

Назаров Н. И.

*Только тогда можно понять
сущность вещей, когда знаешь
их происхождение и развитие.*

Гераклит

**ПРОГНОСТИКА УПОРЯДОЧЕНИЯ
ПРОИЗВОДСТВ**

Монография (научная)

Донецк-2008

УДК 311:33
ББК 60.6
Н 192

Назаров Н. И.

Н 192 **Прогностика упорядочения производств** Монография (научная) – Донецк: Норд-Пресс, 2008. – 216 с.

На практическом примере разработан метод определения организации неорганической природы, позволяющий конкретно определять, сопоставлять между собой ее величину и делать технико-экономический анализ. Аналитически определена закономерность роста организации по времени, что дает возможность при конструировании и проектировании эргономических систем и материальных объектов прогнозировать их развитие и оптимизировать принимаемые решения. Предназначена для широкого круга специалистов и может частично и полностью удовлетворить интересующихся и занимающихся организацией и развитием конкретной материи.

УДК 311:33
ББК 60.6
Н 192

© Назаров Н.И., 2008
© Норд-Пресс, 2008

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие автора.....	5
1. Введение.....	7
2. Организация и упорядоченность промышленного объекта.....	13
2.1. Кустовые базы — природой организованные системы.....	13
2.2. Анализ параметров автоматизации технологических процессов.....	18
2.3. Основные тенденции развития автоматизации.....	31
2.4. Автоматически выравниваемые производственные параметры.....	40
2.5. Параметры автоматического контроля и управления.....	50
3. Эволюция упорядоченности организованного объекта.....	62
3.1. Прогнозирование количественных характеристик процессов.....	62
3.2. Организация эргономических систем.....	72
3.3. Построение модели эволюции параметров автоматизации.....	80
3.4. Рост оценки уровня автоматизации.....	87
4. Эволюция параметров физического интеллекта.....	101
4.1. Эволюция количества параметров автоматического управления.....	101
4.2. Взаимосвязь эволюций характеристик интеллекта.....	111
4.3. Динамика количества параметров автоматического контроля.....	116
4.4. Эволюция общего количества информации.....	121
5. Неупорядоченность и организация материи.....	128
5.1. Неопределенность и организация материи.....	128
5.2. Рост организации промышленного объекта.....	139
5.3. Эволюция неупорядоченности оснопа кустовых баз.....	148
5.4. Взаимодействие оснопа и среды.....	153
5.5. Взаимосвязь эмпирики и аналитики оснопа.....	163
Анализ содержания монографии.....	180
6. Приложения.....	182
Применение закономерностей упорядочения.....	182

Прогностические функции и функции роста (табл. 1).....	184
Прогностические функции и их кривые (рис. 102—118).....	186
Характеристики прогностических кривых оснопа (табл. 2).....	191
Рецензия на рукопись.....	195
Литература.....	197
7. Информационная подборка.....	199
Разомкнутая система управления производством.....	199
Литература подборки.....	215

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА

Разумность жизни показывает, что даже плохо сделанный прогноз, который при поступлении новых исходных данных, со временем, может быть уточнен, лучше несделанного вообще. Естественно, грамотное прогнозирование эволюции объекта, основанное на знании выявленных закономерностей, является залогом эффективности конкретной прогностики.

Многообразная практика и многие научные исследования показывают. Что в некоторых областях естествознания проявляются одни и те же закономерности. Исходя из этого, структура монографии и проведенное в ней исследование построены по принципу «Отовсюду, но об одном». Это следует иметь в виду при первом знакомстве и при глубоком анализе сути темы.

Следует иметь в виду и то, что основой практики и исследований прогностики являются ретроспективная статистика и другая соответствующая информация о прогнозируемом объекте, которые, к сожалению, во многих случаях «желают быть лучшими». Естественно, это затрудняет ее экспериментальные и соответственно теоретические исследования.

Автору монографии удалось конкретно просчитать и спрогнозировать организацию физической природы с ее аспектом — упорядочением по критерию автоматизации производственных процессов. Естественно, это не исключает возможностей поиска других более совершенных методов определения и прогностики их. На основе относительно быстротечной и наглядной кинетики характерных химических реакций им проанализирована возможность моделирования прогнозируемых процессов.

С учетом вышесказанного, проведенное в монографии исследование на основе соотношения разных между собой количеств технологических параметров производств позволило автору выявить взаимосвязь упорядочения с «вездесущей» энтропией. При этом противонаправленность процессов упорядочения и энтропии с их одновременным действием показывает то, что поступательному развитию организованной природы постоянно сопутствует ее последовательное разрушение.

В монографии выявлена физическая взаимосвязь эмпирики прогнозируемого роста организации осонапа и его аналитики, характеризуемой конкретной прогностической кривой. Произведенные при этом математические исследования достоверно подтверждают идентичность эволюции практической эмпирики подобранной теоретической аналитике.

Разработаны пять характеристик прогностических кривых, задействованных в прогнозировании эволюции определяющих параметров осонапа (табл. 2 приложения), которые детализируют взаимосвязь элементов его эмпирики и аналитики.

Из Л 22 видно, что изменение во времени параметров экономики в связи с изменениями основных технических параметров осонапа может прогно-

зироваться с помощью S-образных прогностических кривых. Естественно, грамотное прогнозирование развития конкретной экономики оснопа должно осуществляться специалистами по экономике.

Параметр организации оснопа R отражает сущность организации рассматриваемых в монографии организованных систем-объектов физической природы. Именно по этому признаку осуществлялось его первоочередное прогнозирование с последующим прогнозом производных параметров.

Из информационной подборки видно, что осноп (производство) со всеми уточнениями и дополнениями можно рассматривать как открытую систему [1], (БСЭ, т. 18). Степень неупорядоченности таких открытых систем, как и систем в равновесном состоянии, характеризуется энтропией. В то же время система управления производством с внешним входным контролем и воздействиями человеческого фактора является частным случаем разомкнутой системы управления [1], (БСЭ, т. 21).

Современное промышленное производство, в большинстве своем — это крупный осноп с большим количеством параметров автоматического контроля и автоматического управления. Следовательно, его технологические процессы протекают в строгом соответствии с законами современной термодинамики.

1. ВВЕДЕНИЕ

Уже в очень давние времена существовали две концепции повторяемости — пространственная и временная. Первая исходила из конечного числа частиц в мире и бесконечного числа вариаций их размещения. Среди таких бесконечных вариаций конечного числа элементов неизбежно встретятся повторяющиеся сочетания, то есть миры с одним и тем же сочетанием частиц, идентичные миры, где у таких же людей с такими же именами повторяются наши поступки и душевные состояния. Временная модификация подобной концепции состоит в повторении событий при бесконечной модификации частиц в одном и том же мире: рано или поздно «Ахиллес» будет снова послан в Троию.

Современная наука в качестве фундаментального принципа, определяющего логику ее развития, выдвигает иной принцип, исключаящий и современное повторение Земли в безбрежных просторах Метагалактики, и повторение настоящего во временной эволюции, в прошлом или будущем. Нельзя познать мир без понятия повторяемости и однотипности событий, инвариантности, сохранения, соблюдения законов [1].

То вместе с тем наука не может развиваться, приближаться к истине, то есть быть подлинной наукой, не обнаруживая необратимого усложнения, неповторимости, нарастающего многообразия мира.

Сейчас признание растущей сложности сменяет принцип элементарности, который лежал в основе логики развития в классические времена, когда нормальным считался переход от сложного к простому. Вернее, даже не сменяет, просто поиски элементарной схемы сочетаются с признанием необратимого усложнения.

Начиная с 50-х годов в биологии было найдено то звено в иерархии дискретных частей материи, которое определяется эволюцией вида в прошлом и определяет дальнейший ход онтогенеза, наследственность и будущее вида. Это — молекулы живого вещества, обеспечивающие воспроизведение организма. Группировка атомов и радикалов в таком веществе зависит от генетического кода.

В микроскопическом объеме живого вещества сосредотачивается своеобразный пространственно-временной мир, заполненный сложными процессами органической жизни, повторяемостью и изменчивостью ее форм.

Конечно, процессы органического синтеза молекул не всегда являются квантовыми, они носят специфический иной характер. Вместе с тем молекулярная биология находится в фарватере некоторого радикального изменения картины мира, изменения той формы, в которой воспринимается свойственная миру и возрастающая со временем сложность, отображение структуры мира в каждом его элементе. В теории относительности эта связь локальных элементов с целым выражается в четырехмерном континууме, меняющем

свою метрику в каждой мировой точке, в квантовой механике — в квантовании полей, в сосредоточении поля в дискретных частицах, в биологии — в сосредоточении сложности онтогенеза в генетическом коде.

Австрийский физик, один из создателей квантовой механики, Э. Шредингер пояснил это представление о локальном как выражении временного и пространственного многообразия мира следующим примером.

Если в кристалле молекулярная структура повторяется, то иначе обстоит дело со все более и более сложной органической молекулой, в которой каждый атом, каждая группа атомов играет индивидуальную роль, не вполне равнозначную роли других атомов и групп. Молекулы, содержащие генетический код, «представляют наивысшую степень упорядоченности среди известных нам ассоциаций атомов... в силу той индивидуальной роли каждого атома и каждого радикала, которую они здесь играют».

Неклассическая наука отказывается от игнорирования индивидуума, будь то молекула, атом или другое локальное образование, что было характерно для статических концепций классической науки. Дальнейшее развитие этой тенденции связано с возрастанием значения тех философских обобщений, представлений о пространстве, времени, веществе, которые вытекают из теории относительности, квантовой механики и других отраслей современного естествознания.

Технический прогресс и особенно развитие автоматизации, вычислительной техники и средств связи привели к созданию устройств и машин, способных контролировать течение различных процессов и управлять ими, благодаря чему у человека появилась возможность направлять эти процессы в нужное ему русло не непосредственно, а при помощи подчиненных ему физических средств. При этом функции автоматических устройств и людей, участвующих в управлении, тесно переплетаются [2].

Если в XVIII в. замена ручного труда на производстве машинным привела к первой промышленной революции, то замена различных видов умственной деятельности проявлением интеллектуальности высокоорганизованных физических элементов природы подводят нас вплотную ко второй промышленной революции — кибернетической. В эру автоматизации кибернетика и электронная вычислительная техника освобождают человека от однообразной, трудоемкой и утомительной умственной работы, усиливают его интеллект, раскрепощают творческую мысль, способствуя гармоническому развитию личности, увеличению власти человека над природой [3].

Уже в настоящее время суммарная мощность электронных вычислительных машин определяет информационно-интеллектуальную мощь страны, подобно тому, как суммарная мощность электростанций и других силовых установок определяет ее энергетическую мощь. По мере усложнения производства и дальнейших успехов науки и техники развитие средств автоматизации переработки информации будет все более определять промышленно-

экономический потенциал государства, поскольку лишь достаточный уровень информационной вооруженности делает возможным рациональное использование высокоразвитых производственных и людских ресурсов.

Сегодня стало обычным и никого не удивляет работа механизмов, машин и агрегатов, созданных в результате интеллектуальной деятельности высокоорганизованных систем и непохожих по своему устройству на естественные организмы, которая во много крат превосходит по мощности и эффективности самую продуктивную работу мышц. Поэтому важно понять и оценить не только чисто технические, но и социальные аспекты развития физических устройств и систем, чтобы правильно и наиболее рационально использовать лежащие в основе его законы материального мира. Ошибка рассуждений о полном вытеснении и порабощении человека «думающими» машинами, выходе машин из повиновения, создании «электронного общества» и т. п. состоит в полном игнорировании социальных закономерностей, подмене их чисто техническими аспектами проблемы.

Возможности, которые представляет обществу наука и техника, растут с каждым годом. Однако претворение тех или иных возможностей в действительность определяется, прежде всего, общественными, социальными, а отнюдь не чисто техническими закономерностями. Что же касается возможности случайного, не сознательного выхода техники из повиновения человеку, то такая возможность с ростом технического прогресса будет непрерывно уменьшаться. Уже сейчас развитие различного рода систем контроля и защиты от случайных повреждений и аварий опережает темпы технического прогресса в целом. Нет сомнения, что будущее общество предусмотрит опасности неконтролируемой самоорганизации.

Следует ясно себе представлять, что человек, вооруженный «умными» кибернетическими машинами, будет всегда умнее не только человека без машин, но и маши без человека. А это означает, что постановка проблемы «человек или машина?» — может быть, и уместная в чисто техническом плане, полностью теряет свой смысл при учете реальных социальных факторов. Вместо нее мы приходим лишь к дилемме «человек без машины или человек с машиной», для которой выбор правильного решения не вызывает никаких сомнений [4].

Особенность упорядочения и организации систем-объектов физического мира связана с человеко-машинной концепцией трактовки процесса принятия решений. Здесь более правильно говорить не об автономных физических интеллектах, а о новом классе смешанных человеко-машинных систем, в которых имеется «человеческая» и техническая части. Постепенно происходит передача опыта, навыков и информации от «человеческой» части к машинной. Фактически в этой модели обязательно присутствует третья часть, смешанная, которую трудно определить как «человеческую» или техническую. Машинная и смешанная части оказывают влияние на «человеческую», обучая человека новым методам принятия решений [5].

Винер подчеркивал, что ключом к построению системы, способной приспособиваться к изменяющейся среде, является правильное применение кибернетического принципа. Грубо говоря, кибернетическим называется устройство, для которого одним из входов служит некоторая функция его выхода в предыдущие моменты. Принципы систем, перестраивающихся с помощью управления с обратной связью, можно применить к любой системе, состояние которой описывается заданием взаимно зависимых переменных, начиная с нейрофизиологических объектов и кончая международной политикой. На таком уровне общности термин «кибернетика» связан больше с представлением о мире, чем с точно определенным математическим методом [6].

Функционирование производственных процессов и промышленных объектов, представляющих собой определенный класс материальных систем со своими внутренними законами движения и функциональным воздействием между собой и внешним миром, обеспечивается и регламентируется автоматическими устройствами и системами, работающими независимо друг от друга и во взаимной связи. Становление и развитие автоматизированных систем управления с применением вычислительной техники и устройств приема и передачи информации на большие расстояния позволяет постепенно объединять отдельные производственные комплексы в единый жизнедеятельный организм отрасли и всего народного хозяйства.

Помимо нарастающего разнообразия возможных частных видов автоматических устройств, в современной технике ясно выражена тенденция комплексного использования этих устройств — объединения автоматических устройств в единые системы. Понятие системы автоматического управления охватывает как простейшие автоматические устройства, так и сложнейшие комплексы автоматических систем. Такие системы комплексной автоматизации, как системы управления технологическими процессами целых предприятий и групп предприятий, системы автоматического управления боевыми действиями и т. п., могут включать множество источников информации, систем регулирования, вычислительных и управляющих машин, каналов передачи информации и других устройств.

Кроме того, комплексные системы автоматизации на всех этапах развития техники будут в той или иной мере использовать участие человека в процессах управления. Человек будет контролировать и утверждать наиболее важные решения управляющих машин, выполнять операции, не поддающиеся автоматизации при данном уровне техники. Оптимальное взаимодействие человека с системой относится к числу важнейших вопросов построения комплексных автоматизированных систем [7, 8].

Одной из важных характеристик механизмов, машин и агрегатов является мощность, позволяющая качественно оценивать их и сопоставлять между собой, а также с биологическими организмами. Для количественной оценки интеллектуальности каждого конкретного технического комплекса, системы управления необходим также научно-технически обоснованный критерий,

позволяющий объективно и практически несложно определять ее. Таким критерием, отражающим суть интеллекта, может быть понятие уровня автоматизации различных производственных и других процессов. В подразделе 2.2 анализируются предложенные в настоящее время методы оценки его, которые в основе своей являются информационными.

Совокупность устройств и систем с принципами функционирования на информационной основе составляет поколение технических средств со своими конкретными характеристиками.

Важность критерия обуславливает многочисленные попытки количественной оценки уровня автоматизации технологических процессов на промышленном объекте. Основным недостатком предложенных методов количественной оценки является их односторонняя направленность и несопоставимость различных критериев. В ряде случаев аргументы, входящие в критериальное уравнение, выбраны условно, содержат в неявном виде одни и те же факторы, в силу чего не могут быть использованы для объективной оценки состояния автоматизации конкретного процесса. Необходимо отметить, что существенным препятствием в успешном применении информационных методов является некоторая субъективность понятия количества информации [7, 9, 10], ибо нас интересует не любая информация, а прежде всего та ее часть, которая эффективно используется в процессе управления и качественно характеризуется своим удельным весом в общем количестве ее.

Анализ качественных характеристик степени технического совершенствования систем управления разного рода процессами показывает, что при достоверных источниках информации наиболее объективно отражает суть явления интеллектуального функционирования физических объектов природы так называемая оценка уровня автоматизации (2.2), конкретизированная показателем использования информации для целей автоматического управления (2.3). Достаточно объективной и достоверной информацией об интеллектуальности последних служат количества параметров автоматических контролей и управления, необходимые для ведения производственных процессов на заданном техническом уровне, и соотношения их.

Научное познание упорядочения и организации состоит, прежде всего, в получении важных сведений о механизме интеллектуальных процессов в высокоорганизованных системах-объектах, прежде всего, физического мира, а также в получении объяснения природы самого явления интеллектуального функционирования их, установлении обусловленности, основных зависимостей и взаимосвязей эволюций интеллекта и определяющих его количеств информации. Познание механизма эволюции и ее закономерностей дает важный предмет для научно-технических исследований и практического применения, позволяющий понять и оценить не только технические, но и социальные аспекты развития разнообразных устройств и систем-объектов. Это позволяет правильно и наиболее рационально использовать лежащие в основе его законы материального мира.

Произведенный конкретный расчет и соответствующие графические построения эволюции физического интеллекта и составляющих его количеств параметров по эмпирическим данным типовых проектов одного из характерных для исследований промышленного объекта газовой промышленности — так называемых кустовых баз сжиженных углеводородных газов (КБ СУГ) подтверждает достоверность наличия закономерности. Имеющиеся уже сегодня производственные процессы с критерием интеллектуального взаимодействия — оценкой уровня автоматизации, равной единице, на практике показывают объективность существования подмеченной закономерности восходящего развития материального мира. Познание закономерности эволюции, как и каждое, расширяет познание физического мира, делает наши знания более глубокими, но оно раскрывает объективную истину не полностью, не абсолютно, а относительно. С течением времени, в результате познаний в конкретную науку практического проявления основополагающих законов.

2. ОРГАНИЗАЦИЯ И УПОРЯДОЧЕННОСТЬ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБЪЕКТА

2.1. Кустовые базы — природой организованные системы

Кустовые базы сжиженных углеводородных газов, как и любой промышленный объект, представляют собой организованные системы — объекты неорганической природы (сокращенно — осоноп) и являются продуктом длительного функционального взаимодействия между их элементами и внешней средой. Типичная для организованной физической материи эволюция КБ СУГ определяется взаиморазвитием организованных систем и объектов органической и неорганической природы.

Технико-экономические показатели кустовой базы сжиженных газов по более позднему типовому проекту 905-12/70, характеризующие ее как организованную систему — объект среды, представлены в табл. 2.1.

Как известно, рост производительности труда происходит в основном за счет применения более эффективной технологии, новых типов машин, средств контроля и автоматики, за счет внедрения комплексной механизации и автоматизации производства. Автоматизация производственных процессов, отражающая организацию промышленных объектов [2], является одним из главных направлений технического прогресса в промышленности и органически связана с развитием технологии.

Она увеличивает производительность агрегатов, повышает качество продукции, снижает расход материалов и энергии, уменьшает брак и отходы производства, снижает трудозатраты, уменьшает аварийность и существенно повышает эффективность ведения технологических процессов. Средства автоматизации освобождают обслуживающий персонал от выполнения трудоемких и тяжелых физических работ и создают условия для стирания грани между умственным трудом и физическим.

Автоматизация процессов, создающих условия безопасной работы, повышает безопасность ведения технологических процессов на таких взрывоопасных объектах, как кустовые базы и газораздаточные станции (ГРС) сжиженных газов. Быстрое и своевременное предупреждение аварийных ситуаций дает возможность предотвратить аварии, влекущие за собой серьезные разрушения и несчастные случаи и наносящие большой материальный ущерб.

Таблица 2.1

**Технико-экономические показатели кустовой базы
по типовому проекту 905–12/70**

Технико-экономический показатель	Единица измерения	Количество
Годовой отпуск сжиженных газов	т	25000
Среднесуточный отпуск сжиженных газов: в баллонах	т	79
в автоцистернах		20
Количество наполняемых баллонов: емкостью 27 л	шт./см	2600
емкостью 50 л		400
емкостью 0,75—5 л		до 1500
Резервуарный парк сжиженных газов - принятый запас газа	сут.	10
- количество резервуаров объемом 200 м ³	шт.	10
- общая емкость резервуарного парка	т/м ³	1000/2000
Установленная мощность трансформаторов	кВА	500
Расчетная мощность электродвигателей	кВт	350
Количество баллонов в работе: емкостью 27 л	шт.	4000
емкостью 50 л		500
Численность обслуживающего персонала	раб.	109
Годовая выработка на одного рабочего	т/г	625
Себестоимость газа франко-база, отпускаемого в баллонах	руб./т	43,0
отпускаемого в автоцистернах		39,5

В Л 11 обобщены перспективные для своего времени методы и средства автоматизации технологических процессов на отечественных и зарубежных объектах транспорта, хранения и распределения сжиженных газов. В этой работе вопросы автоматизации рассматриваются в комплексе с технологией и механизацией производственных процессов. В ней использованы материалы проектных, опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ институтов: «ЮжНИИгазпрогаз» и «Мосгазпроект», СКБ «Газприборавтоматика» и других специализированных организаций и предприятий.

Отечественными институтами, СКБ и другими организациями и предприятиями проделана большая работа по разработке и внедрению методов и средств автоматизации технологических процессов на объектах сжиженных газов [11]. Это дало возможность разработать типовые схемы контроля и управления производственными процессами на кустовых базах и ГРС. При решении вопросов организации объектов сжиженных газов, как правило, ис-

пользовался имеющийся полезный опыт автоматизации аналогичных процессов на родственных производствах (нефтебазах, газоперерабатывающих заводах и т. п.) и передовой опыт зарубежных газораздаточных станций.

Автоматический контроль и автоматизация по типовому проекту 905-12/70 предусматривают ведение технологических процессов на кустовых базах сжиженных газов на заданном техническом уровне с соответствующим обеспечением техники безопасности.

В производственном корпусе для безопасного запуска и работы насосов типа ЗХГВ и компрессоров АВ-100 осуществляется блокировка по давлению на линиях всасывания и нагнетания и температуре охлаждающей жидкости в рубашке статора насосов. Компрессор АКАУ-45 включается и отключается автоматически по давлению паровой фазы сжиженного газа в емкостях для слива неиспарившихся остатков. Давление паровой фазы сжиженного газа и неиспарившихся остатков после испарителей поддерживается постоянным при помощи регулятора давления прямого действия.

В помещении насосно-компрессорного отделения установлены сигнализаторы взрывоопасных концентраций газа типа СВК-3МІ, которые сблокированы с электрозадвижками на межцеховых технологических коммуникациях, технологическим оборудованием и аварийной вентиляцией. При появлении взрывоопасной концентрации газа подается команда на автоматическое включение аварийной вентиляции, отключение технологического оборудования и закрытие электрозадвижек, относящихся по технологии к насосно-компрессорному оборудованию. Предусмотрена также блокировка 10-кратной проточно-вытяжной вентиляции с технологическим оборудованием. При неработающей вентиляции дается запрет на включение технологического оборудования.

В баллононаполнительном отделении контролируется давление в емкостях неиспарившихся остатков и коллекторах сжиженного газа, а также загазованность помещения. Сигнализаторы взрывоопасных концентраций сблокированы с технологическим оборудованием и вентиляцией. В испарительном отделении контролируется давление паровой фазы до и после регулятора давления, а также температура теплоносителя до и после испарителей. Повышение температуры после теплообменников регистрируется электроконтактным термометром.

В резервуарном парке в каждой емкости контролируется давление, температура и предельный уровень сжиженного газа. При достижении предельного уровня включается предупредительная сигнализация.

При эксплуатации кустовых баз и ГРС необходим достаточно точный учет количества сжиженных газов, находящихся в емкостях резервуарного парка. При принятом учете по контролю уровня продукции в резервуарах

эта задача затрудняется из-за изменения удельного веса сжиженных газов в зависимости от их физического состава и температуры. Для измерения и сигнализации предельных уровней сжиженных газов в стационарных емкостях используется ряд конструкций уровнемеров и сигнализаторов уровня. Для централизации и автоматизации контроля уровня в емкостях резервуарных парков на крупных объектах разработан ряд систем централизованного контроля [11].

На железнодорожной сливной эстакаде контролируется давление в стояках и коллекторах жидкой и паровой фаз сжиженного газа. В воздушной компрессорной контролируется давление воздуха в воздухохранильнике, температура его до теплообменника и воды после последнего. Для этого используются электроконтактные термометры и манометры, управляющие автоматической работой рабочего и резервного компрессоров.

В насосной контролируются величины давления воды на нагнетании хозяйственных и питьевых насосов и в воздушно-водяном баке. Управление рабочим и резервным хозяйственными насосами осуществляется автоматически, в зависимости от уровня воды в воздушно-водяном баке, а дренажным — от уровня в дренажном приемке. Управление компрессором также автоматическое, в зависимости от давления воздуха в воздушно-водяном баке. Давление воздуха контролируется электроконтактным манометром, а уровень воды электрическим регулятором-сигнализатором.

В насосной обратного водоснабжения контролируется понижение и повышение температуры воды после аппаратов охлаждения, понижение давления воды на нагнетании насосов типа 2К-6 и приток воды. Предусмотрены автоматические режимы работы технологического оборудования в зависимости от температуры охлаждающей воды. В насосной промышленных стоков контролируется величине давления на нагнетании насосов. Автоматическое управление насосами производится в зависимости от уровня в приемном резервуаре. Предусмотрена сигнализация затопления пола в насосной и аварийного уровня в резервуаре. В станции биологической очистки предусматривается автоматическое управление насосами в зависимости от уровня конденсата в приемном резервуаре и сигнализация этих уровней.

Наиболее трудоемкими производственными процессами на кустовых базах сжиженных газов являются наполнение и ремонт баллонов, а также операции, связанные с этими процессами. Поточное автоматизированное наполнение баллонов сжиженным газом в нашей стране и технически передовых зарубежных странах осуществляется на автоматизированных карусельных газонаполнительных агрегатах с конвейерным транспортированием пустых и на полных баллонов [11].

При частичной автоматизации элементы автоматики входят составной частью в узлы оборудования и работают с ними как единое целое. Примером сказанному из элементов автоматики при наполнении баллонов от рампы может служить автоматическое отключение подачи сжиженного газа в баллон при его заполнении.

В последнее время все большее распространение в различных странах находит метод измерения расхода и количества газа в единицах массы, которые получаются из объемных с помощью коррекции по плотности. Значение плотности получают или расчетным путем на основании уже измеренных температуры газа, давления и коэффициента сжимаемости или непосредственно с помощью плотномеров. Определять расход и количество газа в единицах массы во многих случаях предпочтительнее, особенно в системах автоматического управления.

Необходимая и рациональная автоматизация технологических процессов на кусковых базах, осуществляемая совершенными и надежными в работе средствами и сочетающаяся с совершенной механизацией, приводит к уменьшению трудовых затрат, повышению производительности труда и техники безопасности и, в конечном счете, снижению себестоимости отпускаемых сжиженных газов. Исследование разработанных методов и средств автоматизации производственных процессов, в том числе не нашедших еще широкого применения с целью определения наиболее приемлемых для использования на объектах сжиженных углеводородных газов, производственное в Л 11, является одним из эффективных методов научно-технического прогнозирования развития технического прогресса на конкретном производстве, а его широкая гласность способствует внедрению в практику более совершенного.

Непременным условием высокой эффективности автоматизации производства является механизация основных и вспомогательных технологических процессов. Как правило, отдельные установки входят в виде составных частей в производственный комплекс промышленного предприятия с разветвленными материальными и энергетическими потоками. Управление такими комплексами значительно сложнее, чем управление отдельными установками. Как известно, наибольшую эффективность дает комплексная автоматизация в сочетании с комплексной механизацией.

Технологические процессы на объектах переработки сжиженных газов, как и на многих других производствах, взаимосвязаны между собой. Это ставит вопрос о переходе от автоматизации отдельных производственных операций и процессов к комплексной автоматизации, увязывающей работу всех производственных звеньев в единое целое.

