлические пластины с эффектом памяти формы вполне могут заменить сложные и габаритные пневмоприводы или электроприводы [7].

Еще одним следствием является продвижение по этапам развития законов технических систем по всем отдельным иерархическим слоям технической структуры АСУ ТП, рис. 4.

В этом случае достижение конечного состояния полной «самозацикленности» слоя выводит его параметры на средний и далее на полевой уровень, реализуя

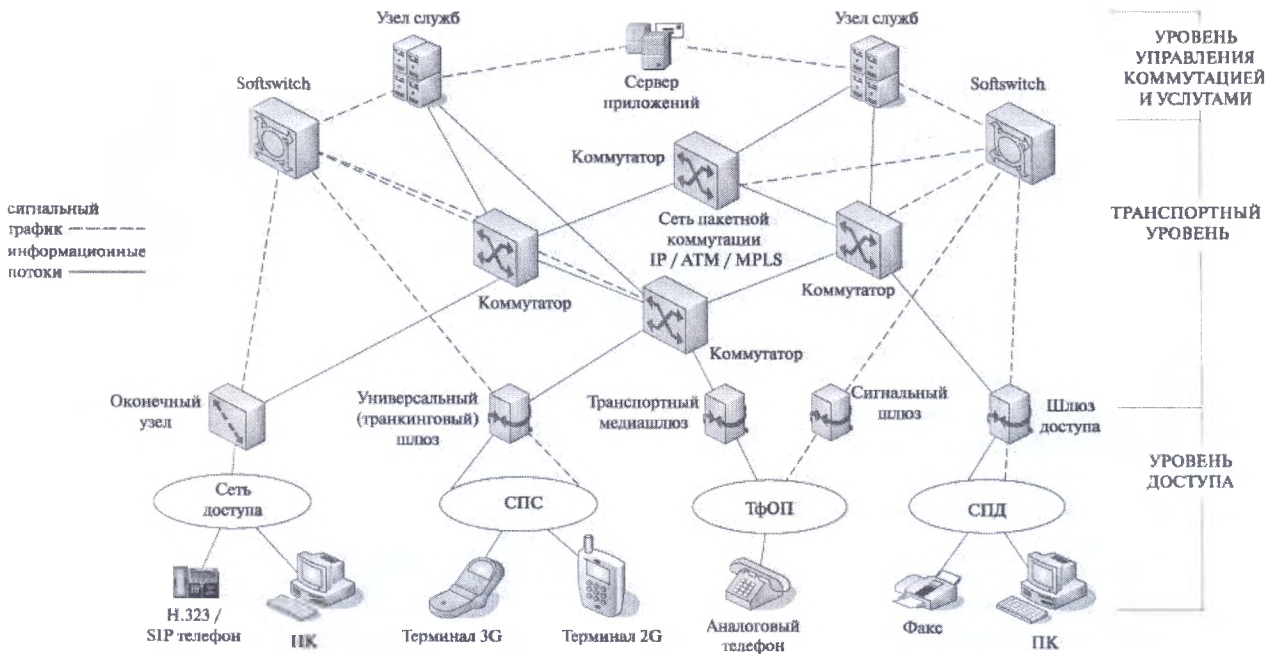


Рис. 5. Сетевая структура взаимодействия исполнительных устройств (на примере системы коммутации)

закон перехода на микроуровень. Также следствием законов для таких закрытых систем как АСУ может являться цикличность и появление на низких уровнях элементов систем, ранее принадлежавших более высоким уровням.

Закон перехода в надсистему имеет свои особенности в проявлении в АСУ ТП. В частности, система «отпочковывается» от себя новые надсистемные образования, а потом сама встраивается в общую систему, где новый элемент становится надсистемным над материнскими. Каждый слой иерархической структуры обособляется и получает свои внутренние дополнительные элементы, характерные для системы в целом. В частности, появляются отдельные управляющие, информационные функции, свои виды обеспечения и технические средства автоматизации.