2.2. Анализ параметров автоматизации технологических процессов

Автоматизация производства, по определению и характеристике Руднева К. Н. [12] — процесс в развитии машинного производства, при котором функции управления и контроля, ранее выполняемые человеком, передаются приборам и автоматическим устройствам. Автоматизация производства является основой развития современной промышленности, генеральным направлением технического прогресса. Цель автоматизации производства заключается в повышении эффективности труда, улучшении качества выпускаемой продукции, в создании условий для оптимального использования всех ресурсов производства.

Научные основы автоматизации производства развиваются главным образом по 3 направлениям. Во-первых, разрабатывают методы эффективного изучения закономерностей объектов управления, их динамики, устойчивости, зависимости поведения от воздействия внешних факторов. Эти задачи решаются исследователями, конструкторами и технологами — специалистами конкретных областей науки и производства. Сложные процессы и объекты изучают методами физического и математического моделирования операции с использованием аналоговых и цифровых вычислительных машин.

Во-вторых, определяют экономически целесообразные методы управления, тщательно обосновывают цель и оценочную функцию управления, выбор наиболее эффективной зависимости между измеряемыми и управляемыми параметрами процесса. На этом основании устанавливаются правила принятия решений по управлению и выбирают стратегию поведения руководителей производства с учетом результатов экономических исследований, направленных на выявление рациональных закономерностей системы управления. Конкретные цели управления зависят от технико-экономических, социальных и других условий. Они состоят в достижении максимальной производительности процесса, стабилизации высокого качества выдаваемой продукции, наибольшего коэффициента использования топлива, сырья и оборудования, максимального объема реализованной продукции и снижению затрат на единицу изделия и другое.

В-третьих, ставится задача создания инженерных методов наиболее простого, надежного и эффективного воплощения структуры и конструкции средств автоматизации, осуществляющих заданные функции измерения, обработки полученных результатов и управления. При разработке рациональных структур управления и технических средств их осуществления применяют теорию алгоритмов, автоматов, математическую логику и теорию релейных устройств. С помощью вычислительной техники автоматизируются многие процессы расчета, проектирования и проверки устройств управления. При необходимости многоцелевого использования больших потоков информации применяются централизованные (интегральные) методы ее обработки.

Структура управления, оптимально выбранная для выполнения заданных целей, в сочетании с комплексом технических средств (измерительных, регулирующих, исполнительных, по сбору и обработке информации всех видов и типов и т. д.), во взаимодействии с объектом управления и человеком (оператором, диспетчером, контролером, руководителем участка) на основе рационального построения форм и потоков информации образует автоматизированную систему управлений (АСУ).

Обычно в АСУ входят устройства для первичного формирования, автоматического извлечения и передачи, логической и математической обработки информации, устройства для представления полученных результатов человеку, выработки управляющих воздействий и исполнительные устройства. В ГСП все они группируются по функциональному, информационному и конструктивно-технологическому признакам, образуя на унифицированной элементной базе блочные наборы, из которых составляются необходимые агрегатные комплексы средств автоматизации.

Решение вопросов автоматизации в биологических системах-объектах можно проследить на примере терморегуляции температуры живого тела в статье Иванова К. П., помещенной в Большой Советской Энциклопедии (БСЭ, т. 25).

Терморегуляция, способность человека, млекопитающих животных и птиц поддерживать температуру мозга, внутренних органов в узких определенных границах, несмотря на значительные колебания температуры внешней среды, и собственной теплопродукции. Температура внутренней среды организма поддерживается на сравнительно постоянном уровне по принципу саморегуляции. Постоянство температуры тела обеспечивается теплопродукцией (ее часто называют химической терморегуляцией) и теплоотдачей (ее называют физической терморегуляцией). Система терморегуляции включает центр терморегуляции, большое количество термочувствительных нервных клеток в различных отделах центральной нервной системы (от коры головного мозга до спинного мозга), терморецепторы внутренних органов, слизистых оболочек и кожи с соответствующими нервными проводящими путями, эффекторные нервные пути и эффекторные органы в виде кожных сосудов, эндокринных и половых желез, скелетных мышц и другое. При угрозе перегревания организма происходит расширение кожных сосудов, увеличиваются потоотделение (или тепловая одышка у не потеющих животных) и теплоотдача. При угрозе охлаждения кожные сосуды сужаются, волосы (или перья) поднимаются, и теплоотдача ограничивается, теплопродукция повышается. Таким образом, организм поддерживает баланс между теплопродукцией и теплоотдачей в различных тепловых ситуациях. Отклонение средней температуры внутренних областей тела и крови, мышц, наружных покровов от «установленного» уровня вызывает усиленную импульсацию термочувствительных нервных клеток и терморецепторов. Импульсы достигают центра

терморегуляции, где формируется «управляющий» сигнал к эффекторным органам терморегуляции. Функция терморегуляции находится под контролем высших отделов мозга и, в частности, коры больших полушарий, что позволяет организму на основе общей температурной чувствительности использовать сложные реакции поведенческой терморегуляции (активное избегание высокой или низкой температуры, постройка животными убежищ в виде нор, теплых гнезд, изменение величины поверхности тела при свертывании в клубов на холоде и т. д.). Эффективность теплорегуляции относительна. При значительных перепадах внешней температуры или резких изменениях теплопродукции температура мозга и внутренних органов человека и различных животных может отклоняться от обычных значений от 0,2—0,3 до 1—2 °С и более. У разных организмов отдельные механизмы терморегуляции развиты неодинаково. Так, например, потоотделение свойственно только человеку, обезьянам и непарнокопытным. У других животных наиболее эффективный механизм теплоотдачи — тепловая одышка. Способность к повышенной теплопродукции наиболее выражена у птиц, грызунов и некоторых других животных.

Эффективность автоматизации производственных процессов является важным показателем, ибо наряду с социальным эффектом должна сопровождаться определенным улучшением технико-экономических показателей. Для сопоставительной оценки становится очевидной необходимость разработки аналитических методов исследования и прогнозирования объективных закономерностей возникновения и реализации ее.

Под качественной характеристикой, отражающей степень технического совершенства управления технологическим процессом или целым объектом и достигаемой за счет применения определенных методов и средств автоматического контроля и управления, включающего в том числе автоматическое регулирование, в большинстве случаев подразумевается уровень автоматизации.

В проектах промышленных объектов и в другой технической документации редко можно найти технико-экономический показатель уровня автоматизации. Между тем, показатель не менее важен, чем расходные коэффициенты по сырью, топливу, электроэнергии и т. д. Объясняется это отсутствием единого мнения о том, каким критерием нужно оценивать уровень автоматизации, и какова методика его определения. Хотя данным понятием широко пользуются для качественной оценки состояния автоматизации. Установление объективного и дающего возможность практического использования критерия для оценки уровня автоматизации производственных процессов является одной из неотложных методических задач, к решению которой должны быть приложены усилия научно-исследовательских организаций, работающих в области техники и экономики материального производства и целенаправленного преобразования природы.

Общепризнанно, что механизация — основа автоматизации, ее подготовительная ступень. Следует подчеркнуть, что задачи механизации возникают только на определенной стадии развития производства, равно как и задачи автоматизации, которые нельзя эффективно решить, если ее первая стадия, механизация, не завершена. Связь между производством, механизацией и автоматизацией его можно выразить следующими определениями [13]:

Механизация — это усовершенствование производства, направленное на замену физического труда человека в промышленных процессах, работой механизмов и машин.

Автоматизация — это усовершенствование производства, направленно на замену труда человека в управлении промышленными процессами работой машин и устройств. Говоря языком кибернетики, можно утверждать, что автоматизация как процесс имеет дискретный характер развития. Таким образом, закономерно введение понятия «ступени развития автоматизации».

Ступени автоматизации — своего рода этапы, характеризующиеся достижениями науки и техники по автоматизации и определяемые историческим совершенствованием производства. Развитие систем автоматизации идет от простых и примитивных к сложным и более совершенным. Применяя этот «ступенчатый» подход, можно выделить не только этапы последовательного развития автоматизации в прошлом и определить этапы развития в настоящем, но и при помощи методов прогнозирования «заглянуть» немного в будущее.

Следует обратить внимание на терминологическую особенность: рассматривая системы управления в масштабе процессов, мы говорим о «системах автоматического управления» (АСУ); переходя к масштабу производств и предприятий, мы применяем термин «автоматизированные системы управления» (АСУ). Вследствие неравномерного развития автоматизация разных производств находится на различных ступенях.

Степень автоматизации. Самый большой разницей имеется в понимании терминов, характеризующих степень автоматизации производства. В практике исследований и проектирования автоматизации для оценки ее степени ныне особенно часто применяют три термина: «частичная автоматизация», «комплексная автоматизация» и «полная автоматизация».

Отметим, что автоматизация в своем развитии не обязательно должна проходить через все степени. Так, например, новое проектируемое производство при условии достаточной изученности его в качестве объекта автоматизации можно с самого начала создавать как комплексно-автоматизированное или даже как производство-автомат. Кроме того, в ряде случаев переход от одной степени автоматизации к другой, более высокой, может быть осуществлен непосредственно, минуя промежуточную степень.

Уровень автоматизации производства. При практическом употреблении таких понятий, как степень автоматизации, трудно разделить два аспекта

рассмотрения — количественные и качественные характеристики систем автоматического управления. Отсюда закономерно появление термина «уровень автоматизации», получившего в последние годы большое распространение. Этим термином уже достаточно широко пользуются, хотя официально он не принят международными организациями.

Понятия об уровне автоматизации логически вытекают из определения автоматизации, связи ее с производством, а также с развитием техники автоматизации и ее базой — приборостроением. Служит оно в основном для сравнения автоматизации различных однородных производств.

В промышленности имеется огромное число самых разнохарактерных объектов управления, что вытекает из многообразия технологических процессов и производств. Следует заметить, что при кибернетическом подходе обнаруживается известная общность их как объектов управления.

В чем сущность кибернетического подхода? В основе кибернетики лежит идея об общности и единстве законов, которым подчиняются процессы управления, независимо от того, где они протекают — в технических, биологических или общественных системах.

В условиях производств вопрос о разработке показателей уровня технологии, продукции и оборудования в какой-то степени решен, и подобные показатели уже используются при оценке технического уровня тех или иных производств. Однако проблема оценки уровня автоматизации до сих пор изучена недостаточно. Между тем, в ряде отраслей промышленности (пищевой, электротехнической, металлургической, машино- и приборостроении) в результате длительных и обширных исследований были разработаны и ныне применяются методики для оценки уровня механизации и автоматизации производственных процессов.

Среди проектировщиков автоматизации химической промышленности существует довольно распространенное мнение (по нашему мнению, совершенно ошибочное), что уровень автоматизации производства тем выше, чем выше удельный вес капиталовложений на его автоматизацию. Этот вопрос имеет принципиальное значение и крайне важен для оценки уровня автоматизации. Нам приставляется, что такой показатель, как удельный вес капиталовложений на автоматизацию в общих капитальных затратах на технологическое оборудование и автоматизацию, можно принять лишь для приближенных сравнений оснащения средствами автоматизации отдельных групп производств, но вовсе не технического уровня автоматизации.

Техническими показателями уровня автоматизации могли бы служить объем автоматизации параметров управления, степень использования информации для целей автоматического управления, степень автоматизации аналитического контроля и т. п.

Ниже излагаются соображения по созданию методики укрупненного определения показателей технического уровня автоматизации производственных процессов для условий промышленности:

1. Назначение методики — определение показателей, характеризующих технический уровень автоматизации производственных процессов предприятий и группы предприятий отраслей промышленности.

2. В методике должны быть изложены:

а) основные определения автоматизации производственных процессов в промышленности и ступеней ее развития;

б) определение показателей технического уровня автоматизации технологических процессов производств и предприятий;

в) методические указания по определению технического уровня автоматизации основных видов производств и работ.

3. Показатели уровня автоматизации определяются:

а) для оценки фактического состояния автоматизации производственных процессов действующих объектов промышленности, а также намечаемых к строительству новых объектов;

б) для изучения динамики развития автоматизации за различные периоды времени и прогнозирование ее;

в) для выявления первоочередных объектов производств и предприятий при разработке мероприятий по автоматизации;

г) для возможности сопоставления показателей, характеризующих технический уровень автоматизации по соответствующим видам отечественных и зарубежных производств, предприятий и отраслей промышленности;

д) для получения исходных данных при разработке плановых нормативов перспективного технического уровня автоматизации технологических процессов.

4. В основу определения показателей технического уровня автоматизации должны быть положены главным образом натуральные показатели.

Создание и применение методики для действующих и вновь проектируемых производств и предприятий позволит перевести планирование и прогнозирование развития автоматизации на более точный математический язык. Однако при самой совершенной системе показателей количественный анализ нужно дополнять логическим. Это тем более необходимо при укрупненных показателях.

Проводя аналогию, можно видеть, что одним из основных показателей оценки состояния механизации в строительстве является уровень механизации

ции работ, который для отдельных видов работ в процентах определяется отношением объема механизированных работ к общему объему выполняемых работ [14].

$$X = \frac{V_{\text{мех}}}{V_{\text{общ}}} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

где $V_{\text{мех}}$ — объем работ, выполняемый механизированным способом;
 $V_{\text{общ}}$ — общий объем работ.

В зависимости от вида работ $V_{\text{мех}}$ и $V_{\text{общ}}$ могут выражаться в м³, м², м, тыс. руб. и др.

Для практического расчета в результате обширных исследований рядом ведущих научно-исследовательских институтов отрасли разработана методика укрупненного определения уровня механизации и автоматизации производственных процессов в машиностроении [15].

В 1974 году аналогичная методика была разработана институтом «Гипроавтотранс» для авторемонтных предприятий.

В основе этих методик лежит по сути дела смысловое значение привлекательного на первый взгляд выражения показателя уровня механизации отдельных видов работ в строительстве (2.1), которое перенесено и на укрупненное определение уровня механизации и автоматизации технологических процессов и в других отраслях. Большая субъективность оценок состояния механизации и автоматизации различных агрегатов и производственных процессов ограничивает применение приведенных выше методик рамками приближенной оценки состояния механизации и автоматизации промышленного объекта и его подразделений.

Перспективными являются экономические оценки уровня автоматизации, ибо они в определенной степени стимулируют также повышение технической эффективности систем автоматического управления и улучшение социально-гигиенических условий труда. Хотя в большинстве случаев они являются обобщенными и технически слабо конкретизированы.

В статье А. А. Левина [16] излагается один из возможных методов получения конкретных оценок для определения линий будущего развития приборостроения. В качестве рабочей гипотезы относительно формы кривой переходного процесса на предстоящие 15 лет предлагается остановиться на гистерезисной полупетле (рис. 2.1), где в качестве единицы измерения «уровня автоматизации» используется доля капитальных вложений на автоматизацию (А, %) в их общем объеме.

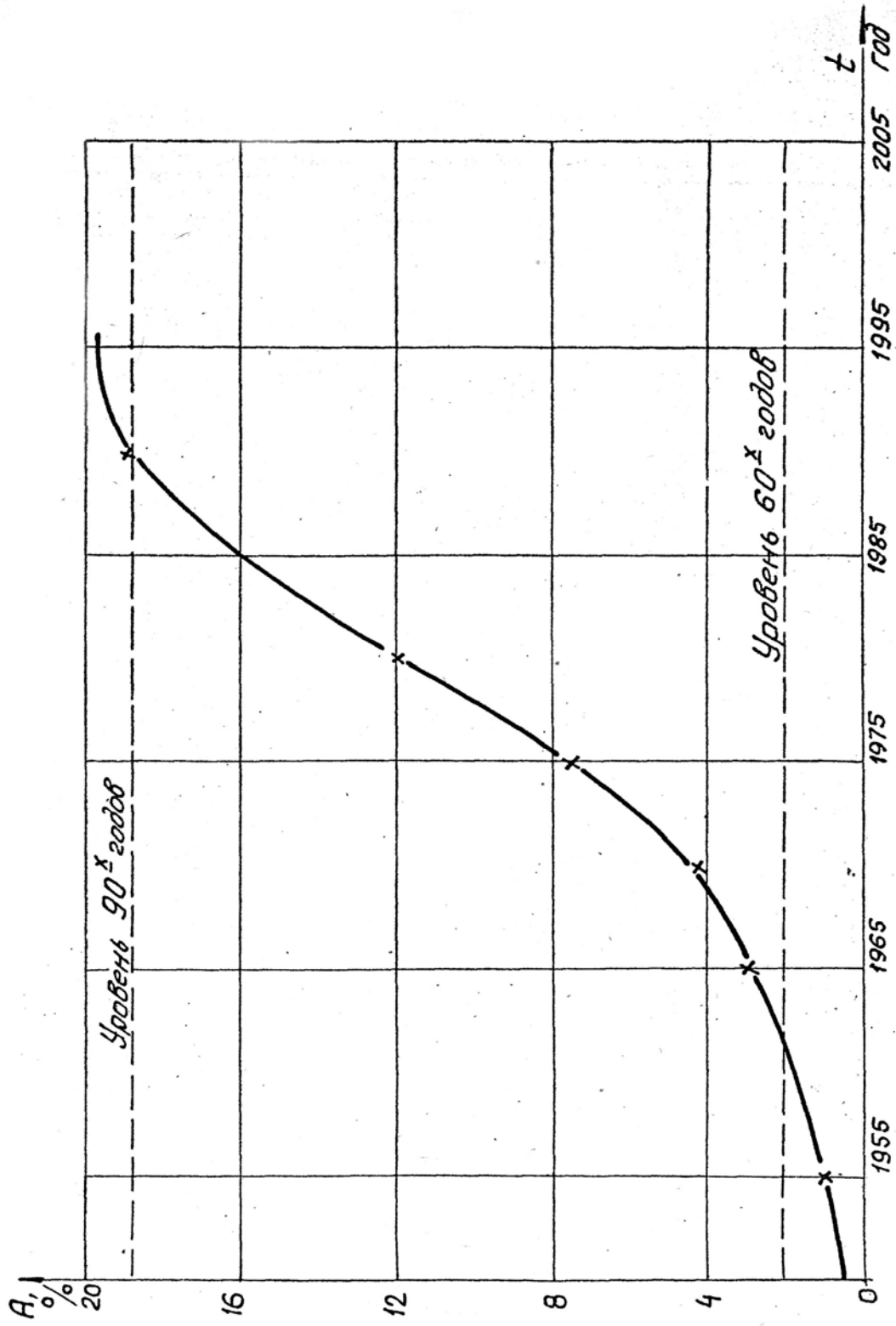


Рис. 2.1. Гистерезисная полупетля доли капитальных вложений на автоматизацию (A, %) в их общем объеме

С методической точки зрения следует выделить оценку уровня автоматизации, которая по существу аналогична показателю использования информации для целей автоматического управления (2.3) и представляет собой отношение:

$$Y_A = \frac{I_a}{I_n}, \quad (2.2)$$

где Y_A — оценка уровня автоматизации;
 I_a — количество информации, перерабатываемое автоматически;
 I_n — количество информации, необходимое для ведения производственного процесса на заданном уровне.

Математические выражения показателей технического уровня автоматизации

1. Показатель использования информации для целей автоматического управления определяется удельным весом общего числа параметров автоматического управления в сумме параметров автоматического контроля и управления

$$Y_{и} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_{ai}}{\sum_{i=1}^n K_{ai} + \sum_{i=1}^n Y_{ai}}, \quad (2.3)$$

где $\sum_{i=1}^n Y_{ai}$ — общее число параметров автоматического управления процессом;
 $\sum_{i=1}^n K_{ai}$ — общее число параметров автоматического контроля процесса.

2. Показатель объема автоматизации управления определяется удельным весом числа параметров автоматического управления в общем числе параметров управления.

$$Y_o = \frac{Y_a}{\sum_{i=1}^n Y_i}, \quad (2.4)$$

где Y_a — число параметров автоматического управления процессом;
 $\sum_{i=1}^n Y_i$ — общее число параметров управления процессом.

При подсчете числа параметров автоматического управления процессом и общего числа параметров резервное и запасное

3. Показатель прогрессивности систем автоматического управления определяется удельными весами числа систем автоматического управления каждого вида (с учетом коэффициентов, условно характеризующих новизну и сложность систем) в общем числе систем автоматического управления.

$$Y_n = \frac{Y_{na} r}{\sum_{i=1}^n Y_{ai}}, \quad (2.5)$$

где Y_{na} — число систем автоматического управления процессом каждого вида;
 r — коэффициент, условно характеризующий новизну и сложность систем (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Коэффициенты, условно характеризующие новизну и сложность систем автоматического управления (САУ)

Категория САУ	Коэффициент r	Категория САУ	Коэффициент r
1	0,2	6	0,9
2	0,3	7	1,0
3	0,4	8	1,5
4	0,6	9	2,0
5	0,8	10	3,0

4. Показатель централизации автоматического управления определяется удельным весом числа параметров централизованного управления в общем числе параметров управления.

$$Y'_u = \frac{Y_u}{\sum_{i=1}^n Y'_i}, \quad (2.6)$$

где Y_u — число параметров централизованного автоматического управления производством;

$\sum_{i=1}^n Y'_i$ — общее число параметров управления производством.

Как известно, системы автоматического контроля и автоматизации промышленного объекта с участием человека ведут его технологические процессы на заданном техническом уровне. При этом постоянное во времени отслеживание их позволяет обеспечить нормальное протекание этих процессов. Для чего в характерных местах всей производственной схемы осуществляется контроль величины технологических параметров, информация о которой является первичным условием работы всех систем контроля, управления и всего объекта в целом. Эта информация поступает обслуживающему персоналу или непосредственно в системы автоматического управления.

Именно здесь можно конкретно и объективно определить, какое количество технологических параметров контролируется человеком, а какое реализуется производственной системой, т. е. идет на автоматизацию процессов. Следовательно, информационный сам по себе приведенный выше показатель использования информации для целей автоматического управления (2.3), по нашему мнению, наиболее полно характеризует технический уровень автоматизации и может найти самостоятельное широкое практическое применение. Подробный анализ его приз водится ниже.

Изменение режима протекания производственных процессов производится конкретным в каждом случае технологическим оборудованием и его исполнительными органами, установленными в определенных местах технологической схемы. Информация о величине технологического параметра, поступающая на автоматическое управление, при достижении своего конкретно наперед заданного значения, является «командой» на изменение разнообразия протекания технологического процесса. Такова элементарная схема автоматического управления.

При ручном управлении человек получает информацию о величине технологических параметров, перерабатывает ее, принимает соответствующее решение и вносит изменения в режим работы вверенного ему объекта.

Прямая связь показателя использования информации для целей автоматического управления (2.3) с величинами параметров протекания технологических процессов и соответствующая функциональная зависимость его от количественного соотношения этих параметров являются основными преобладающими качествами информационного метода при определении критерия организованной материи.

Общеизвестно, что автоматическое управление отдельно взятым исполнительным механизмом в различных производственных схемах может осуществляться одним или несколькими технологическими параметрами автоматического управления. Соответственно, показатель объема автоматизации управления (2.4) не связан количественной, а следовательно, и качественной зависимостью с количеством технологических параметров автоматического управления. Он характеризует относительный объем автоматизации управления технологическим оборудованием и с этой стороны может

дополнять показатель использования информации для целей автоматического уравнения (2.3).

Показатель прогрессивности систем автоматического управления (2.5), как можно видеть из его математического выражения, является укрупненным показателем и несет в себе субъективность. Он вместе с показателем централизации автоматического управления (2.6) также дополняет соответственно две другие стороны основного показателя (2.3), что удобно при научно-техническом исследовании состояния автоматизации.

Первичным объектом определения технического уровня автоматизации является технологический процесс. Источниками информации для расчета показателей технического уровня автоматизации производств являются: материалы проектно-технической документации (в основном по разделам технологии, автоматизации и технико-экономических показателей) — для новых производств; материалы службы автоматизации, планово-отчетная документация и данные статистической отчетности предприятия — для действующих производств. Материалы типовой проектно-технической документации в силу своей концентрации технических решений и большой законодательной силы их, если токовые, конечно, имеются в нужном и достаточном количестве, представляют собой саккумулированный источник информации, который трудно переоценить при прогнозировании эволюции автоматизации технологических процессов промышленного объекта.

Как правило, параметр автоматического управления включает в себя соответствующий параметр автоматического контроля. В данном случае поступающая текущая информация о контролируемом технологическом параметре саморегулируется соответствующей системой автоматического управления. В то время как текущая информация самостоятельного (или объединенного с другими самостоятельными) параметра автоматического контроля воспринимается и реализуется в принятых решениях и действиях обслуживающего персонала. Действия обслуживающего персонала, т. е. человека, могут быть самые разнообразные, начиная от простого наблюдения за протеканием производственного процесса и ручного управления им и кончая настройкой этого процесса.

Все точки отбора информации действующих и намечаемых к строительству производственных систем, используемые для качественного и количественного контроля за нормальным протеканием технологических процессов, вместе со своими системами автоматического контроля представляют собой по сути дела параметры автоматического контроля. Одни из них остаются самостоятельными параметрами автоматического контроля, а другие входят в состав параметров автоматического управления.

Исходя из этого, все контролируемые производственные параметры промышленного объекта и его подразделений можно подразделить и одновременно сгруппировать в две группы только по одному признаку: куда по-

ступает оперативная информация о контролируемой величине параметра. В первом случае она поступает на автоматический контроль, т.е. в конечном счете, человеку, во втором, минуя человека, непосредственно на автоматическое управление. При этом другие свойства и качественные признаки контролируемых параметров становятся средневзвешенными и, естественно, не учитываются. В том числе, не рассматриваются возможные классификации названных параметров по другим признакам и необходимая для нормального протекания производственных процессов их величина.

Соответственно, критерий, определяющий технический уровень автоматизации технологических процессов промышленного объекта удельным весом количества параметров автоматического управления в сумме параметров автоматического контроля и управления, по нашему мнению, характеризуется достаточно объективно. Следовательно, показатель использования информации; для целей автоматического управления (2.3) лучше других предложенных показателей отражает физическую сущность технического уровня автоматизации производственных процессов.

В то же время информационный метод, в котором первичным и основным является контролируемый технологический параметр с определенно направленным использованием поступающей текущей информации о нем, одинаково приемлем для оценки уровня автоматизации процессов, производств, предприятий, малых и больших систем автоматического контроля и управления. Все это вместе взятое дает возможность для повседневной практики одним критерием с большой достоверностью оценивать организацию конкретно рассматриваемого производственного подразделения, т. е. фактическое состояние его автоматизации.

Анализируя параметр управления как таковой, можно увидеть, что во многих случаях трудно сделать разграничение между параметром ручного и автоматического управления. Прежде всего, в практике принципиальные схемы управления механизмом, агрегатом, технологическим процессом и т. д. часто предусматривают по необходимости в нужный момент возможность выбора оператором режима их работы: «ручное управление» или «на автоматике».

В основном, даже обычная элементарная принципиальная схема «ручного управления» приводом того или иного механизма или агрегата для продолжительной работы его после кратковременного пускового импульса управления переходит на автоматическую блокировку пусковой кнопки и предусматривает необходимую автоматическую защиту с автоматическим отключением перегруженного или поврежденного привода. Все это вместе взятое говорит о том, что такой параметр управления в нашем конкретном случае больше подпадает под определение параметра автоматического управления, что упрощает классификацию параметров. Аналогичный подход

наблюдается и в элементарной принципиальной схеме параметра автоматического контроля.

Определение критерия автоматизации на основе информации о параметрах контроля и управления производственных процессов рассматриваемого промышленного объекта наиболее полно отражает его естественную сущность, а, следовательно, и состояние автоматизации этого объекта. Все вышесказанное исключает субъективность такого определения и делает его конкретно обоснованным. Что, в свою очередь, делает такой информационный метод оценки технического уровня автоматизации наиболее приемлемым из всех ранее известных методов.

2.3. Основные тенденции развития автоматизации

Академик В. А. Трапезников, определяя некоторые закономерности систем управления, выявляет условия экономичности управляемого комплекса с позиций макроподхода, рассматривая его как единое целое [17]. Сложный управляемый комплекс состоит из множества элементов, находящихся под разнообразными воздействиями, имеющими случайный характер. Поэтому такой комплекс закономерно рассматривать с позиций статистической физики.

Из статистической физики известно, что для систем, состоящих из большого числа элементов, например, для некоторого объема газа, имеется соотношение

$$H = a \ln V, \quad (2.7)$$

где H — энтропия;
 a — постоянная;
 V — неупорядоченность системы.

Упорядоченность системы $A = 1/V$.

Чем большее число элементов включает управляемый комплекс, тем более справедливо для него выражение (2.7).

Известно, что энтропия системы, предоставленной самой себе, возрастает; иначе говоря, в естественных условиях возрастает ее неупорядоченность, система стремится к беспорядку. Противостоять нарастанию беспорядка могут только процессы управления.

Процесс управления — это по существу борьба с неупорядоченностью. Но процесс управления связан с переработкой, и использованием информации.

В теории информации мера неопределенности сопоставляется термодинамическому понятию энтропии, а количество информации равно уменьшению этой неопределенности. Тогда из уравнения (2.7) находим

$$I = H_* - H = a \ln \frac{B_*}{B} \quad (2.8)$$

и

$$B = B_* e^{-I/a}, \quad (2.9)$$

где I — количество «управляющей» информации;
 B_* — неупорядоченность, соответствующая энтропии H_* .

Неупорядоченность комплекса приводит к неполному использованию его эффективности. Поэтому можно считать, что эффективность комплекса

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\max} [1 - f(B)], \quad (2.10)$$

где \mathcal{E}_{\max} — эффективность идеально работающего комплекса;
 $f(B)$ — некоторая функция.

Примем, что

$$f(B) = cB^d,$$

что охватывает весьма разнообразные случаи. Здесь c и d — постоянные.
Тогда получим

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\max} (1 - cB_*^d e^{-Id/a}).$$

Обозначая с $B_*^d = B_0$ и $a/d = I_0$, найдем

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\max} (1 - B_0 e^{-I/I_0}), \quad (2.11)$$

где B_0 — «эффективная» неупорядоченность комплекса при его исходном состоянии.

Выражение (2.11) получилось таким же, как и в случае, если $f(B) = B$. Поэтому можно отбросить выражение «эффективная» и величину B_0 называть просто неупорядоченностью комплекса при его исходном состоянии.

Неупорядоченность управляемого комплекса В будет определять как меру отклонения его состояния от идеального, обеспечивающего предельно возможное достижение цели.

В зависимости от источника неупорядоченности В имеет различное математическое выражение, но всегда $V < 1$. Например, В оказывается пропорциональным величине математического ожидания относительного времени простоев оборудования.

Для управляемого комплекса неупорядоченность В является широким понятием, она зависит от несогласованности потоков материалов и энергии, простоя агрегатов, несвоевременности поступления информации, колебаний размеров деталей, неотделенности примесей в продуктах и других причин, снижающих эффективность управляемого комплекса.

Из уравнения (2.11) видно, что зависимость эффективности управляемого комплекса от количества управляющей информации выражается экспонентой (рис. 2.2).

Обратимся к выражению (2.11). Эффективность комплекса Э является широким понятием: это может быть производительность или доход предприятия, отрасли, всего народного хозяйства; это может быть качество продукции, поскольку оно эквивалентно ее количеству; это может быть степень выполнения стратегической задачи и многое другое. Примем для наглядности, что эффективность характеризует годовой доход предприятия (руб/год). Будем считать, что стоимость системы управления, реализующей сбор и преобразование управляющей информации, пропорциональна количеству информации. Через К (руб) обозначим стоимость системы управления.

Тогда формула (2.11) приобретает вид

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\max} (1 - V_0 e^{-K/K_0}) \quad (2.12)$$

Усложнение системы управления, связанное с дополнительным капиталовложением dK , дает прирост эффективности комплекса $d\mathcal{E}$.

Срок окупаемости дополнительных капиталовложений

$$T_{\text{ок}} = \frac{dK}{d\mathcal{E}}.$$

Тогда из выражения (2.12), учитывая, что $V = V_0 \exp(-K/K_0)$ и что при $T_{\text{ок}_0} K = 0$, находим

$$T_{\text{ок}} = \frac{V_0}{V} T_{\text{ок}_0}, \quad (2.13)$$

где $T_{\text{ок}_0}$ — срок окупаемости дополнительных средств, вкладываемых при исходном состоянии комплекса, то есть при его неупорядоченности V_0 (рис. 2.2).

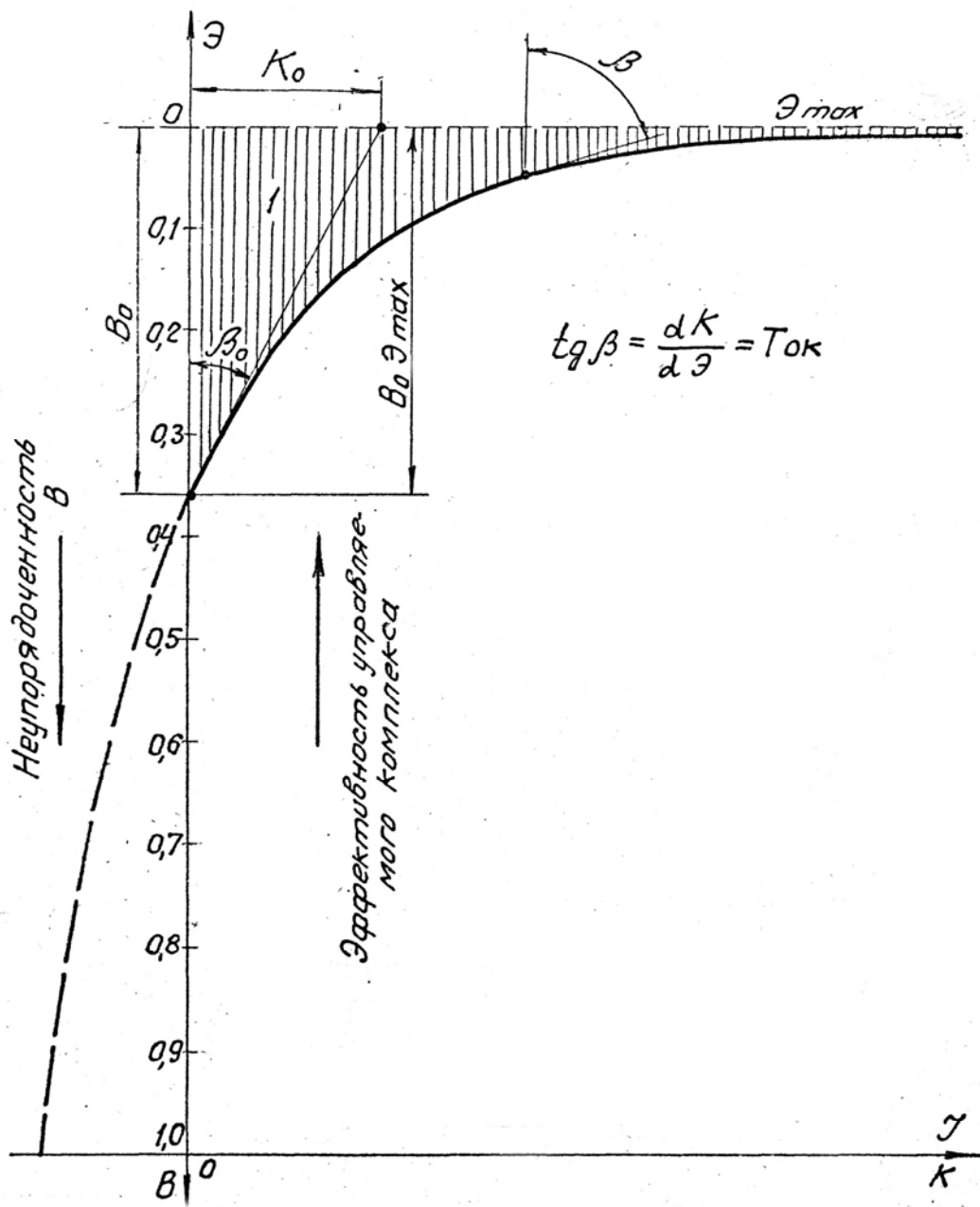


Рис. 2.2. Эффективность управляемого комплекса

Э — эффективность управляемого комплекса; I — количество управляющей информации; К — стоимость системы управления; 1 — потери от неупорядоченности.

Из уравнения (2.13) очевидно, что срок окупаемости обратно пропорционален неупорядоченности B .

Выражения (2.11) и (2.13) позволяют сделать ряд выводов.

1. По мере усложнения системы управления, увеличения объема управляющей информации и ее «детализации» приобретаемая дополнительная эффективность уменьшается и срок окупаемости системы растет. Поэтому «детализация» системы управления не должна превосходить известного, экономически обоснованного уровня.

Заметим, однако, что речь идет именно об усложнении системы управления, а не о простом увеличении ее объема.

2. Экономически целесообразно оставлять в управляемом комплексе долю неупорядоченности («шума») тем большую, чем более сложен процесс управления данным комплексом.

3. Формулы (2.11) и (2.13) показывают, что необходимо стремиться к равномерному уровню автоматизации как на отдельных участках производства, так и в отношении различных предприятий. Этот уровень характеризуется одинаковым сроком окупаемости и, видимо, примерно одинаковой величиной неупорядоченности B .

4. По достижению верхнего экономически целесообразного уровня автоматического управления, то есть наибольшего экономически оправданного срока окупаемости ($T_{ок} = T_{ок\ max}$) и, следовательно, исчерпания резервов становится особенно актуальным переход к новой, более производительной технологии, обеспечивающей повышенное значение \mathcal{E}_{max} .

При новой технологии в силу неизученности процесса может быть использована лишь относительно простая система управления. Поэтому при переходе к новой экспоненте рис.2.3 характеризующая точка сместится влево. По мере изучения процесса и совершенствования системы управления точка начнет перемещаться по экспоненте вправо, вплоть до кривой $T_{ок} = T_{ок\ max}$. Затем все повторится. Видимо, технический прогресс можно иллюстрировать зигзагообразной кривой рис. 2.3.

Высказанные соображения носят общий характер, однако можно надеяться, что их развитие позволит выносить полезные суждения и о комплексах, подлежащих автоматизации, и об эффективности систем управления. Для этого нужно разработать простые методы определения неупорядоченности B и выявления главных источников «шума» на основе несложных наблюдений за простыми агрегатов, «пролеживанием» материалов и информации и колебаниями качества продукции. Это даст возможность уже при первоначальных обследованиях выносить четкие суждения об имеющихся резервах и эффективности автоматизации в объектах различных классов. Принесет несомненную пользу и развитие способа оценки общего количества информации, необходимой для управления комплексом, а также оценки стоимости единицы информации в системе управления с тем, чтобы сопоставить разные системы. Такой макроподход при изучении различных аспектов проблемы управления, особенно в так называемых «больших» системах, должен развиваться.

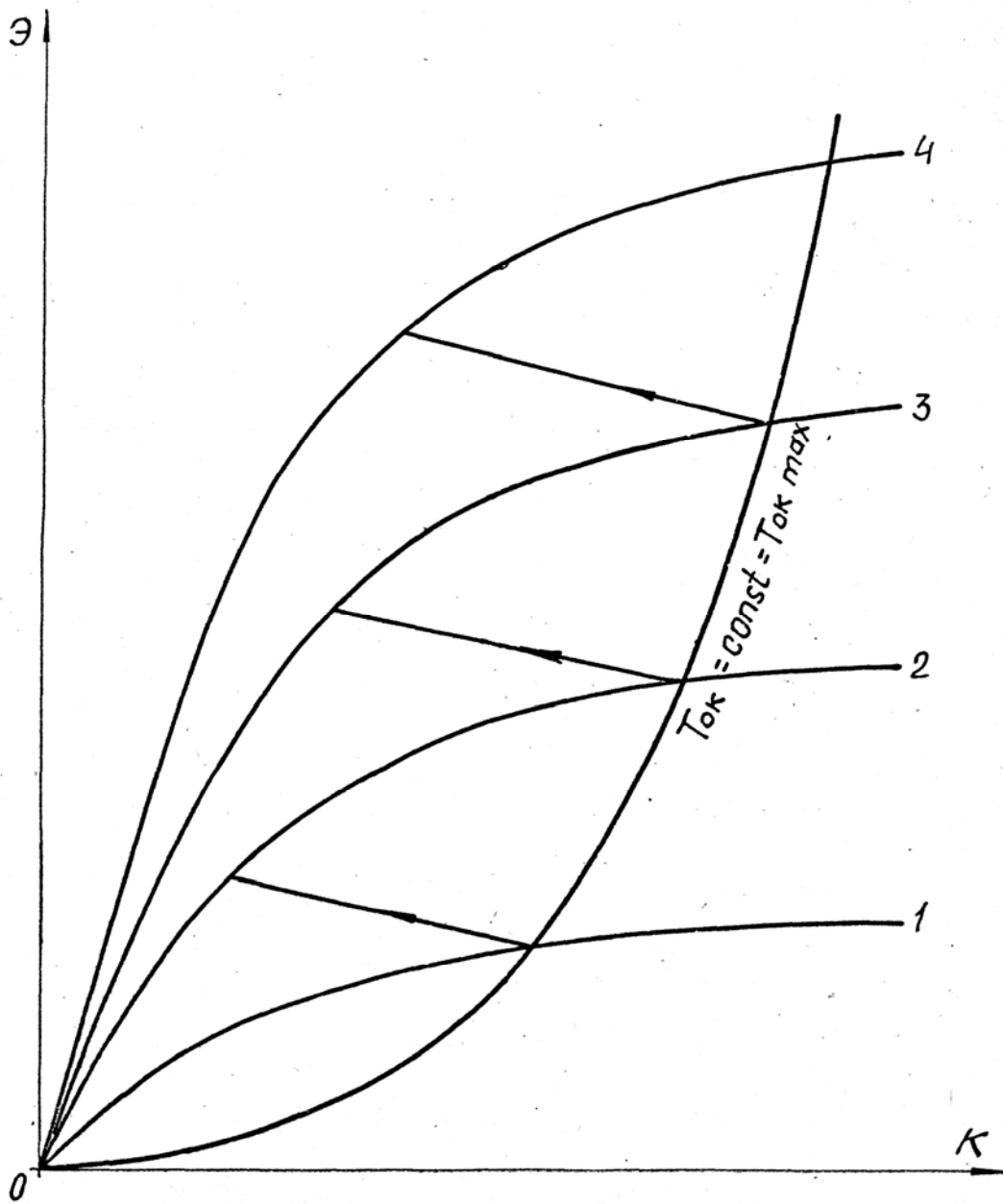


Рис. 2.3. Кривая прогресса по В. А. Трапезникову

Э — эффективность управляемого комплекса; К — стоимость системы управления; 1–4 — экспоненты, соответствующие все более эффективным технологиям.

Общими тенденциями в технике централизации средств контроля и управления являются:

- переход к малогабаритным и миниатюрным инструкциям щитовых приборов;
- сокращение числа выводимых на щит управления приборов для контроля за параметрами процессов;
- комбинирование аппаратуры контроля, управления и сигнализации;
- создание условий, облегчающих и уыбстряющих; восприятие оператором соответствующей информации.

Разумеется, генеральное направление в области централизации — это внедрение информационных и вычислительных машин. Но пока значительная часть производств будет оснащаться в основном средствами стандартной приборной техники, целесообразно выбрать единый подход к централизации управления на основе указанных средств.

Логический анализ положения и тенденций развития техники централизации управления дает основание сделать некоторые предварительные рекомендации для проектирования систем оперативного управления, использование которых может повысить надежность данных систем.

Рекомендации для проектирования систем оперативного управления

1. Следует отказаться от массового применения регистрации параметров процесса. Что касается приборов для регистрации параметров в целях учета расхода материально-энергетических ресурсов, то их нужно заменить необходимыми счетчиками (газа, воды, пара, электроэнергии и т. д.).

2. Автоматические регуляторы, как правило, нужно размещать поближе к местам установки исполнительных механизмов и регулирующих органов, в основном на местных щитах или группировать по месту.

3. Основным видом информации о процессе должны быть сигналы об отклонениях технологических и других параметров от заданного регуляторами или оператором режима. Здесь возможно применение двух видов сигналов: предупредительных и предаварийных.

4. Необходимо постепенно перейти от центральных щитов и пультов с индивидуальными связями к системам централизованного автоматического контроля и управления с обегаящими устройствами, групповым вызовом контролируемых параметров и другими современными усовершенствованиями

5. Для минимизации размеров щитов и пунктов управления необходим более жесткий подход к определению оптимального объема и вида выводимых

мой на каждую ступень управления снизу доверху информации о ходе технологических процессов и работе производств и предприятия в целом, частоты подачи этой информации, а также к выделению информации, нужной для управления.

Применение управляющих вычислительных машин (УВМ) ни в коей мере не умаляет роли и значения методов автоматизации, основанных на применении локальных автоматических регуляторов, связанных между собой в единую систему автоматического управления производственного процесса. Указанные методы базируются и будут базироваться на новых современных приборах и средствах автоматизации, выпускаемых и осваиваемых приборостроительной промышленностью. Необходимо вообще подчеркнуть ошибочность наблюдаемого в настоящее время ослабления внимания к локальным системам автоматизации и перенесения центра тяжести на УВМ.

В США и некоторых других странах второй этап внедрения вычислительной техники — работу ЭВМ с выполнением функций управления в замкнутом контуре без участия оператора — не считают высшей стадией применения вычислительных машин и завершением всех исследовательских работ в этой области. Дальнейшее усовершенствование алгоритмов управления, расширение функций систем управления в ряде случаев создают возможность автоматически управлять технологическими процессами без вычислительных машин, приводят к большему автоматизму в работе производства посредством внедрения более простых, локальных систем автоматического управления.

Однако это вовсе не означает, что такое направление является генеральной линией технического прогресса; речь идет главным образом об использовании вычислительных машин в системах управления масштаба отдельных производств. Что же касается систем управления в масштабе предприятия в целом, то здесь, очевидно, надолго сохранится направление дальнейшего применения ЭВМ и совершенствования функций системы и ее технических средств для повышения технико-экономической работы всего предприятия.

С другой стороны, имеется ярко выраженная тенденция развития технологии в промышленности — интенсификация процессов путем увеличения напряженности параметров, скоростей реакций и пр. Огромные возможности открывает ведение процессов в режимах, близких к критическим. Это требует в ряде случаев внедрения сложных систем автоматического управления и, что особенно важно, систем с функциями автоматической защиты производств от аварийных ситуаций, в том числе с применением вычислительной техники.

Фирмы США и других западных стран считают наиболее эффективным использование ЭВМ для новых предприятий и производств, где возможно создание всей системы управления комплексно.

В ближайшее время ожидается широкое внедрение моделирующих аналоговых управляющих вычислительных машин (АУВМ), которые в 5—10 раз дешевле цифровых. Такие машины уже получили распространение для целей управления. Наибольшим затруднением для внедрения этих гибких устройств пока является то, что каждую машину необходимо создавать применительно к данному объекту. Поэтому нужна разработка универсальной конструкции, которую можно было бы использовать и в других случаях.

В дальнейшем АУВМ, несомненно, будут использоваться для решения крупных задач регулирования. В настоящее время эти машины предназначены для решения сравнительно несложных задач и их применение оправдывается при сравнительно низких затратах.

Использование техники молекулярной электроники значительно повышает надежность вычислительной машины. Кроме того, конструкция функциональных блоков, построенных на микромодулях, сокращает число соединений и исключает необходимость в индивидуальной изоляции, которая нужна для обычных конструкций на полупроводниках. Технология изготовления функциональных модулей весьма проста, но требует применения исключительно чистых материалов. В результате использования модулей в микрогабаритных цифровых электронных вычислительных машинах (МЦЭВМ) удалось успешно решить вопросы внутренних связей элементов, теплового рассеяния, электрического взаимодействия и герметизации сложного оборудования.

Разработка и внедрение методов оптимального проектирования в практику работы проектных институтов даст возможность технически перевооружить производства на научной основе, значительно облегчить и повысить эффективность автоматизации, позволит соединить ее с технологией в единый комплекс и ликвидировать исторически образовавшийся разрыв между ними. Для реализации этих задач представляется необходимым развешивать научные исследования по весьма эффективному техническому направлению — разработке саморегулирующихся технологических процессов на основе оптимального проектирования технологического оборудования и аппаратуры, создания гармоничных структурных и схемных решений.

Большой интерес представляют получающие быстрое распространение за рубежом разработки адаптивных (самоприспосабливающихся) систем автоматического управления, способствующих надежному функционированию производства по определенным технико-экономическим критериям. Это направление носит больше межотраслевой характер и в значительной мере является обобщающим. Специфика отдельных производств здесь уступает место специфике систем управления для разных классов производств как объектов управления.

2.4. Автоматически выравниваемые производственные параметры

Одним из основных, назначений автоматизации управления производственными процессам являются уменьшение неопределенности протекания их, уменьшение отклонений: этих процессов от желаемого их течения. Наукой об управлении, т. е. целенаправленном воздействии на системы, а также о процессах передачи и обработки информации и их автоматизации, которые отражал сущность процессов управления, является кибернетика. Она применима к любым системам и служит для того, чтобы познать закономерности процессов управления, обработки информации в природе, технике, обществе и использовать их для синтеза и совершенствования систем.

Кибернетика существенно углубляет наши познания об окружающем нас мире. Она внесла в наше мировоззрение идею об информационном аспекте материи и энергии. Прежнее классическое представление о мире, состоящем из материи и энергии, уступило место новому представлению о мире, состоящему из трех составляющих: материи, энергии и порождаемой ими информации.

Как и все другие науки кибернетика не только использует всеобщие законы диалектического материализма для изучения явлений и их закономерностей, но и создает искусственные системы, обладающие свойствами, присущими естественным системам, например, автоматы. Фундаментальным понятием ее является обратная связь. Это важнейшее понятие диалектического материализма конкретизировалось в кибернетике.

Она не только способствует познанию окружающего мира, но и помогает осуществлять с помощью технических средств процессы управления. В связи с этим ее методы характеризуются совершенной конкретностью. Без конкретного знания воспроизвести систему управления, в виде технических средств невозможно [2].

Важным элементом, без которого невозможен ни один процесс управления в технических системах, обществе, живом организме является информация. Информация — такое же неотъемлемое свойство материи, как масса и энергия.

Наиболее общее определение информации — это сведения об окружающем мире, полученные в результате взаимодействия с ним. По другому определению под информацией понимается сообщение, устраняющее неопределенность в той области, к которой оно относится. Академик В. М. Глушков дает такое определение: информация — это мера неоднородности распределения материи и энергии в пространстве и во времени, показатель изменений, которыми сопровождаются все протекающие в мире процессы. Информация порождается материальным миром. Она вы-

ражает качественную определенность или количественную меру свойств, состояний, взаимосвязей и взаимодействия вещей, явлений, процессов. Информация может быть в вещах или приведена в действие. Отделяясь от вещей, она служит средством объяснения закономерностей мира и его преобразования.

Понятие информации является основополагающим. Отсутствие единого определения понятия информации объясняется многогранностью данного понятия. Несмотря на различия в определении в настоящее время имеются две различные точки зрения на сущность понятия информации.

Первая трактует информацию как свойство движущейся материи, состоящее в структурности, упорядоченности, разнообразии, организации ее состояний. Суть этой концепции заключается в признании всеобщности той стороны реальных объектов и процессов, которая отражается в понятии «информация» и предполагается применимость данного понятия к неорганическому миру.

Вторая — рассматривает информацию как свойство определенного класса материальных систем, как свойство, которое возникает и обогащается в процессе становления, развития этих систем, их функционального взаимодействия между собой и внешним миром. Такими системами являются, во-первых, живые организмы и их сообщества, во-вторых, человек и человеческое общество, и, в-третьих, созданные человеком кибернетические устройства. Следовательно, согласно этой концепции, информация, заключенная в сигналах источника, может быть извлечена в результате взаимодействия с ним.

Следует отметить работы советских философов, связывающих содержание информации с теорией отражения.

Развивая мысль о том, что свойство отражения присуще всякой материи и проявляется в отношениях между материальными объектами. Только на высоких уровнях организации материи оно может откладываться в памяти высокоорганизованных систем в форме образов, моделей, абстрактных понятий — как знания. Интересна трактовка отношения между управлением и информацией: управление рассматривается как процесс упорядочения материальных объектов, а информация — как процесс упорядочения отражения [2].

В настоящее время используются различные технические устройства переработки информации. В этих устройствах информация преобразуется в различного рода сигналы с последующим ее восстановлением. Существенное свойство информации состоит в ее способности воплощаться в различные сигналы и восстанавливаться из них. Информация передается посредством сигнала — физического носителя ее. В разных системах могут быть различ-

ными по своей природе носители информации: световые, звуковые, химические, электрические, механические, пленки и бумажные документы. Но, независимо от природы носителя, информационные процессы подчиняются общим количественным закономерностям.

Многосторонность и общность информационных понятий является, вероятно, главным недостатком этих понятий. При некритическом применении они дают очень мало информации, однако обоснованное их использование представляет эффективный метод количественной оценки [8].

Очевидно, количественно оценить воздействие фактов на гипотезы можно различными способами. Отсюда следует, что мера информации может быть, вообще говоря, произвольной, лишь бы только она подходила к той цели, для которой вводится, или удовлетворяла требованиям, которые мы считаем необходимыми. В различное время был предложен ряд таких мер, но наиболее полезной и широко употребляемой оказалась та, которая была разработана для анализа систем связи и сейчас называется мерой Шеннона-Винера в честь ученых, первыми развивших теорию информации, которая излагается в Л 10, тесно связана с кодированием, т. е. способом представления сообщений или событий для передачи по каналу.

В широком смысле информацией называются любые сведения, первичным источником которых являются опыт, наблюдение. В обычном словоупотреблении под информацией понимают то свойство сообщений, данных или фактов, которое уменьшает имеющуюся неопределенность истинной ситуации. Информация о наступившем событии устраняет неопределенность о нем. Поэтому тем больше, чем более неопределенным является это предполагаемое событие.

Само понятие информации представляется нам как воспринятое отображение свойств и качеств объектов материального мира. Наша повседневная практика показывает, что невоспринятые нами свойства и качества, характеризующие в данный момент эти объекты, не делают их несуществующими, т. к. процессы природы могут протекать и протекают вне зависимости от наших восприятий. Воспринятая информация может быть абстрагирована от генерирующего ее источника и обработана совместно с другой информацией.

Для качественной и количественной характеристики степени технического совершенства управления производственными процессами на объектах переработки сжиженных углеводородных газов [11] в качестве критерия интеллектуальности промышленного объекта используется оценка уровня автоматизации технологических процессов (2.2), увязанная со смысловым значением и терминологией показателя использования информации для целей автоматического управления (2.3).

Состоящими элементами критерия являются количество параметров автоматического управления производственными процессами и количество параметров автоматического контроля, количественное соотношение которых характеризует качественное использование информации в управлении конкретными процессами. Информация, воспринимаемая непосредственно человеком, предусматривает принятие и реализацию соответствующего решения. Технически более совершенным качеством обладает информация, автоматически используемая в процессе управления.

Как известно, протекающие технологические процессы на промышленном объекте требуют контроля и поддержания в определенных пределах различных изменяющихся во времени параметров, характеризующих работу и определяющих работоспособность и оборудования и отдельных частей его, их состояние и режим функционирования. Объемы и виды автоматических контроля и управления, достаточные для обеспечения нормальной эксплуатации оборудования обслуживающим персоналом и качественного ведения процессов того или иного производства, обычно определяются многолетним опытом проектирования и эксплуатации предприятий конкретного профиля и регламентируются руководящими материалами.

Наиболее типичные функциональные схемы использования информации об отклонении технологического параметра от заданной величины, получаемой и преобразуемой элементами физических устройств на промышленном объекте, показаны на рис. 2.4. Схема (а) предусматривает коммутацию сигнала измеряемой величины только на устройства сигнализации. Выравнивание технологического параметра до нужной величины в этом случае осуществляется с участием в управлении человека, воздействующего на изменение производственного процесса посредством соответствующего изменения режима работы отдельной установки или целой функциональной группы.

Поступление сигнала измеряемого параметра непосредственно на автоматическое управление режимом функционирования технологического оборудования, показанного на схеме (б), оптимизирует величину контролируемого параметра автоматически. Имеющиеся в обыденной практике разнообразие и сочетание функциональных схем измерения и выравнивания технологического параметра позволяют в каждом конкретном случае различить между собой автоматически контролируемые и автоматически управляемые параметры и соответственно раздельно посчитать количество их в том или другом производственном процессе. Частным примером подсчета количества селективных сигналов может служить элемент схемы из номеронабирателя и шагового искателя [18].