Этот ряд может быть продолжен, поскольку он выводит более частные законы развития АСУ ТП из более общих законов развития технических систем. За основу могут быть приняты уже имеющиеся сетевые системы на информационном или верхнем уровне АСУ ТП, рис. 5.

К сожалению, ЗРТС дают только очень общие указания на то, как будет развиваться система. Их сложно применить к системам управления и автоматизации. В частности, линия развития по повышению управляемости уже давно преодолена, и она может быть расширена до тех высот, которые достигли нынешние системы, в частности, на основе искусственного интеллекта. Речь в большей степени уже пойдет не о повышении управляемости, а об использовании новых алгоритмов обработки информации в рамках общей интеллектуализации управления.

Не только бионическое направление, напрямую связанное с аналогией с интеллектом человека, но и эвристическое направление через нахождение эвристи-

ческих алгоритмов должно стать следующей частью повышения линии развития управляемости. Новая линия управляемости АСУ могла бы быть выделена из общей линии динамичности и управляемости в отдельную, и ее схема могла бы выглядеть следующим образом, рис. 6.

Аналогично линии повышения управляемости могут быть рассмотрены и линии вытеснения человека из системы. В частности, в этой линии нужно отметить вытеснение человека не только с информационного уровня, но и с интеллектуального. Хорошей иллюстрацией этому является то, что чемпион мира по игре Го сдался машине, которая еще в начале партии сыграла ход, который реализовался только на 100-м ходу и привел к победе компьютера. Отметим, что игра Го считается более многовариантной по сравнению с шахматами.

Учитывая, что органы управления входят практически во все ЗРТС, можно было бы предложить и адаптированную к современным реалиям систем управления систему законов с учетом их последовательности проявления в системах АСУ. Для этого воспользуемся деревом эволюции, предложенное Шпаковским [5].

Каждая ветка Древа — это одна из линий развития рассматриваемой системы в соответствии с объективными тенденциями развития. В Древе всегда присутствует главная линия, которая начинается непосредственно от исходного варианта технического объекта. Варианты объектов, расположенные в каждой точке основной линии, могут служить начальными для боковых линий второго порядка. Каждый последующий уровень иерархии Древа представляют линии, выстроенные на линиях предыдущего уровня. Совокупность линий, расположенных таким образом, составляет простейшую структуру Древа.



Для лучшего понимания развития систем управления рекомендуется составлять и эволюционные деревья его подсистем, которые, по определению, также являются системами и могут быть проанализированы по той же методике.

При анализе эволюции АСУ ТП нами были выделены несколько основных линий развития. Графически эволюция АСУ ТП по представленным линиям развития показана ниже, рис. 7.

Дерево эволюции отражает сегодняшнее состояние развития АСУ ТП. Однако, если рассматривать АСУ ТП по линиям развития, можно увидеть множество возможностей, которые пока не используются. Например, движение эволюции АСУ ТП по линии дробления предсказывает появление подсистем АСУ ТП, действующих на наноуровне. Пример: использование в качестве единицы информации квантового перехода электрона с одного электронного уровня (использование т. н. «кубита») на другой, в миллиарды раз ускоряет количество возможных вычислительных операций по сравнению с сегодняшними способами формирования бита.

Линии развития АСУ ТП непрерывного цикла имеют свои особенности. Хотя линии развития систем непрерывного цикла, как и технические системы вообще, подчиняются представленным выше законам развития технических систем, однако, они имеют и свои собственные частные законы, влияющие на эволюцию АСУ ТП.