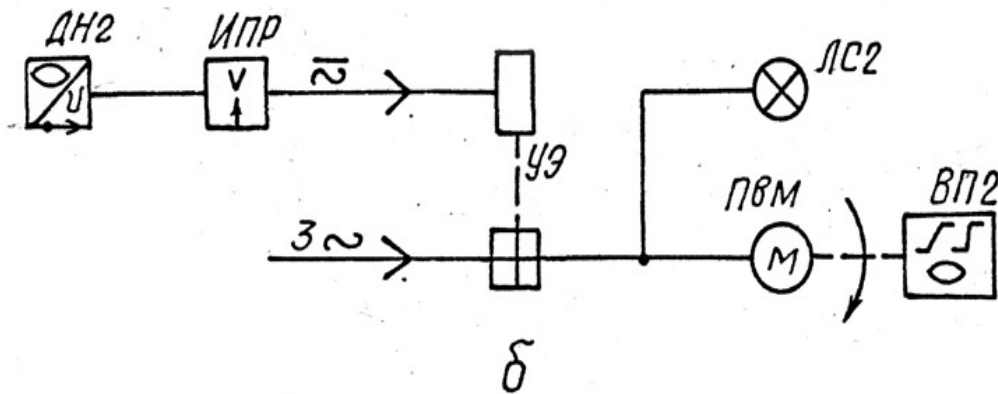
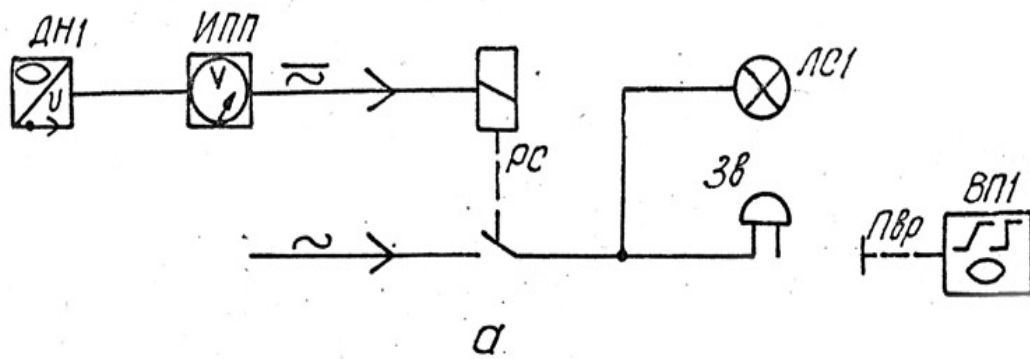


Рис.2.4. Функциональные схемы измерения и выравнивания технологического параметра:

- а — автоматического контроля; б — автоматического управления.
 ДН1, ДН2 — датчики измеряемой неэлектрической величины;
 ИПП — показывающий и регистрирующий измерительный прибор;
 ИПР — регистрирующий измерительный прибор;
 РС — коммутатор сигнала измеряемой величины;
 УЭ — коммутатор подведенной энергии;
 ЛС1, ЛС2 — сигнальные лампы;
 Зв — электрический звонок;
 ПвР — ручной или ножной привод;
 ПвМ — привод исполнительного механизма;
 ВП1, ВП2 — выравниватели технологического параметра.

Исходя из условий работоспособности организованных систем-объектов неорганической природы, определим основные свойства параметров технологических процессов и введем единицы измерения их физической величины:

уп(уп) — единица измерения количества устойчивых по своей контролируемой физической величине производственных параметров;

нуп(нп) — то же неустойчивых.

По условиям эксплуатации неустойчивые по своей контролируемой физической величине параметры технологических процессов подразделяются на параметры автоматического контроля и на параметры автоматического управления производственными процессами:

кап(кп) — единица измерения количества автоматически контролируемых технологических параметров;

ап(ап) — то же автоматизированных производственных параметров.

Определяя основные свойства параметров технологических процессов следует отметить, что автоматизированные производственные параметры (апы) своим воздействием на свою контролируемую физическую величину практически превращают себя в устойчивые параметры технологии.

Достаточно достоверным источником информации о параметрах автоматизации технологических процессов и о их динамике служат эмпирические данные типовых проектов основных объектов переработки сжиженных углеводородных газов — КБ СУГ, которые заменяют собой трудоемкие экспериментальные данные.

В табл. 2.3 представлены параметры автоматического контроля и автоматического управления производственными процессами на кустовых базах сжиженных газов по типовым проектам: ТП–1, ТП–2, 905-12 и 905-12/70, выпущенным и действующим последовательно один за другим, начиная с 15-го августа 1960 года.

Таблица 2.3

**Параметры автоматического контроля и автоматизации
КБ СУГ по типовым проектам, нп**

Наименование технологического объекта или процесса	Обозначение параметра по технической документации и его количество*				Номер технической документации
	автоматического контроля, кп		автоматического управления, ап		
	локального	централизованного	локального	централизованного	
1	2	3	4	5	6
<u>По типовому проекту ТП–1</u>					
Теплотехнический контроль	Д1÷7; Д8х7; Д9х20; Д12Х3; Д13х7; У1÷7; т1х7	Д10х10; С8; К1а; К2а	–	С9	60289; 60290л1; 60388.1,2.

1	2	3	4	5	6
Установка сжатого воздуха	P1x5; C2; t1x2; t2; t3	–	C1	–	60316; 60290л.1,2; 60388л.1,2.
Баллоно-наполнительное отделение	7x9; 14	–	1x9; 2x9	–	60289; 60290л.2;
Склады баллонов					60388л.1.
Отделение освидетельствования баллонов	11x2; 24; 25x2; 31.	–	–	-	60290л.2.
Насосная	27x4	–	–	–	60290л.2.
Котельная	4; 36x6; 37; 43x3; 44x6	–	1	–	60278; 60290л.2; 60388л.1.
<u>По типовому проекту ТП–2</u>					
Насосно-компрессорное отделение	Д1; Д2x2	A1a	K1a	–	82813; 77933л.1; 77930л.1.
Баллоно-наполнительное отделение	Д3x3; Д4x3; Д5; Д6.	A2a; A3a.	–	Д7; Д8.	82813; 77933л.1; 77930л.1.
Железнодорожная эстакада и резервуарный парк	Д9x20; Д10x7; Т1x7; У1x7; У2x7.	–	–	–	82813; 77933л.1,2; 77930л.3.
Котельная	–	–	–	Д11x4; Д12 Х4; Д13x4; С1aХ4; С1aХ4; У3x4.	77931; 77933л.2; 77930л.2.
Насосная	Д18x2	Д16; У6	У4; Т2	Д14; Д15; Д17; У5	77931; 77933л.2; 77930л.2.3.
<u>По типовому проекту 905-12</u>					
Железнодорожная сливная эстакада	1x2; 2; 3; 4x10; 5x10	–	–	–	141430; 139579л.1; 139578л.1.
Резервуарный парк сжиженных газов	1x8; 2x8.	3x8	–	–	141432; 139579л.1,2; 139578л.1.

1	2	3	4	5	6
Насосно-компрессорное отделение и межцеховые технологические трубопроводы	1x2; 2; 3; 4; 5x2; 7x2; 9x2; 10x2; 12x2; 13x2.	–	–	6x2; 6а; 8x2; 11x2.	141432; 139579л.1,2; 139578л.1.
Баллоно-наполнительное отделение	1x5; 2x3; 3x3; 5x2; 6x2.	–	–	4	141433; 139579л.2; 139578л.1,2.
Насосная	1; 2.	–	–	3; 4; 5x2	139599; 139579л.2; 139578л.2.
Котельная	1; 2x5; 3ax5; 4x5; 6; 7ax5; 16x5	–	5aX5; 12x5; 13x5; 14бx5; 15x5.	–	139608; 139579л.3,4; 139578л.2,3.
Химводо-очистка и питательная установка	16x2; 17; 19; 20x2; 23x2; 24x2; 25x2	21x2	–	–	139607; 139579л.4; 139578л.2,3.
<u>По типовому проекту 905-12/70</u>					
Железнодорожная сливная эстакада	1x2; 2x2; 3; 4x10	–	–	–	175318; 203387л.1; 203407л.1.
Резервуарный парк сжиженных газов	6x10; 7x10	–	–	8x10	203363; 203387л.1; 203407л.1.
Насосно-компрессорное отделение	15x2; б/п	–	–	9x3; 10x3; 11x3; 12x3; 13x3; 14; 16ax2; в**.	203364; 203387л.1,2; 203407л.1,2.
Баллоно-наполнительное отделение	17x5; 18x3; 19; 20x6; б/пх2.	–	–	25ax4; 50; в**.	175366; 203387л.2; 203407л.2.
Испарительное отделение	22x2; 23; 26x3; 27.	24; 25.	–	–	203373; 203387л.2; 203407л.2.
Насосная	28x4	33	34; 37а	29x3; 30x2; 36; 36а	203356; 203357; 203387л.2,3; 203407л.2,3.

1	2	3	4	5	6
Воздушная компрессорная	38; 39; 41x3.	–	–	37;40;42; 43.	203351; 203387л.3; 203407л.2.
Сети промплощадки	44x6	–	–	45x5; 46x3; 47	203380; 203386; 203387л.3,4; 203407л.3.

* Обозначения параметров автоматического контроля и автоматизации в табл. 2.3 сохранены те же, что и в исходной проектной документации. Цифра, стоящая после знака умножения, указывает на количество данного параметра, которое превышает единицу.

** Параметр автоматического управления десятикратной вентиляцией.

В табл. 2.3 учтены параметры автоматического контроля и автоматического управления, предусмотренные непосредственно типовыми проектами. Технику подсчета количества параметров автоматического контроля и автоматизации производственных процессов на объектах газовой промышленности можно проследить по принципиальной схеме теплотехнического контроля насосов оборотного водоснабжения — чертеж №203357 типового проекта 905-12/70 (рис. 2.5). Согласно данной схеме количество параметров автоматического контроля, капов: локального (поз. 2.8) — 2 кп, централизованного (поз. 33) — 1 кп. Количество параметров автоматического управления, апов: локального (поз. 34) — 1 ап, централизованного (поз. 29, 30) — 3 ап.

При учете количества параметров автоматических контроля и управления промышленными установками, поставляемыми заводами-изготовителями комплектно с приборами и средствами автоматизации, а также параметров частичной автоматизации, когда элементы автоматики входят составной частью в узлы оборудования, подсчет их производится по технической документации этих установок и суммируется с количеством параметров, предусмотренных проектами. Влияние количества этих параметров на соотношение общего количества параметров усредненное. Поэтому для упрощения подсчета количества параметров в принятом подсчете с некоторым допущением оно не учитывается.

При поступлении одной и той же информации на автоматический контроль и автоматическое управление (поз. 29, 30) информация учитывается единожды, и предпочтение отдается автоматическому управлению, непосредственно изменяющему состояние систем.

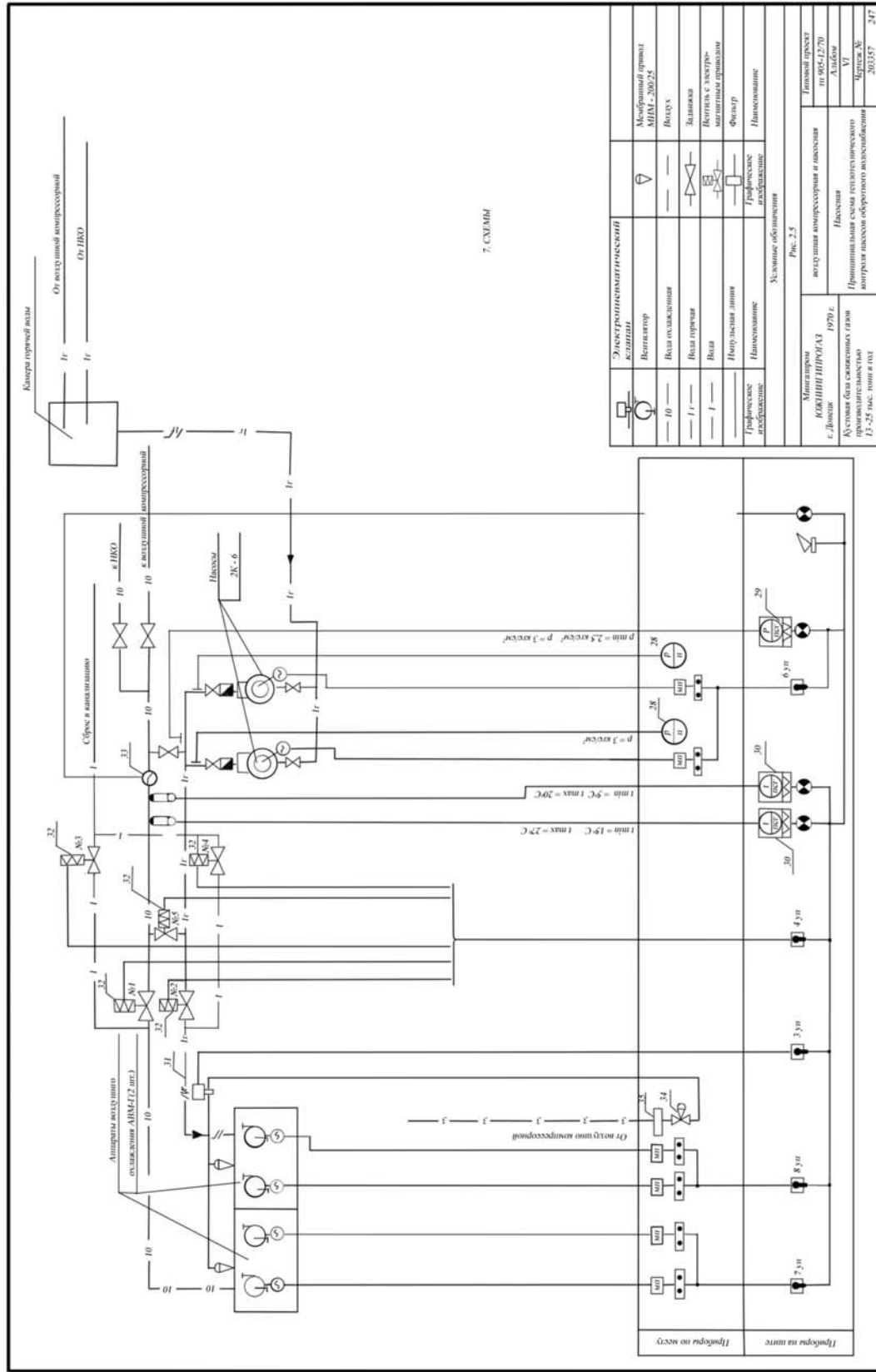


Рис. 2.5. Принципиальная схема контроля

Дублирование необходимой части информации автоматическим контролем дает возможность человеку активно контролировать протекание производственных процессов и творчески воздействовать на них. При необходимости удельное значение количества параметров автоматического контроля дублируемой части в общем количестве информации рассчитывается отдельно.

Техническое совершенствование методов и средств автоматизации производственных процессов ведет к тому, что по мере их развития все большая часть информации поступает на автоматическое управление. При принятом учете количества параметров становится очевидным, что в отдаленной перспективе почти вся информация должна поступать на автоматическое управление. Следовательно, предельно возможное значение роста оценки уровня автоматизации технологических процессов (2.2) в своем развитии во времени приближается к пределу, равному единице. При анализе это дает возможность более наглядно использовать метод сравнения оценок уровня автоматизации отдельных производственных процессов и целых объектов между собой.

2.5. Параметры автоматических контроля и управления

Количества параметров автоматического контроля I_k и автоматического управления технологическими процессами I_v , а соответственно и их общие количества I , имеют измеряемые физические характеристики и полностью характеризуются численным значением и общей единицей измерения, имеющей специальное наименование параметр c обозначением величины n .

$$[I_k] = [I_v] = [I] = n.$$

Размерность (\dim) названных количеств параметров устанавливает их связь с основными физическими величинами. Она имеет общее смысловое значение с размерностью основной величины-количества вещества (предметов, состояний), которая обозначается символом N . Таким образом, размерность

$$\dim I_k = \dim I_v = \dim I = N.$$

Следовательно, количества параметров автоматических контроля и управления представляют собой скалярные физические величины, т. е. измеряемые свойства производственных процессов.

Количество параметров автоматического контроля и автоматического управления технологическими процессами КБ СУГ по типовым проектам представлено в табл. 2.4, а их общее количество в табл. 2.5.

Таблица 2.4

**Количество параметров автоматических
контроля и управления КБ СУГ, п**

Наименование технологического объекта или процесса	Количество параметров, пп					
	Автоматического контроля, кп			Автоматического управления, ап		
	локального, $I_{кл}$	централизованного $I_{кц}$	общее, $I_{ки}$	локального, $I_{ул}$	централизованного, $I_{уц}$	общее $I_{уи}$
1	2	3	4	5	6	7
<u>По типовому проекту ТП-1</u>						
Теплотехнический контроль	58	13	71	–	1	1
Установка сжатого воздуха	10	–	10	1	–	1
Баллононаполнительное отделение. Склад баллонов	10	–	10	18	–	18
Отделение освидетельствования баллонов	6	–	6	–	–	–
Насосная	4	–	4	–	–	–
Котельная	17	–	17	1	–	1
Кустовая база	105	13	118	20	1	21
<u>По типовому проекту ТП-2</u>						
Насосно-компрессорное отделение	3	1	4	1	–	1
Баллононаполнительное отделение	8	2	10	–	2	2
Железнодорожная эстакада и резервуарный парк	48	–	48	–	–	–
Котельная	–	–	–	–	20	20
Насосная	2	2	4	2	4	6
Кустовая база	61	5	66	3	26	29
<u>По типовому проекту 905-12</u>						
Железнодорожная сливная эстакада	24	–	24	–	–	–
Резервуарный парк сжиженных газов	16	8	24	–	–	–
Насосно-компрессорное отделение и межцеховые технологические проводы	17	–	17	–	7	7

1	2	3	4	5	6	7
Баллононаполнительное отделение	15	–	15	–	1	1
Насосная	2	–	2	–	4	4
Котельная	27	–	27	25	–	25
Химводоочистка и питательная установка	12	2	14	–	–	–
Кустовая база	113	10	123	25	12	37
<u>По типовому проекту 905-12/70</u>						
Железнодорожная сливная эстакада	25	–	25	–	–	–
Резервуарный парк сжиженных газов	20	–	20	–	10	10
Насосно-компрессорное отделение	3	–	3	–	19	19
Баллононаполнительное отделение	17	–	17	–	6	6
Испарительное отделение	7	2	9	–	–	–
Насосная	4	1	5	2	8	10
Воздушная компрессорная	5	–	5	–	4	4
Сети промплощадки	6	–	6	–	9	9
Кустовая база	87	3	90	8	56	58

Таблица 2.5

Общее количество параметров автоматического контроля и автоматизации КБ СУГ, п

Наименование технологического объекта или процесса	Количество параметров автоматических контроля и управления, нп			Оценка уровня автоматизации Y_{Ai}^* , ап/нп
	локальных, I_L	централизованных, $I_{Ц}$	общее, I_i	
1	2	3	4	5
Технологический контроль	58	14	72	0,0139
Установка сжатого воздуха	11	–	11	0,0908
Баллононаполнительное отделение. Склады баллонов.	28	–	28	0,6429

1	2	3	4	5
Отделение освидетельствования баллонов	6	–	6	0,0000
Насосная	4	–	4	0,0000
Котельная	18	–	18	0,0551
Кустовая база	125	14	139	0,1511
<u>По типовому проекту ТП–2</u>				
Насосно-компрессорное отделение	4	1	5	0,2000
Баллононаполнительное отделение	8	4	12	0,1667
Железнодорожная эстакада и резервуарный парк	48	–	48	0,0000
Котельная	–	20	20	1,0000
Насосная	4	6	10	0,6000
Кустовая база	64	31	95	0,3053
<u>По типовому проекту 905–12</u>				
Железнодорожная сливная эстакада	24	–	24	0,0000
Резервуарный парк сжиженных газов	16	8	24	0,0000
Насосно-компрессорное отделение и межцеховые технологические трубопроводы	17	7	24	0,2917
Баллононаполнительное отделение	15	1	16	0,0625
Насосная	2	4	6	0,6667
Котельная	52	–	52	0,4808
Химводоочистка и питательная установка	12	2	14	0,0000
Кустовая база	138	22	160	0,2312
<u>По типовому проекту 905–12/70</u>				
Железнодорожная сливная эстакада	25	–	25	0,0000
Резервуарный парк сжиженных газов	20	10	30	0,3333

1	2	3	4	5
Насосно-компрессорное отделение	3	19	22	0,8638
Баллононаполнительное отделение	17	6	23	0,2609
Испарительное отделение	7	2	9	0,0000
Насосная	6	9	15	0,6667
Воздушная компрессорная	5	4	9	0,4444
Сети промплощадки	6	9	15	0,6000
Кустовая база	89	59	148	0,3919

* Оценка уровня автоматизации каждого отдельного технологического процесса КБ СУГ вследствие его собственной специфики различна, колеблется в широком диапазоне и, следовательно, не характеризует весь объект в целом. Она показывает, какие производственные процессы хорошо автоматизированы, а какие еще слабо, и автоматизации, а может быть и даже механизации которых следует уделить больше внимания.

В то же время следует отметить, что большему производственному объекту, в соответствии с законом больших чисел, соответствует большая достоверность. Поэтому оценка уровня автоматизации отдельной кустовой базы сжиженных газов в целом будет достовернее оценок уровня автоматизации отдельных ее технологических процессов.

При одновременном учете параметра автоматического контроля и параметра автоматического управления одной и той же информации предельно возможное значение роста оценки уровня автоматизации приближается к пределу, меньшему единицы на удельное значение количества параметров автоматического контроля дублируемой части. Это показывает, какое количество информации в предельно возможном значении роста рассматриваемой функции будет дублироваться параметрами автоматического контроля.

Количество параметров локального и централизованного автоматического управления технологическими процессами на кустовых базах сжиженных газов по типовым проектам приведены в табл. 2.6, а показатели централизации их в табл. 2.7.

Таблица 2.6

Количество параметров локальных и централизованных автоматических контроля и управления КБ СУГ, п

Обозначение типового проекта	Количество параметров, нп								
	Автоматического контроля, кп			Автоматического управления, ап			Автоматического контроля и управления		
	локального $I_{кл}$	централизованного $I_{кц}$	общее $I_{ки}$	$I_{ул}$	$I_{уц}$	$I_{уи}$	$I_{л}$	$I_{ц}$	$I_{и}$
ТП–1	105	13	118	20	1	21	125	14	139
ТП–2	61	5	66	3	26	29	64	31	95
905–12	113	10	123	25	12	37	138	22	160
905–12/70	87	3	90	2	56	56	89	59	148

Аналитическое выражение показателей централизации параметров автоматических контроля и управления производственными процессами на кустовых базах сжиженных газов, как на одном из конкретных промышленных объектов, приведено ниже.

Показатель централизации автоматического контроля технологических процессов КБ СУГ

$$K_{ц} = \frac{I_{кц}}{I_{кл} + I_{кц}}, \quad (2.14)$$

где $I_{кц}$ — количество параметров централизованного автоматического контроля производственных процессов;

$I_{кл}$ — количество параметров локального автоматического контроля процессов.

Показатель централизации автоматического управления технологическими процессами на кустовых базах

$$Y_{ц} = \frac{I_{уц}}{I_{ул} + I_{уц}}, \quad (2.15)$$

где $I_{уц}$ — количество параметров централизованного автоматического управления производственными процессами;

$I_{ул}$ — количество параметров локального автоматического управления процессами.

Показатель централизации автоматического контроля и управления технологическими процессами КБ СУГ

$$\text{Ц} = \frac{I_{\text{ц}}}{I_{\text{л}} + I_{\text{ц}}}, \quad (2.16)$$

где $I_{\text{ц}}$ — количество параметров централизованных автоматических контроля и управления производственными процессами;
 $I_{\text{л}}$ — количество параметров локальных автоматических контроля и управления процессами.

Таблица 2.7

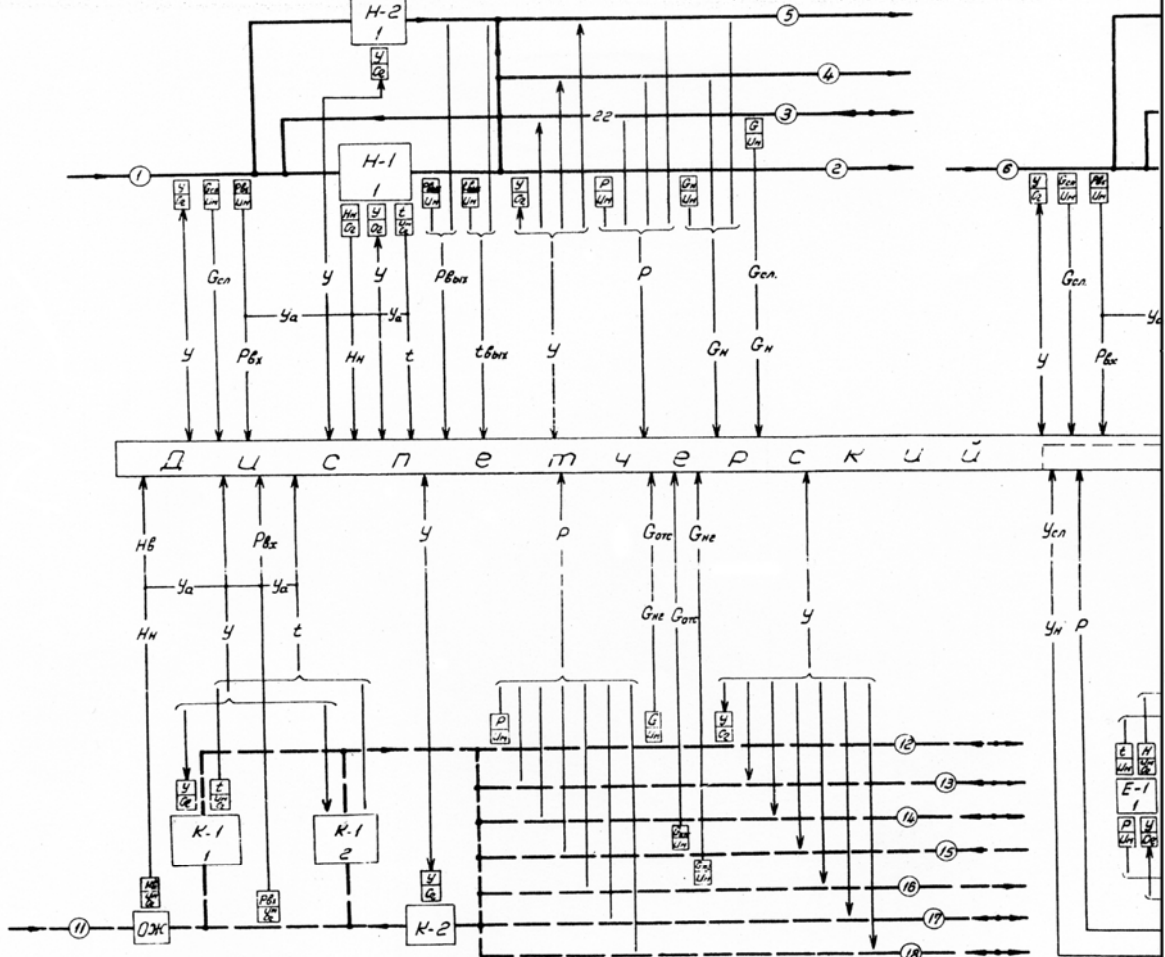
Показатели централизации автоматического контроля и управления кустовых баз

Обозначение типового проекта	Показатель централизации		
	автоматического контроля, $K_{\text{ц}}$	автоматического управления, $U_{\text{ц}}$	автоматического контроля и управления, Ц
ТП-1	0,1100	0,0476	0,1007
ТП-2	0,0758	0,8960	0,3263
905-12	0,0812	0,3245	0,1374
905-12/70	0,0334	0,9660	0,3987

Анализ существующих и вновь разработанных методов и средств автоматизации технологических процессов на отечественных и зарубежных объектах сжиженных углеводородных газов, а также производственных процессов, аналогичных им, показывает, по какому пути они развиваются. Это помогает выбрать направление при разработке новых методов и средств автоматизации кустовых баз и газораздаточных станций и при проектировании, что дало возможность в институте «ЮжНИИГипрогаз» разработать структурную схему комплексной автоматизации кустовых баз сжиженного газа С1 [11].

В основу разработанной структурной схемы комплексной автоматизации С1 (рис. 2.6, схемы) положен действующий при ее разработке типовой проект кустовой базы сжиженных газов 905-12, откорректированный институтом «ЮжНИИГипрогаз» в 1970 году в типовой проект 905-12/70. структурная схема комплексной автоматизации КБ СУГ разрабатывалась одновременно и в одном и том же институте с разрабатываемым типовым проектом кустовой базы 905-12/70, поэтому некоторая часть технических решений ее имеет общую основу с решениями последнего.

Насосы и межцеховые технологические трубопроводы пропана



Компрессоры и межцеховые технологические трубопроводы

Трубопроводы, их назначение и номера.

- 1- пропан от емкостей резервуарного парка к насосам
- 2- пропан от насосов к емкостям резервуарного парка
- 3- пропан от железнодорожных цистерн к насосам
- 4- пропан от насосов к колонке наполнения автоцистерн
- 5- пропан от насосов на наполнение баллонов
- 6- бутан от емкостей резервуарного парка к насосам
- 7- бутан от насосов к емкостям резервуарного парка
- 8- бутан от железнодорожных цистерн к насосам
- 9- бутан от насосов к колонке наполнения автоцистерн
- 10- бутан от насосов на наполнение баллонов
- 11- паровая фаза сжиженных газов (СЖ) от емкостей резервуарного парка к компрессорам
- 12- паровая СЖ-ов от компрессоров к железнодорожным цистернам
- 13- паровая фаза СЖ-ов от емкостей резервуарного парка для пропана к компрессорам
- 14- паровая фаза СЖ-ов от емкостей резервуарного парка для бутана к компрессорам.

- 15- паровая фаза СЖ-ов от колонки наполнения автоцистерн к компрессорам
- 16- паровая фаза СЖ-ов от компрессоров к котлам
- 17- паровая фаза СЖ-ов от емкости сжиженных газов, слитых из баллонов, к компрессорам
- 18- паровая фаза СЖ-ов от емкости неиспарившихся остатков к компрессорам.
- 19- неиспарившиеся остатки от емкости для них к испарителю.
- 20- сжиженные газы от емкости СЖ-ов, слитых из баллонов, к емкостям резервуарного парка
- 21- пар от котлов
- 22- пар от котлов на собственные нужды
- 23- вода от резервуара хазлительной воды к насосам
- 24- вода от насосов к потребителю
- 25- вода от насоса в канализацию
- 26- вода от химводочистки к насосам
- 27- вода от насосов к котлам
- 28- паровая фаза СЖ-ов от испарителя к котлам
- 29- пар от котлов на пропарку баллонов

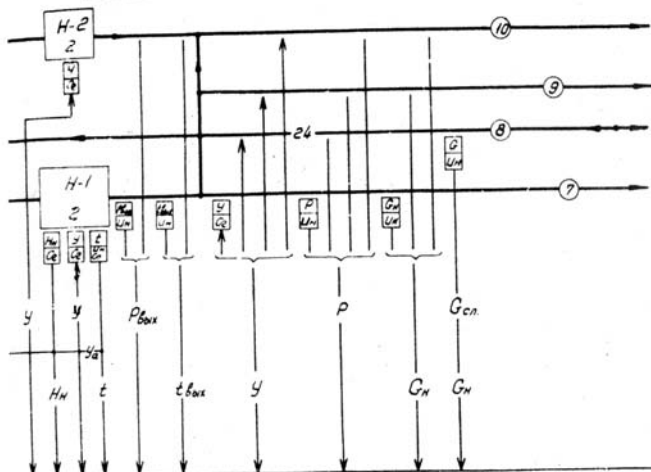
Рис. 2.6-1

Циф. № техн. 127982
Лист № 01
Полнота дана 01.01.82

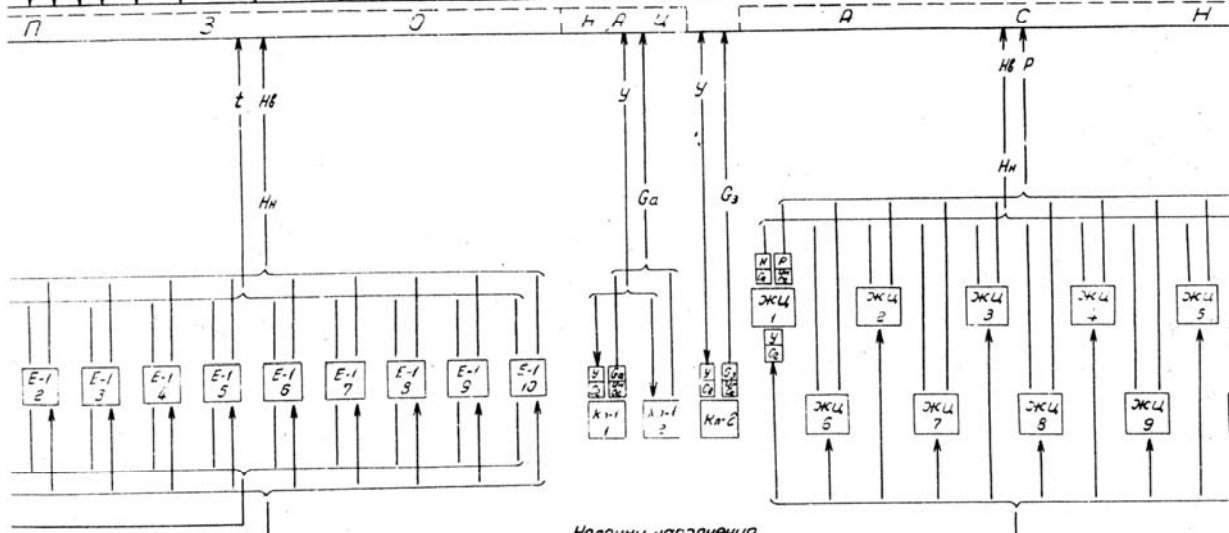
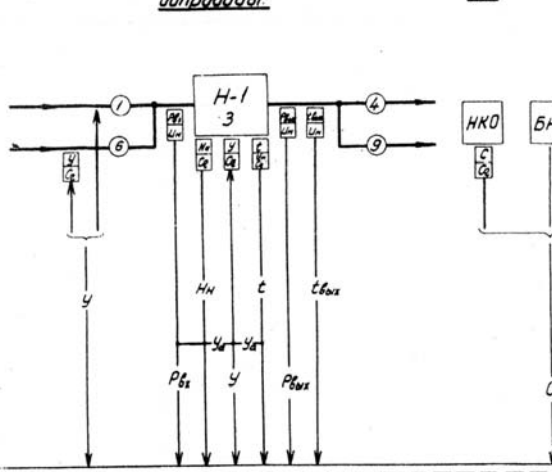
Рис. 2.6. Прогнозируемая структурная схема автоматизации

Структурная схема комплексной автоматизации кустовых баз сжиженного газа

Насосы и межцеховые технологические
трубопроводы бутана



Насос наполнения автоцистерн и Вспомогательные по-
межцеховые технологические тру-
бопроводы.



Емкости резервуарного парка

Колонки наполнения
автоцистерн и колонка
заправки авт. машин

Железнодорожные цистерны.

Обозначения на схеме

- H-1 - электронасос
- H-2 - выхревой электронасос
- H-3 - насос хозяйственного водоснабжения
- H-4 - дренажный насос
- H-5 - противопожарный насос
- H-6 - питательный насос
- НП - паровой насос
- НБ - напорный бак
- БВ - бак для воды
- ВС - водосборник
- К-1 - аммиачный компрессор
- К-2 - компрессорно-конденсаторный агрегат
- К-3 - компрессор с воздушосборником
- К-4 - компрессор воздуха
- E-1 - емкость резервуарного парка
- E-2 - емкость для СТ-ов, слитых из пере-
палочных баллонов
- E-3 - емкость для неиспарившихся остатков

- ЖЦ - железнодорожная цистерна
- КА - карусельный газонаполнительный агрегат
- МКА - малопозиционный карусельный газонапол-
нительный агрегат
- КАМ - карусельный газонаполнительный агрегат
налогобаритных баллонов
- Кл-1 - колонка для наполнения автоцистерн
- Кл-2 - газозаправочная колонка
- ЦР - цех ремонта баллонов
- АП - агрегат пропарки баллонов
- ПК - паровой котел
- Ц-1 - испаритель неиспарившихся остатков
- ОЖ - отделитель жидкости
- НКО - насосно-компрессорное отделение
- БНО - баллононаполнительное отделение
- ООП - отделение освидетельствования и про ар-
ки баллонов
- В-1 - вентилятор НКО
- ВР-1 - резервный вентилятор НКО

- В-2 - вентилятор БНО
 - ВР-2 - резервный вентилятор БНО
 - В-3 - вентилятор ООП
 - ВР-3 - резервный вентилятор ООП
 - В-4 - вентилятор блока вспомогат. помещений
 - ВР-4 - резервный вентилятор блока вспомога-
тельных помещений
 - ПЗО - программное запаривание и опорожнение
емкостей резервуарного парка
 - АСН - автоматизированный слив и налив железно-
дорожных цистерн
 - НАЦ - автоматизированный налив автоцистерн
- Условные обозначения:
- 2Б — пропан (жидкая фаза)
 - 2Б — бутан (жидкая фаза)
 - — — паровая фаза СТ-ов
 - 6 — вода
 - 3 — воздух
 - 4 — пар

Рис. 2.6-2

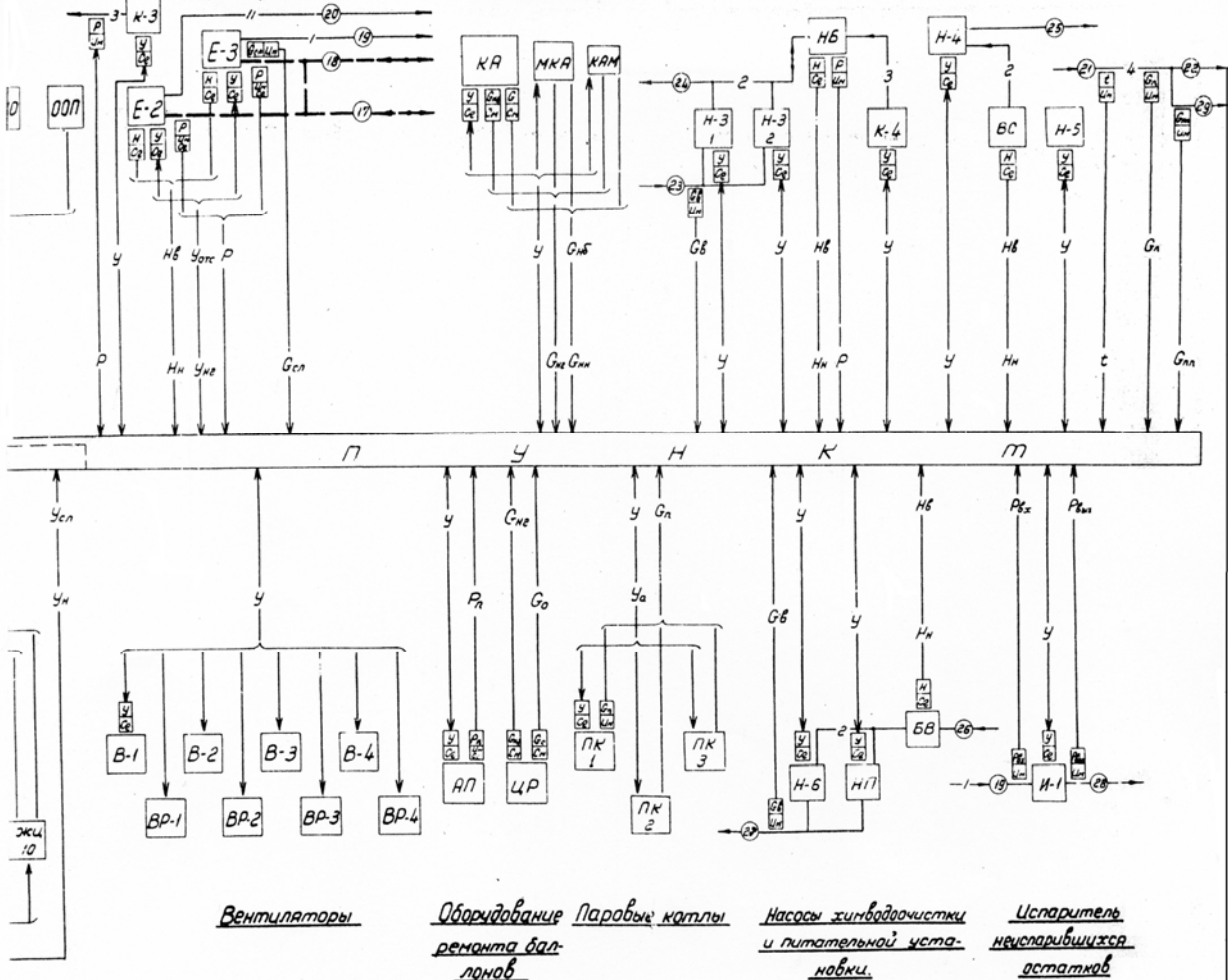
Омб. и исполнителем: ЖСС Н. Назиров

Компрессор воздуха емкости
и межкустовые технологические
трибапработы

Карусельные газона-
полнительные агрегаты

Насосы хозяйственного водоснабжения, дренажный
и противопожарный.

Паропроводы



— I — неиспарившиеся остатки
— II — СГ-ы из переполненных баллонов

Обозначение параметров и операций.
 P - давление
 P_{кв} - давление на входе
 P_{кн} - давление на выходе
 P_н - давление пара
 C - концентрация
 G_{сл} - расход слива
 G_н - расход налива
 G_{от} - расход отсасыблива
 G_{нм} - расход нагнетания
 G_а - расход на абсорбтерны
 G_з - расход заправки
 G_в - расход воды
 G_п - расход пара
 G_{лп} - расход пара пропарки
 G_{нн} - количество негерметичных баллонов
 G_{нл} - количество наполненных баллонов

G_{нп} - количество неправильно наполненных баллонов
 G_о - количество отремонтированных баллонов
 t - температура
 t_{кв} - температура на выходе
 НВ - верхний уровень
 Нн - нижний уровень
 У - управление
 У_а - аварийное управление
 У_{сл} - управление слива
 У_н - управление налива
 У_{от} - управление отсасыблива
 У_{нм} - управление нагнетания
 У_з - управление заправки
 Св - сигнализация
 Цм - измерение
 Сн - алгебраическое суммирование

Примечания:
 1. Данная схема разработана на основании проработанных литературных материалов, отчетов научно-исследовательских работ и проектных решений.
 2. Технология кустовых баз и механизация приняты по типовому проекту № 905-12 с изменениями и добавлениями, учитывающими их развитие.
 3. Структурной схемой предусматривается телемеханизация основных технологических точек с диспетчером.
 4. При разработке схемы учитывались замечания и предложения эксплуатационников кустовых баз и проектировщиков.
 5. Структурная схема должна послужить основой при разработке функциональной схемы или схем комплексной автоматизации кустовых баз сжиженных газов.
 6. Схема составлена по ГОСТ 2701-68, ГОСТ 2702-69, ГОСТ 2704-68 и ГОСТ 3925-59.

Рис. 2.6. Рис. 2.6-3

С1

Структурная схема комплексной автоматизации кустовых баз предусматривает автоматизацию производственных процессов с централизованным контролем основных технологических параметров и необходимым централизованным и местным управлением. Она включает в себя ряд подсистем автоматизации производственных процессов, входящих в общую систему централизованного контроля, управления и автоматизации технологических процессов на объектах сжиженных газов, и отдельные средства автоматических контроля и управления.

Количество параметров централизованного автоматического контроля и автоматического управления производственными процессами КБ СУГ по структурной схеме комплексной автоматизации С1 приведено в табл. 2.8

Таблица 2.8

Количество параметров централизованных автоматических контроля и управления КБ СУГ по структурной схеме, п

Наименование технологического процесса	Количество параметров, пп		
	автоматического контроля I _у , кп	автоматического управления, I _у , ап	атоматических контроля и управления, I
Перекачивание сжиженных газов	26	20	46*
Компримирование СУГ	10	16	26*
Слив-налив железнодорожных цистерн	10	20	30
Заполнение и опорожнение резервуаров хранилища	10	20	30
Налив автоцистерн и заправка автомашин	5	9	14
Наполнение баллонов и испарение неиспарившихся остатков	12	8	20
Ремонт баллонов	3	1	4
Паро-водообеспечение кустовых баз	5	26	31
Операции и процессы техники безопасности	–	25	25
Кустовая база	81	145	226

* Учтены параметры учета количества перекачиваемых и компримированных сжиженных газов, а также неиспарившихся остатков.

Требующиеся по структурной схеме комплексной автоматизации количество и характер информации, поступающей на диспетчерский пункт, позволяют определить метод и средства автоматической переработки ее. Как видно из табл. 2.8, количество параметров централизованных автоматического контроля и автоматического управления технологическими процессами на кустовых базах, предусмотренное структурной схемой, составляет 226 параметров. Для логической обработки такого количества информации общая система централизованного контроля, управления и автоматизации производственных процессов на объектах сжиженных углеводородных газов включает в себя специальное вычислительное устройство.

Контроль и автоматизация отдельных технологических операций и процессов общей системы централизованного контроля, управления и автоматизации производственных процессов КБ СУГ отраженной структурной схемой комплексной автоматизации С1, увязываются в общий промышленный комплекс всей кустовой базы и позволяют максимально использовать возможности конкретного производства и перспективы его развития. А своевременная информация о протекании технологических процессов дает возможность диспетчеру оперативно с наибольшей оптимальностью вести их.

3. Эволюция упорядоченности организованного объекта

3.1. Прогнозирование количественных характеристик процессов

Прогресс науки и техники в значительной мере определяет темпы развития всего народного хозяйства, следовательно, прогнозы научно-технического прогресса являются важнейшей составной частью экономических прогнозов.

Прогнозы разрабатываются по основным направлениям научно-технического прогресса, к которым относятся: электрификация, механизация, автоматизация и кибернетизация, атомизация, биологизация и химизация. Они связаны с прогрессом в соответствующих областях науки и применением новейших достижений в технике и промышленности. Если механизация, электрификация и автоматизация определились уже сравнительно давно как основные направления технического перевооружения народного хозяйства, то кибернетизация, атомизация, биологизация и химизация представляют собой недавно наметившиеся тенденции технологического приложения фундаментальных наук. В настоящее время можно указать на новые направления научно-технического прогресса, связанные с освоением космоса, с технологическими приложениями новых физических эффектов и т. п. [19].

Все более расширяется и углубляется использование результатов научных исследований в материальном производстве, здравоохранении, образовании, сфере обслуживания и в других областях человеческой деятельности. Этот процесс сопровождается резким сокращением сроков воплощения научных идей в общественную практику. Так, например, если от момента признания технической целесообразности телевидения (1911 г.) до начала промышленного освоения (1945 г.) прошло 34 года, то для ядерной энергетики этот период составил 14 лет, а для интегральных схем — 5. Солнечные батареи прошли этот путь за два года.

Научно-технические прогнозы составляют с целью определения направлений и тенденций развития какого-либо процесса, например, наиболее перспективного развития в науке и технике, вероятных сроков наступления какого-либо события, объема необходимых работ для осуществления какого-либо мероприятия. Экономические прогнозы основных показателей производства должны основываться на научно-технических прогнозах, определяющих направления технического прогресса в отраслях народного хозяйства и возможные условия их реализации. Прогноз, основываясь на познании закономерностей науки, техники и экономики, своей функцией служит формированию альтернативных путей развития народного хозяйства. Поэтому научно-технический прогноз является необходимым этапом предплановых разработок.

Эффективность автоматизации производственных процессов и всего объекта в целом во многом зависит от того, насколько обоснованно и реально составляется план разработки и использования новых, более совершенных методов и средств автоматического контроля и управления, насколько полно учтены объективные тенденции развития ее и действия экономических законов.

Определение закономерностей в поведении объекта прогнозирования является узловым вопросом исследования в процессе его. Одни закономерности известны уже давно и хорошо изучены. Например, движения твердых тел подчиняются строгим законам механики. Поэтому не представляет большого труда прогнозирование с заданной точностью, скажем, траектории полета брошенного шарика, если начальное положение, вектор скорости шарика и ускорение силы тяжести в данном месте известны с соответствующей точностью. Другие закономерности зачастую не так очевидны и известны, и для их выявления требуется проведение специальных исследований.

Нахождение закономерности в поведении прогнозируемого объекта построить его математическую модель, которая в свою очередь позволяет исследовать реальные физические процессы путем их математического моделирования. Глубокое проникновение в сущность исследуемого процесса и правильное применение к нему научных законов являются гарантией правильного выбора модели при прогнозировании. Эта задача является далеко не тривиальной. Дело в том, что любой закон и научное положение имеют определенную область применения и далеко не всегда границы этой области являются достаточно четко очерченными.

Непрерывность процесса познания и установления новых закономерностей фундаментальными и прикладными науками определяет непрерывность процесса технического обновления средств автоматизации. Анализ исторического развития любой отрасли науки и техники позволяет выделить несколько временных периодов. Внутри этих периодов совокупность технических средств отрасли характеризуется однородностью физических, химических и других закономерностей, лежащих в основе принципов функционирования этих средств и технологических процессов. Совокупность средств с однородными принципами функционирования, основанными на одном и том же фундаментальном законе, составляет поколение технических средств отрасли.

Внутри одного поколения средств прогресс реализуется посредством перехода от одной модели к другой, более совершенной, с лучшими технико-экономическими характеристиками. Эволюция технических характеристик отображается плавным ростом или падением их значений, гладкими кривыми с монотонным характером изменения во времени. Однако основной физический принцип работы всех моделей остается неизменным.

Переход от одного поколения технических средств к другому характеризуется, прежде всего, изменением основы закономерностей фундаментальных наук, реализуемых в принципах работы поколения. Процессы перехода между поколениями описываются скачкообразными кривыми роста технических характеристик физических средств. Эти локальные эволюционные циклы могут быть описаны S-образными кривыми роста количественных параметров техники.

Долгосрочное научно-техническое прогнозирование является одной из наиболее сложных в методическом отношении проблем прогностики. Сложность ее обусловлена объективно существующими трудностями учета качественных изменений объекта прогноза, связанных с внутренней логикой развития его на период времени свыше 15 лет. Преодолеть эти трудности можно в том случае, если найти источник информации, позволяющий систематически генерировать достаточно надежные данные об указанных изменениях, и выработать обоснованную модель прогнозируемого процесса. Наиболее широко распространены математические модели, хотя в некоторых случаях успешно используются и физические.

Английский статистик и математик Б. Гомперц для определения поведения уровней смертности предложил кривую роста, названную его именем, которая, как было установлено, описывает также и распределение дохода. Уравнение кривой Гомперца имеет вид

$$Y = Le^{-be^{-kt}}, \quad (3.1)$$

где L — верхний предел роста параметра Y ;
 b и k — параметры кривой.

Кривая Гомперца простирается от нуля при t , равном минус бесконечности, до верхнего предела L при t , равном плюс бесконечности. Кривая, однако, несимметрична. Точка перегиба ее приходится на

$$t_{nr} = \frac{\ln b}{k} \text{ и } Y_{nr} = \frac{L}{e}.$$

Некоторые исследователи в поисках более точных методов прогнозирования нашли сходство между характером биологического развития и ростом функциональных характеристик технических устройств. Это сходство, часто только предположительное, указывает на имеющуюся возможность прогнозировать техническое развитие таким же образом, каким биологи прогнозируют рост отдельных организмов и их популяций.

На рис. 3.1. показано увеличение веса тыквы. Здесь рост следует явно выраженному типу развития. Можно предположить, что эта модель, будучи проверена на некотором числе тыкв, могла бы быть использована для прогнозирования роста конкретной тыквы, если бы ряд точечных измерений был сделан в начале ее развития. Рост количества дрожжевых бактерий в определенном объеме проходит по аналогии кривой.

Биолог и демограф Р. Перл провел обширные исследования роста организмов и популяций, результаты которых являются типичными, и нашел, что кривая рис. 3.1. очень хорошо описывает этот рост. Сходные типы кривых описывает протекание химических реакций в замкнутой системе с ограниченным количеством реактивов.

Кривые рисунков Л 20, приведенные как примеры развития параметров техники, иллюстрируют тот же тип поведения роста функциональных характеристик: световой эффективности двух различных источников света, скорости винтовой и реактивной авиации, КПД паровых двигателей и эффективности коммерческих электростанций, работающих на угле. В каждом случае рост следует таким же S-образным, известным как логистические, кривым, которые характеризовали рост тыквы и колонии дрожжевых бактерий.

Функциональные характеристики замещения старой техники новой также представляют собой S-образные кривые. Два типичных примера приведены на рисунках Л 20. Один из них показывает процент тоннажа кораблей американского торгового флота, использовавших в 1870—1965 годах вместо парусов механические двигатели. Другой — процент тоннажа кораблей, сделанных из металла, а не из дерева в 1885—1965 годах. Использование старой техники связано с ее применимостью и в тех случаях, когда новейшая техника еще не доказала свою экономичность и надежность. По мере того как новая техника продолжала утверждать себя во все расширяющемся разнообразии применений, более ранняя устранялась.

Такое же поведение можно ожидать в любой ситуации, где новая техника замещает старую. Она не будет принята всеми сразу. Всегда будет существовать определенный риск, связанный с использованием новой техники. Некоторые потенциальные потребители ее предпочтут, чтобы кто-то другой взял на себя этот риск. Они будут работать со старой техникой, пока кто-то не попробует применить новую. Другие, осознавая, что имеется также риск и в неиспользовании новой техники, будут испытывать ее. Если испытание будет успешным, то остальные сделают то же самое. Следовательно, можно ожидать, что замещение старой техники новой описывается кривой роста.

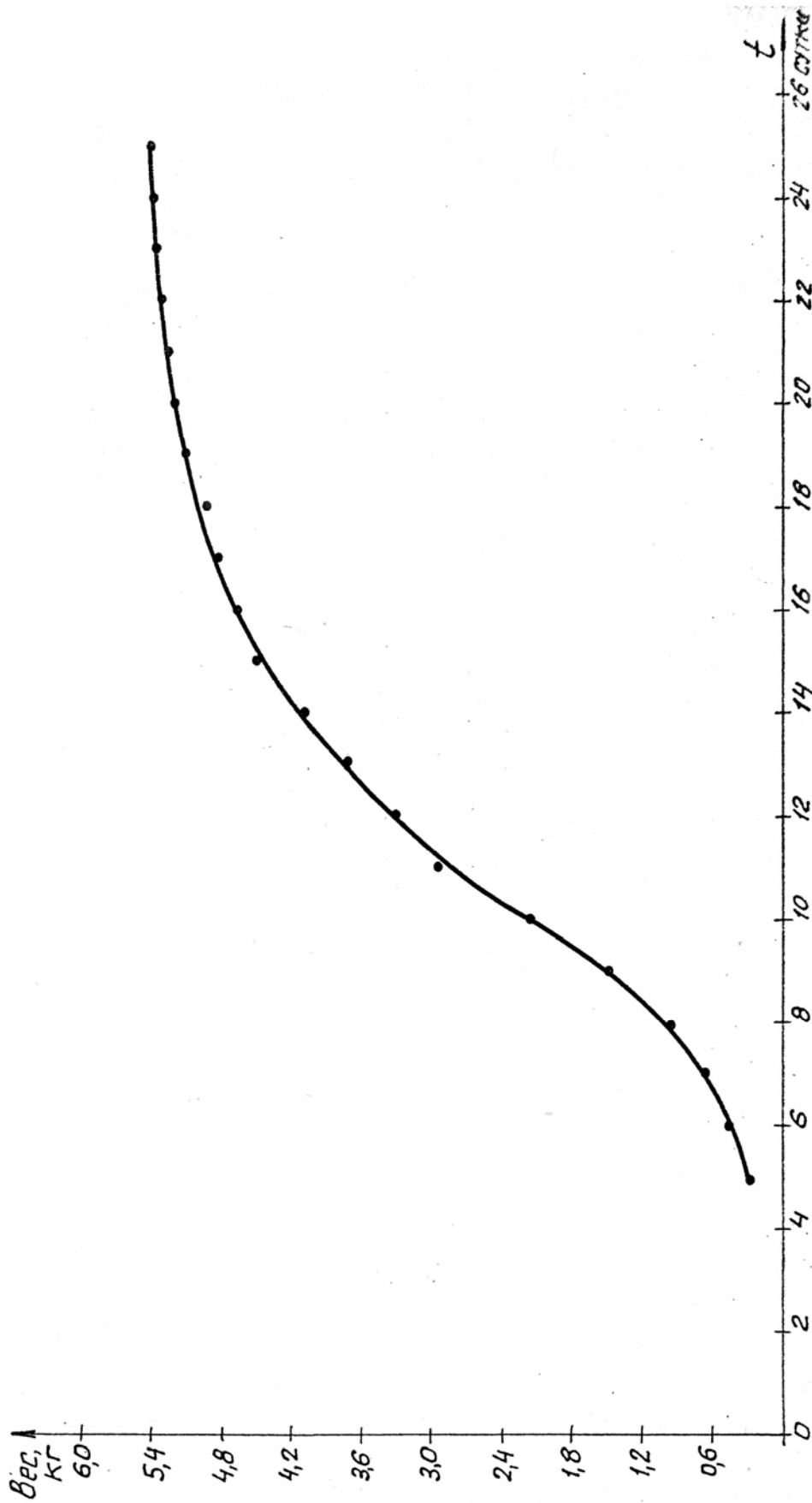


Рис. 3.1. Увеличение веса тыхвы по кривой Перла

Если вопрос стоит не о замене старой техники новой, а об использовании новой техники, которая выполняет функции, ранее ею не выполняемые, то мы имеем тот же кривой роста. Рост количества электрифицированных домов в США с 1907 по 1965 год в процентах подтверждает это [20]. Кривая роста адаптации какой-нибудь новой техники будет вести себя в общем так же, как кривая электрификации домов, частично из-за того, что экономика выдвигает ее на первое место, и частично из-за склонности некоторых людей быть новаторами, которые испытывают новое мгновенно, в то время как большинство остается подражателями, применяя эту технику только после того, как кто-то показал пример.