Одной из важнейших является линия повышения замкнутости и сложности технологических схем. Все первые технологические линии или машины работают, как правило, с открытым циклом. Они расточительно выбрасывают рабочую или технологическую среду за пределы системы. Этим самым образуются значительные потери и в то же время рождается объективная необходимость по внедрению изобретений, устраняющих эту проблему. Наиболее эффективным решением оказывается многократное использование среды и замыкание технологической схемы в замкнутый контур, а также включение в схему многочисленных дополнительных вспомогательных контуров, обслуживающих основную схему с целью наиболее полного использования сырья, материалов и энергии. Все это требует согласованности действий отдельных подсистем технологического процесса, а значит и регулирования. Пример. Сравнение машин Уатта и Ползунова, возникших примерно в одно и то же время, демонстрирует эту интересную закономерность — развитие технологических схем, повышение их замкнутости, приводящее к уменьшению размеров, повышению энергосбережения и ресурсов (горячей воды), требующей большего уровня регулирования. Так, температура воды в машине Ползунова не превышала 105 °С, при этом для повышения ее энергоэффективности использовались также и новые устройства, такие как воздухоотделитель и предохранительные клапаны выпуска воздуха, (см. Конф. ИЕТ РАН 2014. Об энергосбережении в машинах Ползунова).

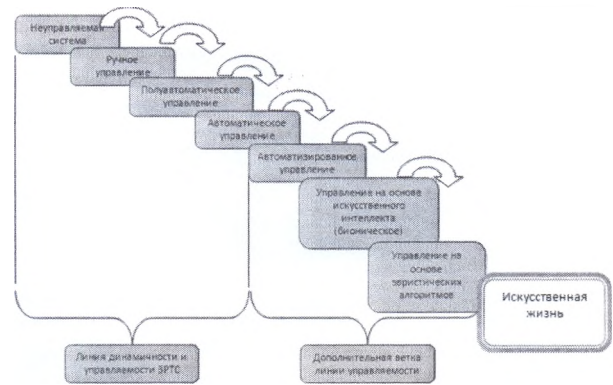


Рис. 6. Новая схема линии управляемости ЗРТС

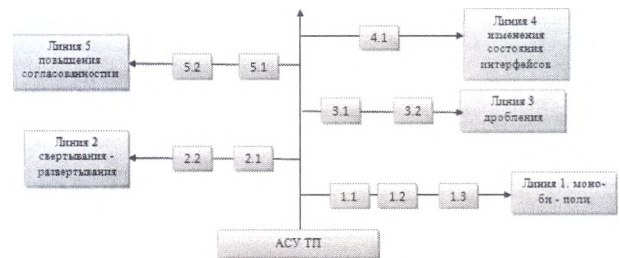


Рис. 7. Дерево эволюции АСУ ТП (фрагмент)

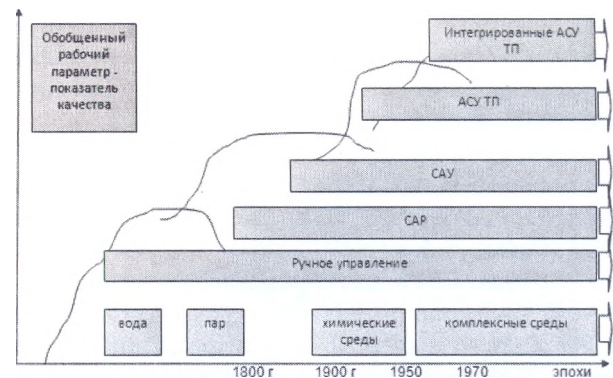


Рис. 8. Реконструкция развития систем управления по эпохам применения основных сред в технологиях

С развитием систем непрерывного цикла также связаны линия динамизации и устранения инерционных звеньев в системах, линия повышения точности обработки продукта к концу технологической схемы, линия дробления и каскадирования обработки продукции и пр. К примеру, это технология непрерывного смешения в потоке Lobe Mix вместо смесительных бассейнов или батареи центриклинеров, работающих по принципу каскадной обработки бумажной массы в технологии бумажного производства

Развитие АСУ ТП непосредственно связано с развитием технологий и используемой базовой рабочей (технологической) среды, приоритетной для данной технологии линии развития. Обобщенная реконструкция развития систем управления в зависимости от технологии представлена ниже, рис. 8.