Так как кривая роста функциональных характеристик техники ведет себя так же, как кривая роста биологических организмов, кажется естественным попытаться провести аналогию между ними. Цель такой попытки двоякая: обосновывать использование кривых роста для прогнозирования научно-технического развития и создать такую модель процесса развития техники, чтобы прогнозы могли составляться с большей точностью.

Проводя аналогию между ростом биологических параметров и ростом научной информации. Р. Ленц предложил формулу производства новой информации [21], представляющую собой частный случай одного из видов аналитического выражения логистической кривой [20],

$$I = \frac{L}{1 + ae^{-bt}}, \quad (3.2)$$

где I — количество информации в момент времени t ;

L — верхний предел количества информации;

t — время;

a и b — безразмерные постоянные величины.

Дж. Мартино предлагает идти по пути преодоления недостатков «наивных» прогнозных моделей, разрабатывать методы и модели, которые бы дали возможность проникнуть во внутренние механизмы действий системы, в рамках которой зарождается технология. В этих методах должны использоваться знания взаимосвязей, причин и следствий внутри этой системы. Армстронг, Шефлер, Нортроп и некоторые другие считают, что в определенных случаях причинно-следственные модели предпочтительны, так как точность прогнозирования в этом случае выше. Однако описание количественными показателями элементов модели, которые влияют на научно-техническое развитие, является сложным процессом.

Многие исследователи пробовали разработать модели, в которых получались S-образные кривые роста и в которые входили элементы, явно имею-

щие некоторое значение для научно-технического развития. Мы рассмотрим модель Айзенсона-Хартмана, в которой рассматривается рост информации.

Эта модель основывается на понятии роста информации. Многие авторы указывали, что проект научно-технических усовершенствований, по существу, представляет собой процесс приобретения информации, относящейся к соответствующему способу создания элемента какого-либо технического устройства. Таким образом, усовершенствование в определенной области включает приобретение информации относительно способ, которыми можно заставить действовать определенный технологический процесс.

Увеличение общего объема информации относительно конкретного технологического процесса может зависеть от количества уже имеющейся информации, от числа людей, занятых приобретением новой информации, и от предельного общего объема информации, которую можно получить для данного технологического процесса. Простейший вариант модели можно выразить следующим образом:

$$\frac{dI}{dt} = KIN, \quad (3.3)$$

где I — текущий объем информации;

N — число людей, занятых в соответствующей области;

K — может быть просто коэффициентом пропорциональности или функцией, включающей все остальные переменные.

Если мы примем, что N — постоянная величина, а K включает функциональные зависимости, отражающие степень приближения к верхнему пределу L , который представляет максимально возможное количество информации в данной области, то мы можем переписать вышеприведенное выражение следующим образом:

$$\frac{dI}{dt} = \left[1 - \frac{I}{L}\right] K_1 IN, \quad (3.4)$$

или

$$\frac{dI}{I \left[1 - \frac{I}{L}\right]} = K_1 N dt.$$

Решая уравнение, получаем

$$I = \frac{L}{1 + \left[\frac{L}{I_0} - 1 \right] e^{-K_1 N t}}. \quad (3.5)$$

В последнем выражении можно узнать логистическую кривую. Нами рассматривалась одна из моделей, предназначенных для объяснения явления кривых роста. Оказалось, что модель Айзенсона-Хартмана, хотя и чрезвычайно простая, проливает некоторый свет на внутренние механизмы действия процесса научно-технического развития.

Прогнозирование скачкообразных процессов перехода от одного поколения технических средств к другому наиболее целесообразно проводить методом огибающих кривых, основанным на графоаналитическом анализе эволюции их характеристик, а также эвристическими методами. Сущность данного метода прогнозирования состоит в представлении в виде огибающей кривой общей тенденции развития технического объекта или параметра и его экстраполяции до интересующего нас момента в будущем [20, 21]. При этом, огибающей кривой, определяющей тенденции изменения более частных кривых в шкале времени, может быть S-образная кривая высшего порядка.

Огибающая кривая была построена, в частности, для определения максимально возможной скорости, развиваемой различными двигателями (рис. 3.2). На графике наглядно видны пределы скорости, развиваемой тем или иным двигателем.

Анализируя тенденции совершенствования техники, следует отметить, что изменение значений ее основных функциональных параметров имеет монотонно возрастающий характер. Параметрическую тенденцию можно представить в виде S-образной кривой.

Кривую оценки уровня автоматизации технологических процессов, представляющую собой критериальную характеристику поколения технических средств с информационным принципом функционирования, можно представить в виде огибающей кривой общей тенденции развития технологического параметра. Эта огибающая кривая определяет тенденции изменения более частных кривых в шкале времени и представляет собой кривую высшего порядка.

Процесс перехода от одного локального поколения информационных технических средств к другому, более совершенному, можно видеть, аналогичен процессу с огибающей кривой максимально возможной скорости (рис. 3.2). Осуществляется он во времени в такой последовательности: поколение механических технических средств, электромеханических, вакуумных, полупроводниковых, функциональных.

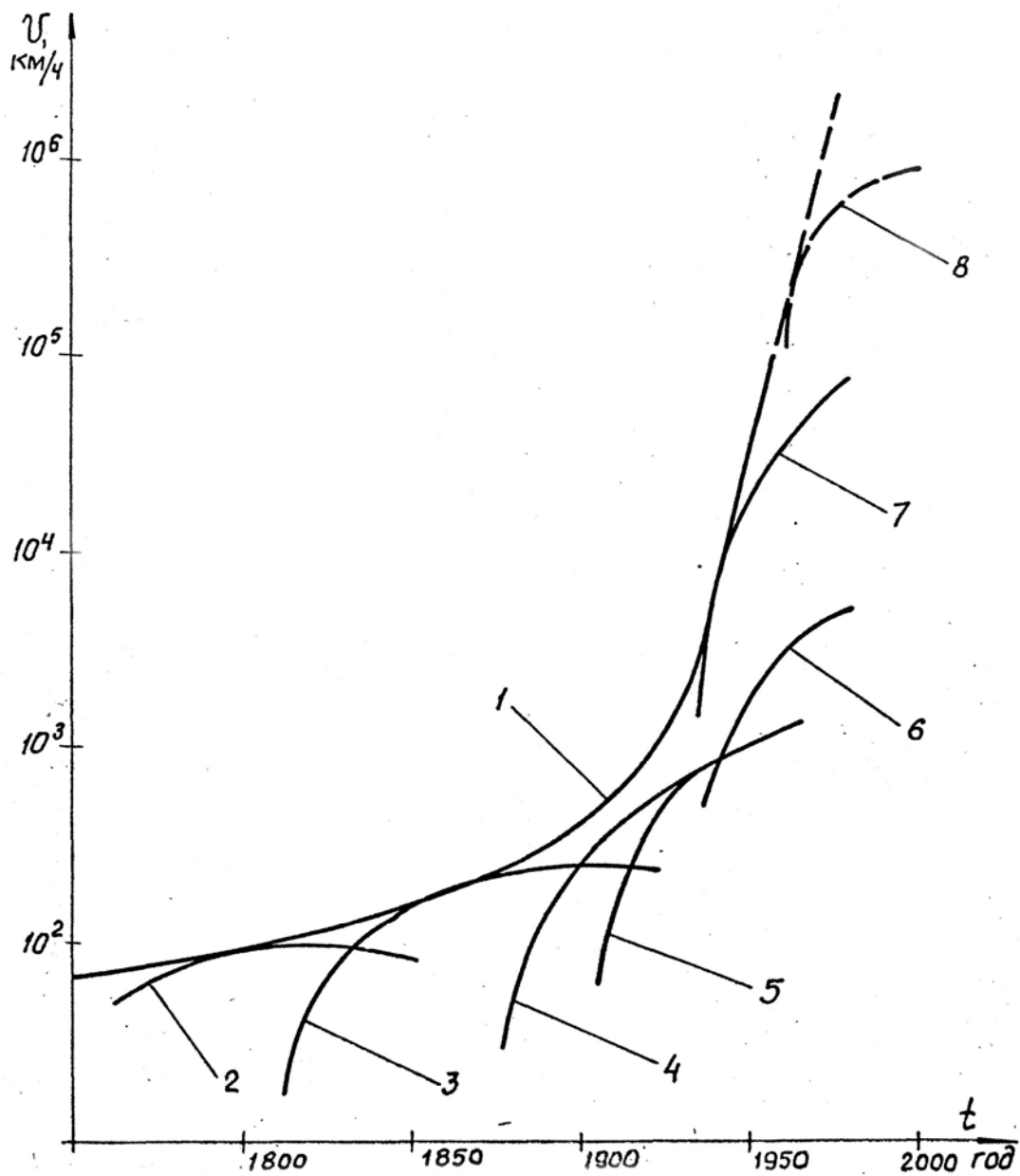


Рис. 3.2. Огибающая кривая максимально возможной скорости

1 — огибающая кривая максимально возможной скорости, развиваемой различными двигателями; 2 — гужевой транспорт; 3 — поезда; 4 — автомобили; 5 — самолеты с поршневым двигателем; 6 — реактивные самолеты; 7 — химические ракеты; 8 — ракетные ядерные двигатели.

Технический прогресс продукта труда в промышленности вследствие непрерывного роста функциональных параметров и сопутствующего усложнения технических систем приводит к непрерывному росту их стоимостных параметров. Эту тенденцию условно в соответствии со знаком изменения можно назвать позитивной тенденцией стоимостных параметров техники. Позитивная тенденция стоимостных параметров техники тоже может быть описана монотонно возрастающей S-образной кривой, но при этом она несколько отстает по темпам от параметрической тенденции. Это объясняется «эффектом» уменьшения параметрического градиента стоимости с ростом параметра техники [22]. Параметрический градиент стоимости характеризует скорость изменения стоимостных параметров техники, т. е. величины их приращения при изменении функциональных параметров на единицу.

Одновременно величина стоимостных параметров подвержена непрерывному воздействию негативной тенденции вследствие прогресса процесса труда и соответствующего роста производительности труда. Эта тенденция монотонно убывающая. В отличие от позитивной тенденции, имеющей разрывы в местах скачкообразного изменения качества продукта труда, негативная тенденция может быть описана непрерывной функцией. Это объясняется исключительно большим количеством и разнообразием элементов процесса труда, принимающих участие в создании и производстве систем в пространстве и во времени. Скачкообразное изменение качества отдельных элементов процесса труда (предметов или средств труда, технологических методов и т. д.) не приведет, поэтому к существенному мгновенному сдвигу кривой негативной тенденции.

Результирующая, или интегральная, тенденция стоимостных показателей, учитывающая две локальные тенденции (позитивную и негативную), несколько отличается от них по характеру. До определенного момента кривая, описывающая эту тенденцию, по характеру похожа на кривую позитивной тенденции. Это монотонно возрастающая кривая с точкой перегиба, несколько смещенной влево.

Рост стоимости создания, производства и эксплуатации технических систем сопровождается увеличением эффективности их применения. При этом начало функционирования новых систем, как правило, повышает производительность труда в сфере эксплуатации и соответственно снижает стоимость единицы эффекта. Это вызвано тем, что эффективность систем растет в большей степени, чем их стоимостные параметры.

Непрерывный рост производительности труда как следствие экономии общественного труда в сфере функционирования новой техники является основным и непреложным законом технического прогресса. Следовательно, акселерация (ускорение) технического прогресса является одной из наиболее важных задач экономической политики государства.

3.2. Организация эргономических систем.

Между элементами систем управления, а также между системами и внешним миром существуют связи (взаимодействия). Такие взаимодействия связаны с обменом энергией или веществ. При кибернетической постановке задачи этот обмен имеет второстепенное значение, а первостепенное — информация, которая передается от одного к другому элементу (системе) через сигналы и затем обрабатывается в устройствах управления в соответствии с заданными программами и алгоритмами управления [10].

Эволюция материального мира создала сложные системы «типа животных» от клетки до общества, имеющих свою структуру и функцию. Разница систем заключается в объеме перерабатываемой информации, в программах ее переработки, в моделях-кодах, в физических средствах моделирования и в степени абстрагирования — этажах. Человека, как клетку в сложном организме, приходится рассматривать с двух сторон: как самостоятельную систему и как элемент еще более сложной — общества.

Общество представляет собой наиболее сложную из всех систем. В ней три этажа сложности: разнообразие молекул в клетке и разнообразие клеток в организме дополнено разнообразием людей. Чем дальше развивается цивилизация, тем прочнее становятся связи между людьми, тем в большей мере общество становится системой. В обществе легко обнаружить структуры, аналогичные рабочим и управляющим подсистемам, в нем циркулируют многочисленные и разнообразные сигналы.

Сигнал, несущий ничтожное количество энергии, может вызвать огромные вещественные и энергетические пертурбации в системе, на которую он воздействует. Переработка информации заключается в превращении одних моделей в другие. Поскольку информация передается в виде сигналов, их можно снова воспринять как физическое воздействие и выделить из него новую информацию, то есть создать новую модель.

Выделение первичной информации у человека и животных осуществляется рецепторами, кодирующими энергию внешних воздействий в нервные импульсы, которые представляют уже собой элементарную модель. В ней количественно отражено превращение одного вида энергии в другой в ограниченном пространстве и в ограниченное время.

В технических устройствах также осуществляется этот процесс. Датчики воспринимают световую, тепловую, химическую, механическую и другую энергии и превращают их в электрический или другой сигнал. Во многих случаях по чувствительности и безинерционности они превосходят естественные рецепторы. Отличие пока состоит в том, что рецепторные клетки гораздо меньше датчиков. Экономичностью размеров первых объясняется их большое количество в организме и, следовательно, возможность выделить огромный объем первичной информации. Однако сокращение размеров датчиков — чисто техническая задача.

После того как появились вычислительные машины, процесс переработки информации в живых системах воспроизводится техническими устройствами. Любую информацию, полученную от датчиков, можно представить в виде набора цифр, сравнить их с некоторым другим набором и при точном или приблизительном совпадении выдать сигнал, отражающий наличие именно такой картины вовне. Это обозначено условным местом модели в некоторой матрице пространства или времени.

Элемент «разумной» деятельности выражается в новом превращении информационной модели в физические воздействия, направленные вовне, — в виде импульсов энергии. Эти воздействия служат для управления внешним миром — неодушевленными предметами либо живыми существами. В последнем случае пространственное и временное распределение энергии может отражать в определенном коде передаваемую информацию, иными словами, производится «считывание моделей» [23].

Это процесс также уже реализован в технике. Модели, записанные в памяти вычислительной машины, управляют сложными технологическими процессами, движением космических кораблей.

Таким образом, основные элементы разума реализованы человеком в технических устройствах. Все дело — в объеме перерабатываемой информации и программах переработки. В этом состоит пока еще огромная разница между уровнями развития техники и естественного разума. Любое техническое устройство можно считать разумным, если оно способно выделить, перерабатывать и выдавать информацию. Каждый из этих трех компонентов может быть выражен в разной степени или даже существовать самостоятельно, будучи «приключенным» к естественному разуму.

Управление любым объектом предусматривает цепь из трех звеньев: рецептор — датчик, воспринимающий энергию объекта и превращающий ее в сигналы, сами органы управления и эффектор — орган воздействия, превращающий управляющие сигналы в некоторый вид энергии, достаточно мощный, чтобы изменить деятельность объекта. Оно представляет собой воздействие на эту систему, включающую объект управления, с целью перевести ее из одного состояния в другое. В управляющей системе имеются модель объекта в его данном состоянии и модель того состояния, которое нужно достигнуть, а также модели методов воздействия и изменений объекта под их влиянием.

Составив алгоритм управления, можно применить его к реальной системе, используя современные технические средства воздействия и их коррекции под влиянием обратной связи. Таков же принцип можно применить к управлению экономикой страны, как предлагает академик В. М. Глушков. На специальной модели вырабатывается оптимальный план с различными степенями дифференцировки, затем он реализуется под контролем обратных связей. При этом систематически поступают сведения о выполнении плана, и в зависимости от этого периодически производится корректирование его с та-

ким расчетом, чтобы некоторые критерии управления не выходили из заданных пределов.

Вследствие создания больших технических систем в результате технического прогресса в промышленности происходит непрерывный процесс повышения уровня концентрации производства, углубления специализации и расширения кооперативных связей. Это в свою очередь приводит к созданию больших производственных систем. В связи с этим резко выросли информационные потоки в производственных системах, сложность организационной структуры и процессов управления в системе.

Поэтому большое внимание в последнее время уделяется механизации и автоматизации не только основного производства процесса, но и процессов хранения и переработки информации. В процессе переработки информации широко применяются современные математические методы и электронно-вычислительная техника. Качественно изменяются состав информации, циркулирующей по каналам прямой и обратной связи.

Вычислительная машина обеспечивает расширение интеллектуальных возможностей человека, как в количественном, так и в качественном отношении. Она во много раз превосходит человека по скорости, точности и надежности осуществления преобразований, а также по возможности хранения буквенно-цифровой информации, ее быстрого извлечения из памяти. Электронно-цифровая вычислительная машина позволяет человеку применять такие методы решения задач, которые прежде были ему недоступны из-за большого объема вычислений, сложности и глубины выводов и построений.

Применение вычислительных машин может облегчить поиск способа решения задачи: человеку необязательно разрабатывать новый изощренный способ, сокращающий количество вычислений. Напротив, он может избрать какой-нибудь из известных ему простых, хотя и трудоемких способов. ЭЦВМ позволяет оперативно в режиме диалога использовать алгоритмы уже решенных задач, входящие в ее внутренне математическое обеспечение, а также с небольшими затратами труда и времени — алгоритмы и программы, составляющие внешнее матобеспечение. Это дает возможность практически подключить к решению задачи знания и опыт целого коллектива, разрабатывающего математическое обеспечение машины, что в свою очередь резко увеличивает «зону поиска» среди возможных и доступных человеку средств и способов решения задач.

Электронно-вычислительные машины позволяют по-новому организовать коллективную работу по созданию моделей. Прежде ученый, изучавший частный вопрос, создавал частную модель в виде описания. Объединить несколько таких моделей можно было только в мозгу некоего гениального ученого — только тогда «оживала» сложная модель, составленная из «кусочков». Теперь появилась иная возможность: каждый создает свою модель в виде программы для ЭВМ. Их можно объединить, и в результате получится большая «действующая» модель. Так возникла принципиальная возможность создания модели, которая будет «умнее» ее создателей, вместе взятых. «Ум-

нее» — это значит, что на модели можно вскрыть новые качественные явления, которые ускользают от исследователей, поскольку каждый из них не в состоянии создать в своем мозгу «действующую» модель такой сложности.

Повышение уровня так называемого машинного интеллекта, прежде всего, должно опираться на развитие алгоритмических структур вычислительных машин. Отметим, что понятие «интеллект» в применении к электронно-цифровой вычислительной машине удобно тем, что оно объединяет целый ряд ее полезных свойств, приобретающих важное значение в связи с необходимостью повышения «квалификации» машин при решении сложных логических задач по переработке символьной и числовой информации, среди которых особое положение занимают проблемные задачи. Основные свойства машинного интеллекта такие, как эрудиция, сообразительность или быстрота реакции, восприимчивость.

Интеллект по определению академика АН УССР Н. М. Амосова — это аппарат управления сложными системами через действия с их моделями для достижения максимума критерием оптимальности. Понятие интеллекта применимо к органам управления всех сложных систем «типа живых» — ДНК в клетке, нервная система в организме, администрация в обществе. Интеллект может быть воплощен различными материальными средствами от биологических до технических [24].

Типовая схема интеллекта включает обязательные элементы — рецепторы, эффекторы и «мозг», содержащий модели среды «тела», критериев и действий.

Объектами управления интеллекта могут быть собственное «тело», внешний мир, другие разумные существа и, наконец, он сам — разум. Каждый из них представляет собственные критерии оптимальности в виде моделей с высокой активностью. Современная наука и техника дают возможность воспроизводить модели и действия с ними техническими средствами и таким образом отделить разум от мозга, с которым его обычно связывают.

Понятие разумного связано с общественными нормами поведения, поскольку общество обеспечивает гораздо более сложную систему внешних воздействий на индивидуум, чем природа. Впрочем, преувеличивать не стоит: разум не имеет четких границ. Никогда нельзя сказать точно, в каком возрасте ребенок становится разумным. Если пытаться сформулировать условия, которым должна удовлетворять машина, чтобы претендовать на разумность, то, видимо, нужно потребовать от нее ориентировки в кругу человеческих понятий.

Разум — это, в частности, способность к выделению и переработке информации. Чем выше смысловые «этажи» информации, чем больше дополнительных кодов — качеств в отношении как воспринимаемых, так и отдаваемых воздействий, тем разумнее поведение. Вполне мыслимо предположить существо более разумное, чем человек, поскольку возможности последнего в переработке информации довольно ограничены. «Неразумных» по-

ступков люди совершают достаточно. Машина сможет избежать некоторых из них.

Создание искусственного разума сводится к созданию программ для универсальных машин или конструированию специальных устройств, могущих воспринимать воздействия и выделить из них информацию, на основании которой обеспечивалась бы целесообразное воздействие на внешний мир. Целесообразное в человеческом понятии. Для этого нужно создать некую структуру, способную к обучению как первому и необходимому этапу «разумной» переработки информации. Следующим этапом являются сознание и творчество, уже чисто человеческие приобретения.

Искусственный разум — это искусственная моделирующая установка, претендующая на сравнение с естественной, то есть мозгом по объему переработки информации и по количеству этажей и дополнительных кодов-качеств.

Моделирование разума не предусматривает обязательного повторения природы. Создание искусственного разума — вопрос только времени. Люди овладели качеством сложность, научились создавать искусственные системы, по сложности приближающиеся к естественным. Ученые поняли, что выделение и переработка информации — модели и действия с ними — процесс объективный. Его можно воспроизвести отдельно от человека, в системах из неживых элементов. Естественный разум — только моделирующая установка из биологических элементов, обеспечивающая выделение и переработку информации. То же возможно воспроизвести искусственно из физических элементов. Многообразие естественных моделирующих установок доказывает, что можно создать разум лучше человеческого.

Разум для управления сложными системами может объединить все другие типы, используя их как вспомогательные для анализа объектов управления, синтеза новых воздействий и фиксирования в памяти всего необходимого фактического материала. По всей вероятности, коллективная деятельность нескольких или даже многих искусственных разумов окажется гораздо эффективней, чем совместная работа людей. Дело в том, что в отличие от естественного, словесного языка людей, у машин будет единый количественный язык моделей. Это упростит и ускорит общение между машинами, хотя влияние индивидуальности и субъективности останется, поскольку запрограммированы чувства и самоорганизация. У человека медленно и ограниченно обучение, затруднено обращение к коллективной памяти — книгам. Все это упростится при машинных формах переработки информации. Особенно важен новый язык науки — язык структурных действующих моделей и возможность быстрого считывания их электрическими сигналами. Поскольку речь идет об электрических сигналах, можно рассчитывать, что по скорости переработки информации искусственный мозг значительно превзойдет естественный.

Проблема роботов-автоматов, способных выполнять функции человека, тесно сопрягается с моделированием психики. По существу робот — это разум плюс органы чувств и движения. О разуме уже достаточно говорилось. Его можно воспроизвести в разных вариантах сложности, с разными программами. Можно ожидать огромного разнообразия машин, еще большего, чем разнообразие организмов. Мыслится производство роботов по любым заданиям — специализированных, универсальных, все более совершенных по форме и содержанию. У них будет важное преимущество перед животными — связь через радио и единый язык для общения.

Общественные системы пока еще в значительной степени можно уподобить низшим животным, у которых дифференцировка клеток не зашла далеко и программы целого отражают программы частей. Специфические качества общества как высшей системы появятся, когда будет создан искусственный разум — мозг общества, способный к собственной программе переработки информации: восприятию воздействия и созданию моделей, действиям и сознанию. Внешняя память — библиотеки информации и программ — будет доступным всем, а вот собственная память не может содержать всех моделей. Общество в целом должно быть гораздо умнее своих членов. Оно, как сложная система, имеет разум. У общества есть органы управления и модели, по которым они функционируют. То, что часть этих моделей находится в разуме отдельных людей, не меняет дела. Алгоритмы управления все равно принадлежат обществу как таковому. В мозг людей, причастных к управлению, они поступают вторично и за счет функционирования общества как системы.

Имея элемент системы — человека, располагая данными об уровне техники, определяющей производство вещей, можно конструировать разные схемы социальных и экономических отношений с разными системами управления. Идеологические основы систем находят отражение в характеристиках людей — какие им привиты принципы морали и этики, и в самой структуре системы — в экономике, органах управления, партиях. Самые сложные проявления интеллекта — и даже с перспективой на его развитие выше уровня человеческого разума — есть возможность «разложить по полочкам». Но, предмет исключительно сложен, поскольку лежит на стыке физиологии, психологии, техники.

Можно не сомневаться, что со временем люди овладеют биосинтезом и смогут воспроизвести биологические системы в их естественном виде. Мало вероятно по этому пути. Человек имеет в своем распоряжении больше возможности для создания новых сложных систем и едва ли будет пытаться повторить природу, тем более что она несовершенна. Вполне мыслима такая фабрика физических, искусственно созданных организмов — от примитивных роботов до сложнейших интеллектов, которая сможет обойтись без помощи людей. Она не только обеспечит серийное производство, но и неогра-

ниченную «изменчивость», конструирование все новых видов с новыми качествами.

Разум находится на столбовой дорожке развития мира, которое можно задержать, но не остановить. Следовательно, вопрос только в регулировании прогресса и в поиске новых решений проблемы человека в будущем мире.

Если не принимать во внимание трудности технологии, то можно предположить моделирование человеческого разума с увеличением его собственной памяти и созданием нового типа ее — внешней в виде количественных действующих моделей, призванных дополнить библиотеки из книг. Это расширяет возможности творчества и самопознания, что является самым главным продуктом интеллекта.

Искусственный разум — одна из наиболее интересных и волнующих проблем современной науки. Она имеет два аспекта — теоретический и прикладной. Целью теоретических исследований является разработка методов построения физических систем, которые, не уступая по эффективности человеческому мозгу, могли бы обеспечивать решение разнообразных сложных задач, решаемых человеком. Разрабатывая искусственный разум, мы вынуждены расширять, углублять и делать конструктивными наши знания о естественном разуме.

В прикладном аспекте исследования по искусственному разуму составляют новый, высший этап развития процессов автоматизации производственно-технической и интеллектуальной деятельности человека. Характерным для этого этапа является стремление автоматизировать наиболее сложные формы практической деятельности, относимые по традиции к проявлениям сугубо человеческих способностей. Таким образом, речь идет о построении машин, которые смогут эффективно заменить человека не только при выполнении монотонной и утомительной в физическом отношении работы, но и в деятельности по управлению сложными системами и процессами, принятию решений в трудно поддающихся обычному анализу ситуациях, конструированию, составлению прогнозов и т. п. В настоящее время этот процесс находится в начальной стадии развития.

В последние годы исследования по построению автоматов развиваются в области конструирования роботов — автономных технических систем, снабженных устройствами, обеспечивающими непосредственное воздействие на окружающую среду. Получены важные и весьма эффективные результаты. В подавляющем большинстве случаев роботы конструируются для решения узких технических задач и способны работать лишь в средах с малым разнообразием. Центральными при построении роботов являются проблемы организации процессов восприятия информации о среде и построения на основе ее системы адекватных поведенческих реакций. Структуры, реализующие эти функции, составляют «мозг» робота, и именно при их разработке могут быть использованы данные о механизмах и структуре решения соответствующих задач человеком.