**Рис. 9.** Эволюция АСУ ТП в зависимости от линий развития собственных линий развития и линий развития технологического процесса

Переходы, которые можно назвать практически диалектическими, от одной системы управления к другой, по нашему мнению, были связаны с изменением среды и соответствующей ей ключевой совокупности рабочих параметров — обобщенному рабочему параметру или показателю качества. В первом приближении это был показатель качества управления при минимальных затратах, что дало нам линию «САР — САУ — АСУ ТП — Интегрированные АСУ ТП». Однако, так ли это?

График, хотя и дает определенное представление о том, как могла продвигаться эволюция АСУ ТП, однако, это во многом зависит от того, какие параметры выбираются главными. К тому же таких линий эволюции может быть множество.

Чтобы глубже разобраться с тем, что же такое обобщенный рабочий параметр, некоторое представление нам может дать понимание того, какие требования должны выполнять системы управления с одной стороны, и как они внутренне перестраиваются, чтобы соответствовать этим требованиям с другой стороны. Тогда мы получаем некоторое подобие двух деревьев с возможными линиями развития.

Линии изменения рабочих параметров, собранные воедино и примененные конкретно к какому-либо участку технологии, дают обобщенный рабочий параметр на этом участке. Собранные вместе по массовости применения, они дают общий для типа системы управления обобщенный рабочий параметр, или в другой интерпретации — обобщенный показатель качества. Он показывает, как система управления обеспечивает или создает главную полезную функцию. Этот подход для АСУ ТП представлен на схеме, рис. 9.

Как можно видеть из схемы, толчок развитию АСУ ТП давали растущие требования технологии, которые сами выражаются в ступенях движения по линиям развития технологий обеспечения АСУ ТП, и технологического процесса, с одной стороны, и нахождении тех линий в развитии технологии, которые могли бы разрешить противоречие между требованиями технологии и превалирующим в потреблении видом АСУ ТП. Таким образом, рождается узловое противоречие, которое можно было устранить, только перейдя к новым типам АСУ ТП.

Как мы уже могли заметить из исторического обзора развития АСУ ТП, в части основной функции — качественного управления технологическим процессом — ими могли стать повышение уровня управления при снижении объема проблем, связанных с некачественным и неустойчивым управлением. К ним, в первую очередь, необходимо отнести качество регулирования и связанные с ним инерционность и переходные процессы. Можно обратить внимание на перерегулирование, большие погрешности, рождающиеся от больших значений ошибок — динамической ошибки и ошибок, связанных с высокими значениями установившихся отклонений в процессе. Эти факторы в основном определяют качество управления АСУ ТП и являются их ведущей линией эволюции.

Для АСУ ТП непрерывных процессов качественное регулирование является главной функцией. В соответствии с этим обеспечение максимального качественного регулирования и управления процессом является ведущей тенденцией в этих АСУ ТП. Основная эволюция АСУ ТП будет наблюдаться именно вокруг этого параметра. Представление о том, как формируются линии развития АСУ ТП, может дать использование диаграммы, близкой к диаграмме Исикавы, рис. 10.

На схеме приведены основные подсистемы АСУ ТП. Конечно же, нужно представить каждый из элементов и подсистем более подробно. К примеру, линия развития технических средств автоматизации включает в себя линии развития материалов, линии развития исполнительных устройств, линии развития средств измерений и пр. В свою очередь, они еще больше подразделяются, например, исполнительные устройства делятся на регулирующие органы и исполнительные механизмы, которые имеют огромное разнообразие видов и конструктивных исполнений.

Сочетание различных линий развития подсистем АСУ ТП определяют как конкретные линии ее развития, так и их пригодность на том или ином участке конкретной технологии. Ограничения и нерешимость ряда задач в линии развития, даже при полном использовании всех имеющихся возможностей линий развития элементов подсистем и технологий их производства, создают условия для применения новых типов АСУ ТП или перехода к другим типам АСУ ТП на рассматриваемом участке технологии.

Подведем некоторые итоги. Наше исследование показывает, что применение ЗРТС к АСУ ТП имеет свою специфику. Необходимо учитывать высокую синергичность, многообразие подсистем и виртуаль-

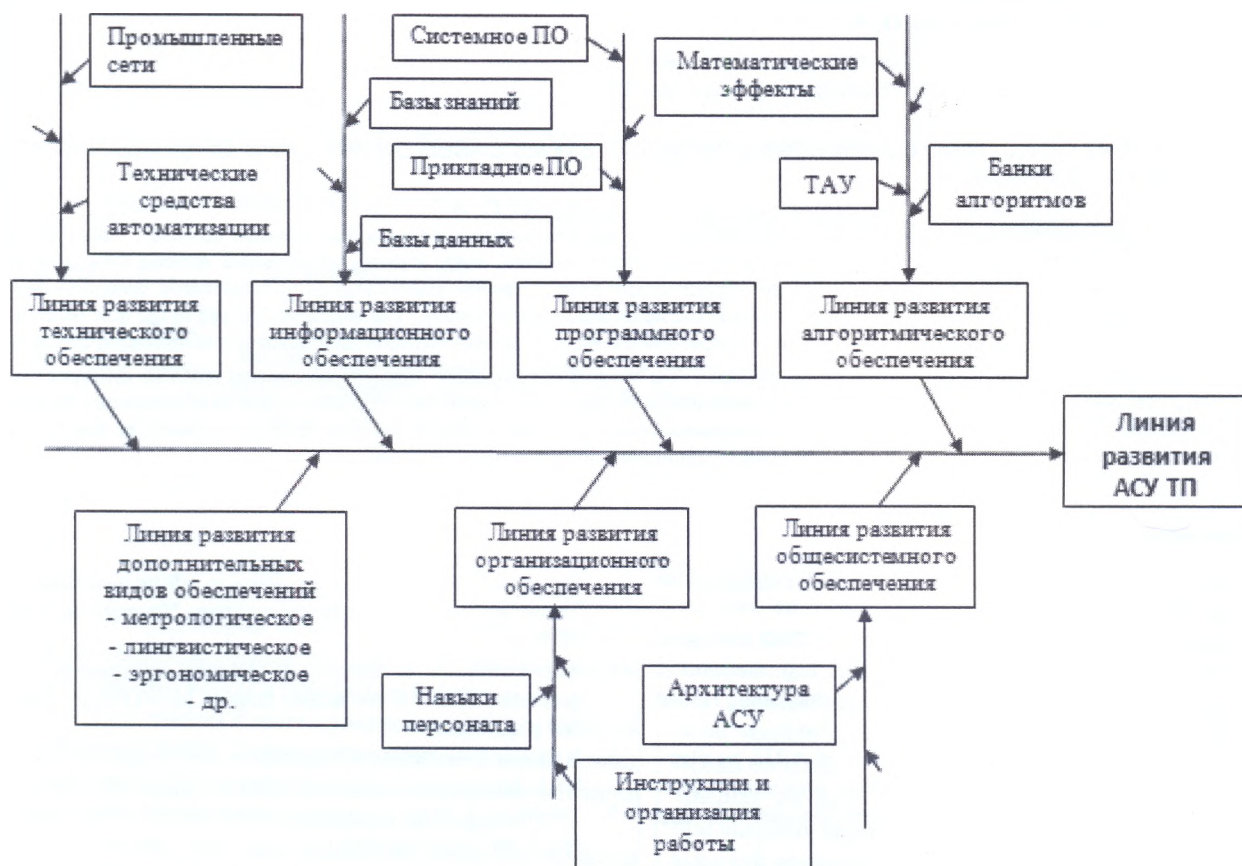


Рис. 10. Формирование линий развития АСУ ТП

ность используемых ресурсов и явлений, характерных для информационного, программного, алгоритмического и других видов обеспечений систем управления. Другой важной особенностью является то, что АСУ ТП как один из ключевых элементов ТС практически никогда не исчезает их системы, а только реорганизуется изнутри. Часто это приводит к исключению многих подсистем при длительном характере использования самой системы.