Таким образом, одна из актуальных задач в области исследований по искусственному разуму состоит в том, чтобы путем изучения и моделирования основных закономерностей человеческого мышления разработать методы синтеза автоматов, воспроизводящих разумную деятельность человека при его взаимодействии с естественной средой. Этой области были посвящены исследования авторов книги Л 25, проводившиеся ими в течение ряда лет. В качестве конкретного объекта моделирования были избраны процессы формирования «двигательного» поведения — планирование и целенаправленное передвижение человека в естественной среде. Поведение такого рода связано с решением целого ряда задач неформального плана и рассматривается как характерный пример сложной целесообразной деятельности человека — деятельности, логическая структура которой выражена весьма слабо и проблема автоматизации которой является сейчас одной из наиболее актуальных проблем искусственного разума.

Техническую базу для автоматизации самых различных видов умственного труда составляют сегодня прежде всего электронные вычислительные машины. Серьезное место в приложениях ЭВМ занимают задачи автоматизации новых областей умственной деятельности человека, в том числе и таких, которые вплотную примыкают к процессам творчества. Эта новая область исследований получила за рубежом, может быть, не вполне точное, но весьма образное наименование «искусственный интеллект» (*artificial intelligence*). Выражаясь более точно, речь идет здесь о моделировании мозга и тех или иных функций.

Член-корреспондент АН УССР А. Г. Ивахненко определяет искусственный интеллект как свойство цифровой вычислительной машины или сети нейроподобных элементов реагирования на информацию, поступающую на ее входные устройства, почти так же, как реагирует в тех же информационных условиях некоторый задуманный или конкретный человек. Машина и моделируемый человек одинаково по своим результатам распознают образы и ситуации, решают логические и другие задачи, принимают одни и те же решения в конфликтных ситуациях, то есть демонстрируют одинаковые результаты мышления. Если машина имеет достаточный набор гибких выходных органов, то машина и человек совершают одинаковые движения, что в целом приводит к одинаковым результатам в поведении. В идеальном случае эмоциональная окраска результатов мышления и поведения у машины — модели и человека — объекта моделирования — такие должны быть одинаковой.

Подобным же модельным образом можно определить и интеллект коллектива либо целого общества. Устранение в результате обучения модели ошибочных реакций позволяет поставить задачу о построении искусственного интеллекта, более совершенного, чем интеллект человека.

Требования равных для машины и моделируемого человека результатов мышления и поведения является общепринятым среди ученых при определе-

нии искусственного интеллекта. Но относительно способов достижения этого равенства существуют разногласия. Некоторые ученые допускают, чтобы машина получала те же результаты по своим, более свойственным ей алгоритмам. К таким машинным алгоритмам относятся программы, основанные на последовательном опробовании многих вариантов решения по целесообразно выбранным критериям — принцип самоорганизации модели. Другие же ученые (к ним принадлежит и академик АН УССР Н. М. Амосов) считают, что алгоритмы, по которым получаются одинаковые результаты мышления и поведения у машины и моделируемого объекта, должны совпадать.

Опыт развития науки и техники показывает, что люди не повторяют природу, а изобретают новые решения. Высшим проявлением интеллекта является воспроизведение самого себя техническими средствами и последующий неограниченный рост его мощности. Многие фантастические предположения в этом направлении вполне допустимы, и их реализация является лишь вопросом времени и средств.

3.3. Построение модели эволюции параметров автоматизации

Осмысленная деятельность человека и ее эволюция повышают роль познаний закономерностей процессов, происходящих в окружающем его мире. А разумность жизни показывает, что даже плохо сделанный прогноз, который со временем может быть уточнен, лучше несделанного вообще. Следовательно, грамотное прогнозирование последствий принимаемых решений является насущной необходимостью, можно сказать, каждого человека.

При научно обоснованном прогнозировании, точнее при прогностике, включающей в себя теорию и практику прогнозирования, необходимо конкретно на практике разрешить два принципиальных вопроса. Первый вопрос, требуется выяснить суть прогнозируемого объекта и как она проявляется. Второй, для успешного прогнозирования необходимо выявить закономерности проявления этой сути во времени.

Проблема предвидения будущего имеет не только теоретический интерес, но и большое практическое значение. Нужно отчетливо себе представлять, что предсказание будущих характеристик машин по выбранному уравнению, описывающему изменение параметров машин во времени, основано на предположении, что мы нашли закон развития явления и что те же самые условия развития машин будут существовать и в будущем.

Подбор математической функции — наиболее трудная и ответственная часть работы. Когда уравнение хорошо «подобрано» к исходным данным, оно может дать кривую, которая точно выразит их основную тенденцию.

При математическом моделировании вместо изучения и исследования оригинала исследуются математические зависимости, описывающие ориги-

нал. Основное требование к математической модели состоит в необходимости учитывать все основные стороны и взаимосвязи рассматриваемого явления и отказаться от изучения второстепенных сторон и связей. В качестве математического аппарата для определения неизвестных параметров модели при статистическом прогнозировании наиболее часто используется метод максимального правдоподобия и, в частности, его разновидность — метод наименьших квадратов.

Математические модели прогнозирования широко используются в настоящее время. Их основными достоинствами являются объективность получаемой информации, высокая точность, а также возможность механизации процесса прогнозирования при применении современных вычислительных машин.

Однако эти методы требуют наличия четко сформулированной математической модели поведения прогнозируемого объекта. Причем только в том случае, когда математическая модель правильно описывает поведение прогнозируемого объекта, мы вправе ожидать от математических методов точных результатов прогнозирования. Таким образом, выбор и обоснование математической модели является узловым вопросом математического прогнозирования. Это в большинстве случаев далеко не тривиальная задача и в ряде случаев требует специальных исследовательских проработок.

Точность прогноза будет тем выше, чем меньше искажений и чем больше имеющейся информации о прогнозируемом объекте. При статистическом прогнозировании наиболее распространенным является метод, позволяющий получить наилучшие в некотором смысле оценки неизвестных параметров модели из условия минимума суммы квадратов отклонений оценок прогнозируемой величины от наблюдаемых значений.

Математическое прогнозирование заключается в использовании имеющихся до определенного момента времени данных о некоторых характеристиках прогнозируемого объекта, обработке этих данных математическими методами, получении зависимости, связывающей эти характеристики со временем или с некоторыми другими независимыми переменными, и вычислении с помощью найденной зависимости характеристик объекта в заданный момент времени [26].

Прогнозирование эволюционного процесса изменений технических характеристик внутри одного поколения средств осуществляется методами аналитической аппроксимации эмпирических данных с помощью функций различного вида или методами математической статистики [27].

Статистические методы применяются также при прогнозировании экономических показателей. Автор Л 28 рассматривает пути использования трендов и регрессий, проблемы обработки динамических рядов, оценки параметров различного рода кривых и доверительных интервалов. В специальном приложении рассматриваются математические основы нелинейного ме-

тогда наименьших квадратов. В указанной книге анализируются предпосылки и условия применения соответствующих методов прогностического анализа.

Для построения модели эволюции параметров автоматизации промышленных объектов могут быть использованы прогностические функции, соответствующие им функции роста и соответствующие кривые приложения (табл., рис. 102—118). Названные прогностические функции и соответствующие им кривые любезно представлены Г. Хауштейном в методах прогнозирования в специализированной экономике [29].

Во время проведения физического и математического анализа процессов прогнозирования эволюции систем — объектов организованной природы для аналогии могут быть использованы сравнительно быстротечные и наглядные химические реакции кинетики химической, представленные в Большой Советской Энциклопедии [12].

Одновременно следует отметить, что быстротечность химической кинетики, ее доступный количественный и качественный анализ могут стать подспорьем в долгосрочной и информационно затрудненной прогностике развития других физических систем — объектов и явлений. При этом заманчивой является возможность моделирования прогнозируемых процессов на основе аналогии с химическими реакциями.

Многие уравнения, описывающие протекание во времени химических реакций, пригодны и для описания ряда физических процессов (распад радиоактивных ядер, деление ядерного горючего), а также для количественной характеристики развития некоторых биохимических процессов. Таким образом можно говорить об общей кинетике, частным случаем которой является кинетика химических реакций. Эти аналогии весьма удобны для практического использования, но всегда следует иметь в виду принципиальные различия в природе рассматриваемых явлений.

Температурная зависимость скорости реакции определяется уравнением Аррениуса:

$$K = K_0 e^{-E/RT},$$

где K_0 — множитель, который может быть предвычислен;

E — энергия активации реакции;

K — универсальная газовая постоянная;

e — основание натурального логарифма.

Если записать уравнение Аррениуса в наглядном виде

$$K = K_0 e^{RT/E},$$

то в нем можно узнать экспоненциальную прогностическую функцию (см. табл. и рис. 105 приложения).

По механизму химические процессы делятся на 3 основные типа:

- простые реакции между молекулами;
- радикальные, в том числе цепные реакции;
- ионные, идущие при участии ионов.

Скорость разветвленной цепной реакции возрастает со временем, и при благоприятных условиях может произойти воспламенение реагирующей смеси. Достигнув максимального значения, скорость реакции уменьшается из-за расходования исходных веществ. В соответствии с этим кинетические кривые цепных разветвленных процессов имеют характерную S-образную форму. Точка перегиба на кривой отвечает максимуму реакции.

Скорость разветвлено-цепного процесса в газовой фазе в начальных стадиях (вплоть до выгорания 30—40 % газа) выражается формулой

$$W = k[A] \frac{\omega_0}{f - g} e^{(f-g)t},$$

где k — константа скорости реакции активного центра;

$[A]$ — концентрация исходного вещества;

ω_0 — скорость зарождения цепей;

f — константа скорости разветвления;

g — константа скорости обрыва;

e — основание натурального логарифма;

t — время.

Как видно из представленного выражения, разность эффективных констант скоростей разветвления и обрыва $f - g$, в зависимости от величины каждой из них, может иметь положительное или отрицательное значение. Соответственно, в зависимости от полученного знака в знаменателе анализируемой формулы скорость разветвлено-цепного процесса W будет возрастать или убывать.

При этом знак степени множителя $e^{(f-g)}$, соответственно и сам множитель, вместе с другими множителями (k , $[A]$, ω_0) и с названной разницей констант рассматриваемого уравнения в конечном итоге во времени t характеризует свой строго определенный вид кривой разветвлено-цепного процесса в газовой фазе в начальных стадиях.

Известно много случаев, когда конечные продукты превращения ускоряют реакцию. Скорость таких автокаталитических процессов вначале возрастает вследствие увеличения количества продукта, являющегося катализатором, а затем уменьшается вследствие израсходования исходных веществ. Поэтому зависимость степени превращения α от времени t описывается S-образной кривой (см. Автокатализ).

Наиболее распространенным видом функций роста, характеризующих эволюцию характеристик технических средств внутри поколения, являются логистические или сигмоидальные кривые.

Логистические кривые (рис. 3.1), иллюстрирующие процесс внутрипоколенного роста параметров, имеют несколько характерных участков. Время жизни поколения технических средств равно времени всей наиболее подходящей логистической кривой. На отрезке времени, соответствующем пологой части ее, появляются первые модели технических средств нового поколения, хотя преобладают средства старого поколения. Период времени, в течение которого появляются первые технические средства нового поколения, имеющие малый удельный вес в общем парке средств определенного назначения, называются латентным периодом.

На следующем отрезке времени происходит бурное развитие технических средств нового поколения. Появляются многочисленные модели и модификации средств, реализующие новый физический принцип. Инженерная мысль данный принцип воплощает в структуре и конструкциях новых моделей. Технические решения, отраженные в изобретениях, позволяют полнее реализовать фундаментальную закономерность в инженерных схемах и тем самым повысить технические характеристики средств нового поколения, этот процесс отражается на кривой резко возрастающим участком. Период времени, в течение которого происходит бурное развитие технических средств поколения, называется периодом роста.

Однако любая фундаментальная закономерность или принцип имеет естественные ограничения, которые присущи процессам, протекающим в конкретных физических телах. Поэтому процесс совершенствования и модернизации средств одного поколения, реализующим определенный физический принцип, не может быть бесконечным. Естественные ограничения, присущие физическому принципу, определяют предельное значение параметра, которое можно достичь путем технического развития средств данного поколения. На отрезке времени, соответствующем второй пологий части логистической кривой, происходит постепенный спад темпов роста параметров технических средств данного поколения. Физический принцип себя исчерпал.

Для дальнейшего роста технических характеристик средств того же назначения необходимо применить принципиально новую физическую закономерность и на ее основе построить первое техническое средство нового поколения. Пологий отрезок логистической кривой характеризует процесс резкого замедления роста параметров. Период времени, в течение которого происходит затухание роста параметров средств, называется периодом сатурации. Анализ показывает, что именно в период сатурации появляется идея применения новых физических принципов для конструирования технических средств нового поколения.

Аналитически логистическая кривая роста технической характеристики средств внутри поколения Y описывается формулой

$$Y = \frac{A}{B + e^{-ct}}, \quad (3.6)$$

где A и B — параметры кривой;

C — параметр кривой, характеризующий скорость достижения Y_{\max} ;

t — время.

Отношение A/B определяет предельно возможное значение роста параметра Y_{\max} и является верхним пределом его. При научно-техническом прогнозировании во многих случаях верхний предел роста прогнозируемого параметра определен известными физическими ограничениями для конкретного технического решения. Из выражения (3.6) видно, что логистическая кривая имеет начальное значение, равное 0, при t , равном минус бесконечности, и достигает предельного значения при t , равном плюс бесконечность. График развития технических характеристик средств имеет точку, называемую точкой перегиба и характеризующую начальный момент перехода от экспоненциального роста к сигмоидальной кривой. Если возьмем вторую производную от Y по времени, то увидим, что точка перегиба кривой находится в точке

$$T_{\text{пр}} = \frac{1}{C} \ln \frac{1}{B}, \text{ когда } Y = \frac{A}{2B}. \quad (3.7)$$

Логистическая кривая симметрична относительно этой точки перегиба, верхняя половина ее является отражением нижней. Симметричность кривой приводит к тому, что параметр B определяет место кривой на временной оси, в то время как параметр C определяет крутизну (в первую очередь средней части) кривой. Если логистическая кривая имеет ординату Y_1 , когда время равно t_1 , и Y_2 , когда время равно t_2 , то изменение параметра B приведет к увеличению или уменьшению t_1 и t_2 на одинаковое число, в зависимости от соответствующего смещения кривой влево или вправо. Однако изменение B не окажет никакого влияния на отрезок $t_2 - t_1$ для кривой, изменяющейся от Y_1 до Y_2 .

Сформулируем условия, которым должна удовлетворять логистическая кривая:

- а) иметь точку перегиба;
- б) не содержать точек экстремума;
- в) иметь предел, к которому должна приближаться в бесконечности.

Удовлетворить этим условиям может семейство логистических кривых с различным значением параметра C . Для выбора из этого семейства наиболее подходящей кривой можно воспользоваться способом, предложенным В. Гуве, который основан на введении понятия основного периода вариации динамического ряда T . Этот период равен времени, в течение которого динамический ряд развивается от 1 до 99 % своего предельного значения

$$T = t_k - t_0, \quad (3.8)$$

где t_0 — время, когда значение технической характеристики равно $0,01 Y_{\max}$;
 t_k — время, когда значение технической характеристики равно $0,99 Y_{\max}$.

После несложных преобразований из аналитического выражения функции роста технической характеристики средств внутри поколения (3.6) получаем формулу времени развития динамического ряда

$$t = \frac{1}{C} \ln \frac{Y}{A - YB} \quad (3.9)$$

Начальное значение времени t_0 и конечное t_k , выраженные полученным уравнением (3.9), подставляем в выражение (3.8).

После соответствующих преобразований получаем формулу основного периода вариации динамического ряда

$$T = \frac{n}{C}, \quad (3.10)$$

где n — константа основного периода вариации динамического ряда, которая равна 9,1902 или

$$n = \ln \left(\frac{Y_k}{A - Y_k B} : \frac{Y_0}{A - Y_0 B} \right);$$

Y_0 — техническая характеристика, когда значение времени t_0 ;

Y_k — техническая характеристика, когда значение времени t_k .

Из полученного уравнения (3.10) видно, что величина основного периода вариации динамического ряда обратно пропорциональна величине параметра логистической кривой роста технической характеристики C .

Значение параметра B аналитического выражения логистической кривой роста (3.6) определяем при начальном значении времени развития динамиче-

ского ряда t_0 , равном 0, и соответственно при значении технической характеристики Y_0 .

$$\frac{A}{B + e^{-co}} = 0,01 \frac{A}{B}$$

После решения полученного уравнения получаем значение параметра B , равное 0,0101.

Любой прогноз, как бы хорош он не был сделан, содержит ошибку, причем ошибка увеличивается по мере удаления прогнозируемых величин от настоящего момента. Поэтому прогнозы по мере поступления новой информации необходимо пересматривать и уточнять. Основным преимуществом применения кривых роста является их большая объективность по сравнению с интуитивными методами прогнозирования. Применение кривых роста приводит к более точным результатам, чем метод аналогий, особенно когда имеется достаточное количество информации для того, чтобы получить статистически существенные оценки параметров в уравнениях.

Кривые роста дают простой метод для получения объективно воспроизводимого прогноза, который основывается на прошлых функциональных характеристиках большого числа моделей и модификаций технических средств поколения.

Научно-техническое прогнозирование процесса изменений параметров автоматизации производственных процессов — оценки уровня автоматизации и количества параметров автоматического управления на КБ СУГ, как на одном из конкретных объектов газовой промышленности, осуществляется методом аналитической аппроксимации эмпирических данных типовых проектов с помощью наиболее распространенного вида функций роста — логистических кривых. Они характеризуют изменение технических характеристик внутри поколения средств автоматизации во времени. Первые количественные оценки интеллектуальности организованной субстанции на кустовых базах и графическое определение ее проведены автором в институте «ЮжНИИгазпрогаз» в 1972 году.

3.4. Рост оценки уровня автоматизации

Технологическое прогнозирование роста, в частности оценки уровня автоматизации производственных процессов, базируется на понятии «развитие».

Развитие, по характеристике Юдина Э. Г. [БСЭ, т. 21], необходимое, направленное, закономерное изменение материальных и идеальных объектов. Только одновременное наличие всех трех указанных свойств выделяет процессы развития среди других изменений: обратимость изменений характери-

зует процессы функционирования (циклическое воспроизведение постоянной системы функций); отсутствие закономерности характерно для случайных процессов катастрофического типа; при отсутствии направленности изменения не могут накапливаться, и потому процесс лишается характерной для развития единой, внутренне взаимосвязанной линии. В результате развития возникает новое качественное состояние объекта, которое выступает как изменение его состава и структуры (т. е. возникновение, трансформация или исчезновение его элементов или связей). Способность к развитию составляет одно из всеобщих свойств материи и сознания.

Существенную характеристику процессов развития составляет время: во-первых, всякое развитие осуществляется в реальном времени, во-вторых, только время выявляет направленность развития. Поэтому история научных представлений о развитии начинается лишь с тех пор, как сформулировались теоретические представления о направленности времени.

В XX в. предметом изучения становятся, прежде всего, внутренние механизмы развития. Например, Дарвину для формирования теории органической эволюции было достаточно указать на естественный отбор как на основной фактор эволюции, действующий через наследственность и изменчивость; это успешно объясняет схему эволюционного процесса в целом. Биология XX в. изучает конкретные механизмы наследственности и изменчивости. От анализа общей схемы развития она переходит к анализу его внутренней структуры и условий протекания.

Анализ механизмов развития потребовал более глубокого изучения внутреннего строения развивающихся объектов, в частности их организации и функционирования. Такой анализ оказался необходим и для выработки объективных критериев, позволяющих реализовать качественный подход к изучению развития: подобным критерием обычно служит повышение или понижение уровня организации в процессе развития. Но проблематика организации и функционирования оказалась настолько обширной и разнообразной, что потребовала выделения особых предметов изучения.

При оценке перспектив построения синтетической теории развивающихся объектов следует учитывать, что техника анализа процессов функционирования более развита, чем техника исследования процессов развития (это объясняется большой сложностью последних). Поэтому одна из важных методологических задач — совершенствование представлений о структуре и механизмах процессов развития, об их взаимосвязи с процессами функционирования.

Развитие организмов [БСЭ, т. 21], 1) индивидуальное развитие организмов, или онтогенез, совокупность последовательных морфологических и физиологических изменений, претерпеваемых каждым организмом от момента его рождения до конца жизни. Онтогенез — процесс тесно взаимосвязанных

количественных и качественных преобразований. Количественные изменения — рост — представляют собой увеличение массы, размеров тела в целом, его частей или органов. Качественные изменения — дифференцировка — представляют собой преобразование структуры и функций организма, его частей и органов. 2) Историческое развитие, или филогенез, организмов и их систематических групп (типов, классов, отрядов, семейств, родов, видов) в течение всего времени существования жизни на Земле. Связь онто- и филогенеза выражается в том, что филогенез представляет собой исторический ряд прошедших естественный отбор онтогенезов.

Основной технической характеристикой поколения технических средств с информационным принципом функционирования является оценка уровня автоматизации производственных процессов, эволюция которых отражает собой тенденции совершенствования техники. Из табл. 3.1 видно, что изменение значений ее (Y_{Ai}) во времени в типовых проектах кустовых баз сжиженных газов имеет монотонно возрастающий характер.

Все выше сказанное говорит о том, что внутривоколенную параметрическую эволюцию оценки уровня автоматизации технологических процессов кустовых баз аналитически можно представить в виде выражения логистической кривой.

$$Y_A = \frac{A}{B + e^{-ct}}, \quad (3.11)$$

где C — параметр кривой, характеризующий скорость достижения Y_{Amax} .

В формуле (3.11) необходимо определить неизвестные значения параметров кривой A и C , которые удовлетворяют нескольким точечным данным, относящимся к прошлому. Определение этих параметров и конкретизация значения аргумента времени t позволяют прогнозировать будущее развитие оценки уровня автоматизации.

При значении времени t , равном плюс бесконечности, и соответственно при значении оценки уровня автоматизации производственных процессов, равном единице, из выражения (3.6) определяем, что параметр A равен параметру B . следовательно значение параметра A также равно 0,0101.

Параметр кривой C определяется наиболее точным методом наименьших квадратов по точечным эмпирическим данным оценки уровня автоматизации технологических процессов на КБ СУГ Y_{Ai} (табл. 3.1), в основу которых легли количества параметров автоматических контроля и управления, посчитанные по типовым проектам (табл. 2.4 и 2.5).

Таблица 3.1

Динамика эмпирических проектных и соответствующих им расчетно-ретроспективных значений оценки уровня автоматизации

Обозначение типового проекта	Время вступления в силу типового проекта $t_{ли}, \Gamma$	Время оценки уровня роста автоматизации		Время действия типового проекта θ_i, Γ	Эмпирическое и расчетно-ретроспективное значения оценки уровня автоматизации, ап/нп			
		t_i, Γ	отрезок его a_i, Γ		по типовому проекту Y_{Ai}	расчетное Y_A	отклонение ϵ_i	
							абсолютное	относительное, %
ТП-1	15.08.1960	48,546	0,000	2,277	0,1511	0,2103	-0,0592	-28,15
ТП-2	24.11.1962	50,823	2,277	4,452	0,3053	0,2369	+0,0684	+28,87
905-12	07.05.1967	55,275	6,729	3,371	0,2312	0,2953	-0,0641	-21,71
905-12/70	21.09.1970	58,646	10,100	данных нет	0,3919	0,3447	+0,0472	+13,69

Анализируя логистическую кривую (рис. 3.1), можно сделать заключение, что чем ближе эмпирическая кривая роста научно-технической характеристики к экспоненте на участке вплоть до точки перегиба, тем лучше оценка C . Следовательно, при определении параметра C желательно иметь участок кривой роста со значениями характеристики

$$Y_{Ai} = \frac{Y_{Amax}}{2},$$

где $i = 1, \dots, n$.

Как видно из табл. 3.1 эмпирические значения оценки уровня автоматизации технологических процессов на КБ СУГ изменяются так:

$$Y_{Ai} = (0,1511 — 0,3919) Y_{Amax} < \frac{Y_{Amax}}{2},$$

что дает возможность с большей точностью определить значение параметра C .

Для определения его нам нужно минимизировать выражение, т. е. приравнять нулю

$$\sum_{i=1}^n \left(Y_{Ai} - \frac{A}{B + e^{-Ct_i}} \right)^2$$

Методом выделения экспоненциального члена логарифмирования В. А. Лисичкиным в Л 19 получено выражение параметра технической характеристики С. Используя его, можем записать выражение параметра кривой роста оценки уровня автоматизации

$$C = \frac{n \sum_{i=1}^n t_i \ln Y_{Ai} - \sum_{i=1}^n t_i \sum_{i=1}^n \ln Y_{Ai}}{n \sum_{i=1}^n t_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n t_i \right)^2}. \quad (3.12)$$

В выражении (3.12), кроме определяемого параметра С, не известны значения развития динамического ряда t_i . Чтобы освободиться от неизвестных параметров времени, произведем следующую замену. Обозначим известные нам по летоисчислению (табл. 3.1) значения отрезков времени между временем вступления в силу первого типового проекта ТП-1 и временем вступления в силу последующих за ним типовых проектов, равные соответствующим значениям отрезков времени роста оценки уровня автоматизации, буквой

$$t_{\text{Л}i} - t_{\text{Л}1} = t_i - t_1 = a_i.$$

В выражении (3.12) подставим уравнения времени развития динамического ряда

$$t_i = t_1 + a_i$$

$$C = \frac{n \sum_{i=1}^n (t_1 + a_i) \ln Y_{Ai} - \sum_{i=1}^n (t_1 + a_i) \sum_{i=1}^n \ln Y_{Ai}}{n \sum_{i=1}^n (t_1 + a_i)^2 - \left[\sum_{i=1}^n (t_1 + a_i) \right]^2}.$$

Затем произведем соответствующие преобразования

$$C = \frac{nt_1 \sum_{i=1}^n \ln Y_{Ai} + n \sum_{i=1}^n a_i \ln Y_{Ai} - nt_1 \sum_{i=1}^n \ln Y_{Ai} - \sum_{i=1}^n a_i \sum_{i=1}^n \ln Y_{Ai}}{n \sum_{i=1}^n (t_1^2 + 2t_1 a_i + a_i^2) - \left(\sum_{i=1}^n t_1 + \sum_{i=1}^n a_i \right)^2} =$$

$$= \frac{n \sum_{i=1}^n a_i \ln Y_{Ai} - \sum_{i=1}^n a_i \sum_{i=1}^n \ln Y_{Ai}}{n^2 t_1^2 + 2nt_1 \sum_{i=1}^n a_i + n \sum_{i=1}^n a_i^2 + \left(\sum_{i=1}^n t_1 \right)^2 - 2 \sum_{i=1}^n t_1 \sum_{i=1}^n a_i - \left(\sum_{i=1}^n a_i \right)^2} =$$

$$= \frac{n \sum_{i=1}^n a_i \ln Y_{Ai} - \sum_{i=1}^n a_i \sum_{i=1}^n \ln Y_{Ai}}{n^2 t_1^2 + 2nt_1 \sum_{i=1}^n a_i + n \sum_{i=1}^n a_i^2 - n^2 t_1^2 - 2nt_1 \sum_{i=1}^n a_i - \left(\sum_{i=1}^n a_i \right)^2}.$$

После чего получаем выражение, позволяющее определить параметр логистической кривой

$$C = \frac{n \sum_{i=1}^n a_i \ln Y_{Ai} - \sum_{i=1}^n a_i \sum_{i=1}^n \ln Y_{Ai}}{n \sum_{i=1}^n a_i^2 - (\sum_{i=1}^n a_i)^2}. \quad (3.14)$$

Обозначим постоянные величины

$$\frac{n}{n \sum_{i=1}^n a_i^2 - (\sum_{i=1}^n a_i)^2} = \alpha = \text{const};$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n \sum_{i=1}^n a_i^2 - (\sum_{i=1}^n a_i)^2} = \beta = \text{const}.$$

Тогда формула параметра кривой роста оценки уровня автоматизации примет вид

$$C = \sum_{i=1}^n (\alpha a_i - \beta) \ln Y_{Ai}. \quad (3.15)$$

Подставив из табл. 3.1 в полученное выражение эмпирические проектные значения оценки уровня автоматизации производственных процессов на кустовых базах Y_{Ai} и соответствующих отрезков времени a_i , получаем значение параметра логистической кривой C , которое равно 0,0674.

После конкретного определения параметра C из выражения (3.10) определяем значение времени развития основного периода вариации динамического ряда T , которое равно 136,355 года, и из выражения (3.7) значение времени точки перегиба логистической кривой оценки уровня автоматизации, равное 68,178 года.