АСУ ТП как одна из современных ТС имеет свои адаптированные ветки развития в ЗРТС, впитавшие в себя современные достижения в становлении систем управления. Наиболее важными из них являются разнообразные новые информационные системы, использующие достижения бионического и эвристического подхода в искусственном интеллекте. Их вершиной на сегодняшний момент являются нейросети и эвристические алгоритмы.

Создание новых линий развития АСУ ТП в большой степени связано как с внутренним развитием подсистем АСУ, так и движением технологий и потребности в новых типах обеспечения функциональности технологий и систем управления и разрешением

противоречий между многообразными и постоянно меняющимися подсистемами.

#### Список литературы

1. Шанс на приключение / Селюцкий А. Б. и др. Петрозаводск: Карелия. 1991. 304 с.
2. Рубин М. С. Кияев В. И. Основы ТРИЗ и инновации. Применение ТРИЗ в программных и информационных системах: учеб. пособие. СПб. Изд-во С-Петербур. Ун-та. 2011. 278 с.
3. Альтшуллер Г. С. О применении АРИЗ к электронике, радиотехнике и схемным задачам, 1979. URL: <https://www.altshuller.ru/triz/investigations6.asp>.
4. Цуриков В. М. Математические эффекты в теории информации / Теория и практика технического творчества. Новосибирск, 1984.
5. Шпаковский Н. А. Анализ технической информации и генерация новых идей: учеб. пособие. М.: ФОРУМ, 2010. 264 с.
6. Национальный фонд алгоритмов и программ НФАП. URL: <https://portal.eskigov.ru/nfap/documents>.
7. Йонайтис Р. Р. Пути совершенствования современных приводов // ТПА. 2009. № 3. С. 34–35.

**Gorobchenko S. L., Kovalev D. A.**

St. Petersburg State University of Technologies and Design,  
191186 Russia, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya str., 18

## **DEVELOPMENT OF AUTOMATED PROCESS CONTROL SYSTEMS BASED ON THE LAWS OF DEVELOPMENT OF TECHNICAL SYSTEMS**

Although automated process control systems (automated process control systems) are technical systems, however, with the application of the laws of the development of technical systems (SRTS) to them, some features are revealed. Among them, one of the important places is occupied by the need for an integrated approach to various subsystems of the automated control system and a large proportion of the «virtuality» of subsystems in the automated control system. The article is devoted to the disclosure of the issues of the use of SRTS in the automated control system and the ways of developing automated control systems based on them.

**Keywords:** automated control system, technical systems (TS), laws of development of technical systems (SRTS), difference of automated process control systems from a technical system, integrated approach, mathematical effects, resources of automated process control systems, specifics of the action of SRTS in automated process control systems, adapted lines of evolution of automated process control systems, modeling of the development of automated process control systems.

### **References**

1. A chance for adventure / Selutsky A. B. et al. Petrozavodsk: Karelia. 1991. 304 p. (in Rus.).
2. Rubin M. S. Kiyayev V. I. Fundamentals of TRIZ and innovation. Application of TRIZ in software and information systems: studies. stipend. St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg Un-ty, 2011. 278 p. (in Rus.).
3. Altshuller G. S. On the application of ARIZ to electronics, radio engineering and circuit problems, 1979. URL: <https://www.altshuller.ru/triz/investigations6.asp> (in Rus.).
4. Tsurikov V. M. Mathematical effects in information theory / Theory and practice of technical creativity. Novosibirsk, 1984 (in Rus.).
5. Shpakovsky N. A. Analysis of technical information and generation of new ideas: studies. manual. M.: FORUM, 2010. 264 p. (in Rus.).
6. National Foundation of Algorithms and Programs OFAP. URL: <https://portal.eskigov.ru/nfap/documents> (in Rus.).
7. Jonaitis R. R. Ways to improve modern drives // TYPE. 2009. No. 3. pp. 34–35 (in Rus.).