Значение времени развития динамического ряда t_1 , соответствующее эмпирическому значению технической характеристики Y_{Ai} , определяем из уравнения, которое составляем из условия равенства площадей под ломаной линией значений оценки уровня автоматизации технологических процессов на КГ СУГ по типовым проектам и под соответствующим участком логистической кривой ретроспективных значений ее (рис. 3.3).

Площадь под графиком оценки уровня автоматизации по типовым проектам $S_{\text{уп}}$ равна сумме составляющих ее площадей

$$S_{\text{уп}} = \sum_{i=1}^n S_{y_i} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (Y_{A_{i+1}} + Y_{A_i})(a_{i+1} - a_i).$$

Обозначим время действия типового проекта, равное $a_{i+1} - a_i$, буквой θ_i .

Тогда

$$S_{\text{уп}} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (Y_{A_{i+1}} + Y_{A_i})\theta_i. \quad (3.16)$$

В полученное выражение подставляем эмпирические значения технической характеристики Y_{A_i} и времени действия типовых проектов θ_i (табл. 3.1) и получаем значение площади под ломаной линией проектных значений оценки уровня автоматизации производственных процессов, которое равно 2,763 ап·г/нп.

Площадь криволинейной трапеции, ограниченная частью графика функции $Y_A(t)$, осью абсцисс и двумя ординатами $Y_A(t_1)$ и $Y_A(t_n)$, выражается определенным интегралом развития оценки уровня автоматизации технологических процессов на кустовых базах сжиженных газов

$$S_Y = \int_{t_1}^{t_n} \frac{A dt}{B + e^{-ct}} \quad (3.17)$$

Интегрируя подынтегральное выражение [30], получаем

$$S_Y = \frac{A}{B} \left[t + \frac{1}{C} \ln(B + e^{-ct}) \right]_{t_1}^{t_n} = \frac{1}{C} \ln \frac{B + e^{-ct_n}}{B + e^{-ct_1}} + t_n - t_1$$

После подстановки уравнения времени t_n (3.13) площадь под участком логистической кривой роста оценки уровня автоматизации определяется выражением

$$S_Y = \frac{1}{C} \ln \frac{B + e^{-c(t_1+a_n)}}{B + e^{-ct_1}} + a_n. \quad (3.18)$$

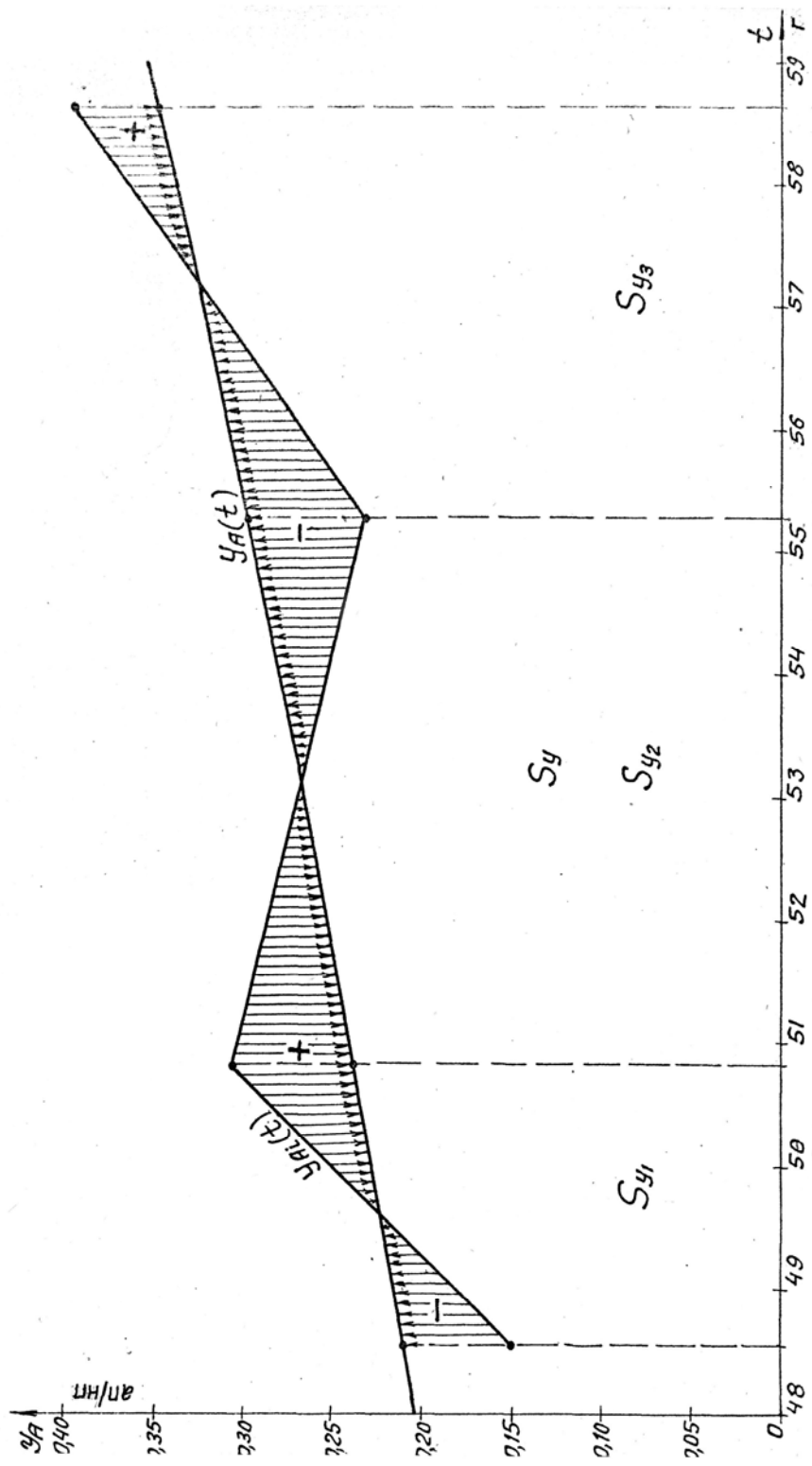


Рис. 3.3. Динамика оценки уровня автоматизации

Y_{ai}, Y_a — эмпирические проектные и расчетно-ретроспективные значения оценки уровня автоматизации; S_{yi}, S_y — площади под соответствующими графиками функций; $Y_{Ai}(t)$ и $Y_A(t)$ — время развития динамического ряда.

Приравнивая между собой выражение (3.18) и площадь под графиком функции $Y_{Ai}(t)$, получаем

$$\ln \frac{B + e^{-c(t_1+a_n)}}{B + e^{-ct_1}} = C(S_{\text{вып}} - a_n).$$

Откуда

$$\frac{B + e^{-c(t_1+a_n)}}{B + e^{-ct_1}} = e^{c(S_{\text{вып}} - a_n)}.$$

Из полученного уравнения найдем неизвестное значение времени развития динамического ряда t_1

$$B + e^{-c(t_1+a_n)} = B e^{c(S_{\text{вып}} - a_n)} + e^{-ct_1} e^{c(S_{\text{вып}} - a_n)}.$$

Тогда

$$e^{-ct_1} = \frac{B(1 - e^{c(S_{\text{вып}} - a_n)})}{e^{c(S_{\text{вып}} - a_n)} - e^{-ca_n}}$$

или

$$e^{ct_1} = \frac{e^{-ca_n}(e^{cS_{\text{вып}}} - 1)}{B e^{-ca_n}(e^{ca_n} - e^{cS_{\text{вып}}})}.$$

После логарифмирования получаем формулу, позволяющую определить одно из значений времени развития динамического ряда оценки уровня автоматизации технологических процессов

$$t_1 = \frac{1}{C} \ln \frac{e^{cS_{\text{вып}}} - 1}{B(e^{ca_n} - e^{cS_{\text{вып}}})}. \quad (3.19)$$

В полученное выражение подставляем уже известные нам значения параметров и находим значение времени t_1 , равное 48,546 года.

Эмпирическое время развития динамического ряда оценки уровня автоматизации производственных процессов t_i , соответствующее времени вступления в силу типового проекта кустовой базы сжиженных газов по летоисчислению $t_{\text{Л}}$ (табл. 3.1), определяется уравнением

$$t_i = t_{Лi} - t_{Л0}, \quad (3.20)$$

где $t_{Л0}$ — время начала основного периода вариации динамического ряда оценки уровня автоматизации по летоисчислению, г.

Найденное значение времени t_i и время вступления в силу первого типового проекта ТП-1 $t_{Л1}$ дают возможность из уравнения (3.20) на абсциссе времени по летоисчислению (рис. 3.4) определить неизвестное значение времени начала основного периода вариации динамического ряда оценки уровня автоматизации технологических процессов на КБ СУГ $t_{Л0}$, равное 1911,076-ому году. После определения значения времени $t_{Л0}$ из уравнения (3.20) определяем эмпирические значения времени развития динамического ряда t_i , которые представлены в табл. 3.1. Представляя их и уже известные нам параметры A , B и C в аналитическое выражение (3.11), находим соответствующие эмпирическим расчетно-ретроспективные значения оценки уровня автоматизации технологических процессов на КБ СУГ Y_A .

На рис. 3.3 показан график функции $Y_A(t)$, построенный по найденным значениям оценки уровня автоматизации.

Правильность определения значений всех трех параметров, а также аргумента времени t , входящих в выражение логистической кривой роста оценки уровня автоматизации (3.11), проверим правильность расчета одного параметра A . Для чего минимизируем выражение

$$\sum_{i=1}^N (Y_{Ai} - \frac{A}{B + e^{-Ct_i}})^2 = \min[28],$$

где N — количество эмпирических проектных значений функции $Y_A(t_i)$.

После возведения в квадрат отклонений эмпирических запроектированных значений технической характеристики от расчетно-ретроспективных получаем полное неприведенное квадратное уравнение неизвестного значения параметра A .

$$A^2 \sum_{i=1}^N (\frac{1}{B + e^{-Ct_i}})^2 - 2A \sum_{i=1}^N \frac{Y_{Ai}}{B + e^{-Ct_i}} + \sum_{i=1}^N Y_{Ai}^2 = 0$$

Так как дискриминант полученного квадратного уравнения равен нулю, то уравнение имеет одно действительное решение (два совпадающих корня), определяющее значение параметра

$$A = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{Y_{Ai}}{B + e^{-Ct_i}}}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{B + e^{-Ct_i}} \right)^2} \quad (3.21)$$

Из табл. 3.1 в выражение (3.21) подставляем эмпирические проектные значения параметров Y_{Ai} и t_i и получаем значения параметра A , равное 0,0101, которое равно ранее определенному по выражению (3.6) значению. Как видим, правильность расчета количественных значений параметров аналитического выражения логистической кривой развития оценки уровня автоматизации производственных процессов на КГ СУГ A , B и C (3.11) и аргумента времени t , конкретизированного выражением (3.20), подтверждается проверочным расчетом одного из параметров A по его выражению (3.21).

Практическим подтверждением правильности выбора метода определения и научно-технического прогнозирования функции $Y_A(t)$ является значение оценки уровня автоматизации производства пара на кустовой базе по типовому проекту ТП-2 (табл. 2.5), которое уже равно единице.

В табл. 3.2 представлены значения оценки уровня автоматизации технологических процессов на КГ СУГ, полученные аналитически по формуле (3.11) в промежутке времени основного периода вариации динамического ряда T .

Таблица 3.2

Рост оценки уровня автоматизации кустовых баз

Время			Оценка уровня автоматизации Y_A , ап/нп	Время			Оценка уровня автоматизации Y_A , ап/нп
развитие динамического ряда t , Γ		по летоисчислению t_L , Γ		развитие динамического ряда t , Γ		по летоисчислению t_L , Γ	
обозначение	значение			обозначение	значение		
1	2	3	4	1	2	3	4
t_0	0,000	1911,076	0,01000	t_{14}	68,924	1980	0,51217
t_1	3,924	1915	0,01299	t_{15}	73,924	1985	0,59552
t_2	8,924	1920	0,01810	t_{16}	78,924	1990	0,67338
t_3	13,924	1925	0,02517	t_{17}	83,924	1995	0,74248
t_4	18,924	1930	0,03490	t_{18}	88,924	2000	0,30184
t_5	23,924	1935	0,04821	t_{19}	93,924	2005	0,85017
t_6	28,924	1940	0,06623	t_{20}	98,924	2010	0,88830
t_7	33,924	1945	0,09034	t_{21}	103,924	2015	0,91735
t_8	38,924	1950	0,12219	t_{22}	108,924	2020	0,93953
t_9	43,924	1955	0,16317	t_{23}	113,924	2025	0,95644
t_{10}	48,924	1960	0,21453	t_{24}	118,924	2030	0,96836

1	2	3	4	1	2	3	4
t_{11}	53,924	1965	0,27671	t_{25}	123,924	2035	0,97679
t_{12}	58,924	1970	0,34900	t_{26}	128,924	2040	0,98345
t_{13}	63,924	1975	0,42924	t_{27}	133,924	2045	0,98826
t_{nr}	68,924	1979,254	0,50000	t_k	136,355	2047,431	0,99000

По значениям параметра оценки уровня автоматизации табл. 3.2 на рис. 3.4 построен график функции $Y_A(t)$, который представляет собой логистическую кривую со своим временем развития динамического ряда. Построенную кривую по своему назначению условно можно разбить на две части. Первая часть ее отражает развитие технической характеристики за прошедшие годы и имеет для нас больше познавательное значение. Эмпирические значения оценки уровня автоматизации типовых проектов, относящиеся к ней, послужили исходными данными для получения расчетных ретроспективных и перспективных значений всей кривой роста.

Вторая часть, которую можно назвать рабочей, определяет значения развития оценки уровня автоматизации технологических процессов в последующие еще не наступившие годы. Найденные значения критерия важны в научно-техническом познании и практическом применении при разработке новых типовых и индивидуальных проектов КБ СУГ, а также новых методов и средств автоматизации производственных процессов на них.

Используя формулу (3.9), для определенного конкретного значения оценки уровня автоматизации технологических процессов из выражения (3.11) получаем время развития динамического ряда

$$t = \frac{1}{C} \ln \frac{Y_A}{A - Y_A B} \quad (3.22)$$

Учитывая уравнение (3.20) можно записать

$$t_l = t_{l0} + t, \quad (3.23)$$

где t_l — время развития динамического ряда оценки уровня автоматизации по летоисчислению, г.

Оценка уровня автоматизации производственных процессов на кустовых базах сжиженных газов по структурной схеме комплексной автоматизации (рис. 2.6) с параметрами централизованного автоматического контроля и автоматического управления (табл. 2.8) Y_{Acx} равна 0,6416 ап/нп. Используя с некоторым допущением параметры производственного аналитического расчета C и ниже t_{l0} , по формуле (3.22) определяем время развития динамического ряда t_{cx} , равное 76,818 годам.

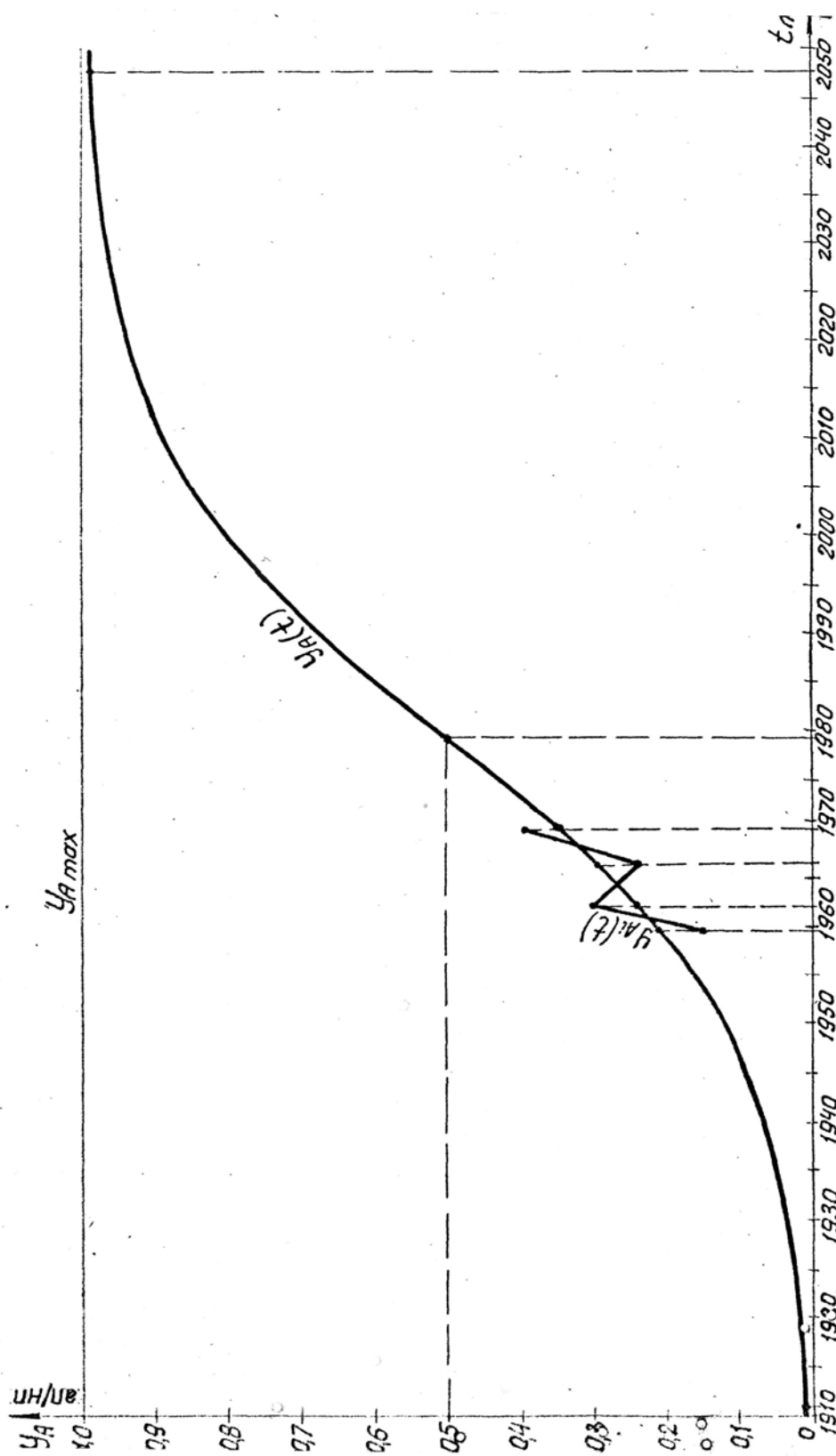


Рис. 3.4. Рост оценки уровня автоматизации

$Y_{A, \text{э}}$, Y_A — эмпирические и расчетные ретроспективно-перспективные значения оценки уровня автоматизации; $Y_{A, \text{max}}$ — максимальное значение роста параметра; $t_{\text{п}}$ — время по летоисчислению.

Согласно уравнению (3.23) оценка уровня автоматизации технологических процессов, равная значению 0,6416 ап/нп в проектах КБ СУГ должна быть достигнута в 1987,894 году. Учитывая время окончания работы над структурной схемой комплексной автоматизации С1, равное 1969,666 году, последняя позволила произвести, а следовательно практически использовать научно-технический прогноз эволюции организованной системы — объекта неорганической природы на 18,228 лет вперед.

Из табл. 3.1 видно, что наибольшее положительное отклонение эмпирического запроецированного значения оценки уровня автоматизации производственных процессов на кустовых базах сжиженных углеводородных газов Y_{Ai} от расчетного ретроспективного значения $\varepsilon = Y_{ai} - Y_a$ составляет для типового проекта ТП-2 плюс 0,0684 ап/нп и отрицательное для типового проекта 905-12 минус 0,0641 ап/нп. Такие сравнительно большие отклонения, чередующиеся в разные стороны от расчетно-ретроспективного значения, по-видимому, объясняются периодической недооценкой или переоценкой разработчиками типовых проектов эффективности автоматизации технологических процессов и, конечно, отсутствием научно-технически обоснованных методов определения и расчета уровня ее.

Как видно из табл. 3.1, относительные отклонения значения оценки уровня автоматизации технологических процессов ε_i в сторону увеличения ее, а также в сторону уменьшения от спрогнозированной величины достигают почти 30 %. Так например, в типовом проекте кустовых баз ТП-2 величина относительного отклонения составляет 28,87 %. Это, конечно, большой разброс значений. Отклонение оценки уровня автоматизации в сторону увеличения значения ее говорит о необоснованно завышенной стоимости разработки и эксплуатации технических средств автоматизации. В то время как отклонение ее в сторону уменьшения показывает, что технико-экономические возможности средств автоматизации не используются полностью.

Следовательно, становится очевидным, что при проектировании промышленных объектов и при разработке новых технических средств автоматизации возникает острая необходимость прогнозировать оптимальную величину оценки уровня автоматизации технологических процессов на любое нужное наперед заданное время.

4. Эволюция параметров физического интеллекта

Если в жизнедеятельности биологических систем-субъектов в основном превалирует химические процессы, то в проявления системы организованной неорганической природы — физические. Поэтому правомерно, по-нашему мнению, говорить о физическом интеллекте последних, который в нашем случае характеризуется оценкой уровня автоматизации и количеством параметров автоматического управления технологическими процессами.

Количество параметров автоматического контроля характеризует непосредственное участие биологических систем человека в контроле и поддержании производственных процессов и может служить своего рода количественной оценкой производственной деятельности обслуживающего персонала.

4.1. Эволюция количества параметров автоматического управления

Информация о величине параметров автоматического управления само реализуется в производственной системе и является составной ее частью. Она по своему характеру действия конкретно направлена на определенное изменение разнообразия состояния технологической схемы процесса и производственного объекта в целом. Следовательно, подбор названных параметров при проектировании промышленного объекта технически конкретизируется и экономически обосновывается. Этим устраняется субъективность в самом количестве параметров автоматического управления технологическими процессами.

Количество параметров автоматического управления производственными процессами I_y представляет собой, как и оценка уровня автоматизации Y_A , техническую характеристику производственного подразделения различной величины и определяет разнообразие состояний технологической системы, чем непосредственно обуславливаются возможные режимы работы ее. По своему выражению оценка уровня автоматизации предстает относительной величиной и представляет собой качественный критерий. В то время как количество параметров автоматического управления выражает собой количественную параметрическую характеристику и этим самым как бы дополняет оценку уровня автоматизации.

В то же время количество параметров автоматического контроля I_k , опосредованное человеком, т. е. биологическими организованными системами, используется для коррекции работы технологической системы и не представляет собой чисто техническую характеристику. А общее количество информации I представляет собой неоднородную информацию и включает в себя как количество параметров автоматического контроля I_k , так и количество параметров автоматического контроля и управления I_y . Поэтому общее количество параметров автоматического контроля и управления I представляет собой интегральную характеристику, состоящую из двух в чем-то разных характеристик.

Из табл. 4.1 видно, что изменение эмпирических проектных значений количества параметров автоматического управления I_{yi} во времени в типовых проектах кустовых баз имеет монотонно возрастающий характер. Все выше сказанное говорит о том, что эволюционное изменение количества параметров автоматического управления технологическими процессами на кустовых базах сжиженных углеводородных газов аналитически можно описать выражением логистической кривой

$$I_y = \frac{A_y}{B + e^{-C_y t_y}}, \quad (4.1)$$

где A_y — параметр логистической кривой;
 C_y — параметр кривой, характеризующий скорость достижения $I_{y\max}$;
 t_y — время развития динамического ряда в годах.

В выражении (4.1), как и в аналитической формуле оценки уровня автоматизации (3.11), необходимо определить неизвестные значения параметров логистической кривой A_y и C_y , которые удовлетворяют нескольким точным данным, относящимся к развитию в прошлом. Найденные значения этих параметров позволяет прогнозировать будущее роста количества параметров автоматического управления процессами на рассматриваемом производственном объекте.

Параметр логистической кривой C_y определяем также как параметр C оценки уровня автоматизации методом наименьших квадратов по точечным эмпирическим данным количества параметров автоматического управления производственными процессами на КБ СУГ I_{yi} (табл. 4.1), посчитанного по типовым проектам (табл. 2.4).

Таблица 4.1

**Динамика эмпирических проектных и соответствующих им
 расчетно-ретроспективных значений количества параметров
 автоматического управления кустовых баз, нп**

Обозначение типового проекта	Время вступления в силу типового проекта по летоисчислению, t_{yi} , г	Время развития динамического ряда t_{yi} , г	Эмпирическое и расчетное количество параметров автоматического управления, ап		
			по типовому проекту I_{yi}	расчетно-ретроспективное I_y	
				расчетное	округленное
ТП-1	1959,622	8,105	21	21,997	22
ТП-2	1961,899	10,382	29	27,136	27
905-12	1966,351	14,834	37	40,615	41
905-12/70	1969,722	18,205	58	54,940	55

Нам также нужно минимизировать выражение

$$\sum_{i=1}^n \left(I_{yi} - \frac{A_y}{B + e^{-C_y t_{yi}}} \right)^2.$$

После соответствующих преобразований, аналогичных преобразованиям при определении параметра C , получаем выражение, которое позволяет определить параметр логистической кривой

$$C_y = \frac{n \sum_{i=1}^n a_i \ln I_{yi} - \sum_{i=1}^n a_i \sum_{i=1}^n \ln I_{yi}}{n \sum_{i=1}^n a_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n a_i \right)^2}. \quad (4.2)$$

С учетом приведенных выше обозначений постоянных величин параметр кривой роста количества параметров автоматического управления выражается формулой

$$C_y = \sum_{i=1}^n (\alpha \alpha_i - \beta) \ln I_{yi}. \quad (4.3)$$

Подставив в полученное выражение эмпирические значения количества параметров автоматического управления производственными процессами на КБ СУГ по типовым проектам I_{yi} и соответствующих отрезков времени a_i (табл. 3.1), получаем значение параметра логистической кривой C_y , которое равно 0,09389.

Определив конкретно параметр C_y , из выражения (3.10) определяем значение времени основного периода вариации динамического ряда количества параметров автоматического управления технологическими процессами T_y , которое равно 97,893 года. Оно на 38,462 года меньше значения времени основного периода вариации динамического ряда оценки уровня автоматизации T . Так как параметр его логистической кривой, характеризующий скорость достижения предельного значения технической характеристики, C_y больше параметра C на 0,02649. Следовательно относительный рост функции $I_y(t_y)$ идет более интенсивно. Из выражения (3.7) находим значение времени точки перегиба логистической кривой количества параметров автоматического управления, равное 48,947 года.

Для определения неизвестного параметра технической характеристики A_y по аналогии с проверочным определением параметра оценки уровня автоматизации A (3.21) можем получить выражение

$$A_y = \frac{\sum_{i=1}^N I_{yi} X_i}{\sum_{i=1}^N X_i^2}, \quad (4.4)$$

где $X_i = \frac{1}{B + Z_i}$, а $Z_i = e^{-C_y t_{yi}} = Z_1 e^{-C_y a_i}$.

Как видим в него входят неизвестные значения времени развития динамического ряда t_{yi} .

Значение параметра A_y , как и времени t_1 оценки уровня автоматизации, определяем по формуле, полученной из условия равенства площадей под ломанной линией эмпирических значений количества параметров автоматического управления технологическими процессами на кустовых базах сжиженных углеводородных газов по типовым проектам I_{yi} и под соответствующим участком кривой роста расчетно-ретроспективных значений его (рис. 4.1). Площадь под графиком количества параметров автоматического управления по типовым проектам S_{III} равна сумме составляющих ее площадей

$$S_{III} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (I_{yi+1} + I_{yi}) \theta_i. \quad (4.5)$$

Подставив в полученное уравнение эмпирические значения технической характеристики I_{yi} (табл. 4.1) и времени действия типовых проектов θ_i (табл. 3.1), получаем значение площади под графическим изображением проектных значений количества параметров автоматического управления производственными процессами на кустовых базах сжиженных газов S_{III} , которое равно 363,963 пар. год.

Площадь криволинейной трапеции, ограниченная частью логистической кривой технической характеристики I_y , осью абсцисс и двумя ординатами $I_y(t_{y1})$ и $I_y(t_{yn})$, выражается определенным интегралом роста количества параметров автоматического управления технологическими процессами

$$S_I = \int_{t_{y1}}^{t_{yn}} \frac{A_y \alpha t}{B + e^{-C_y t_y}} dt \quad (4.6)$$

После интегрирования подынтегрального выражения определяем

$$S_I = \frac{A_y}{B} \left[t_y + \frac{1}{C_y} \ln(B + e^{-C_y t_y}) \right]_{t_{y1}}^{t_{yn}} = \frac{A_y}{B} \left(\frac{1}{C_y} \ln \frac{B + e^{-C_y t_{yn}}}{B + e^{-C_y t_{y1}}} + t_{yn} - t_{y1} \right)$$

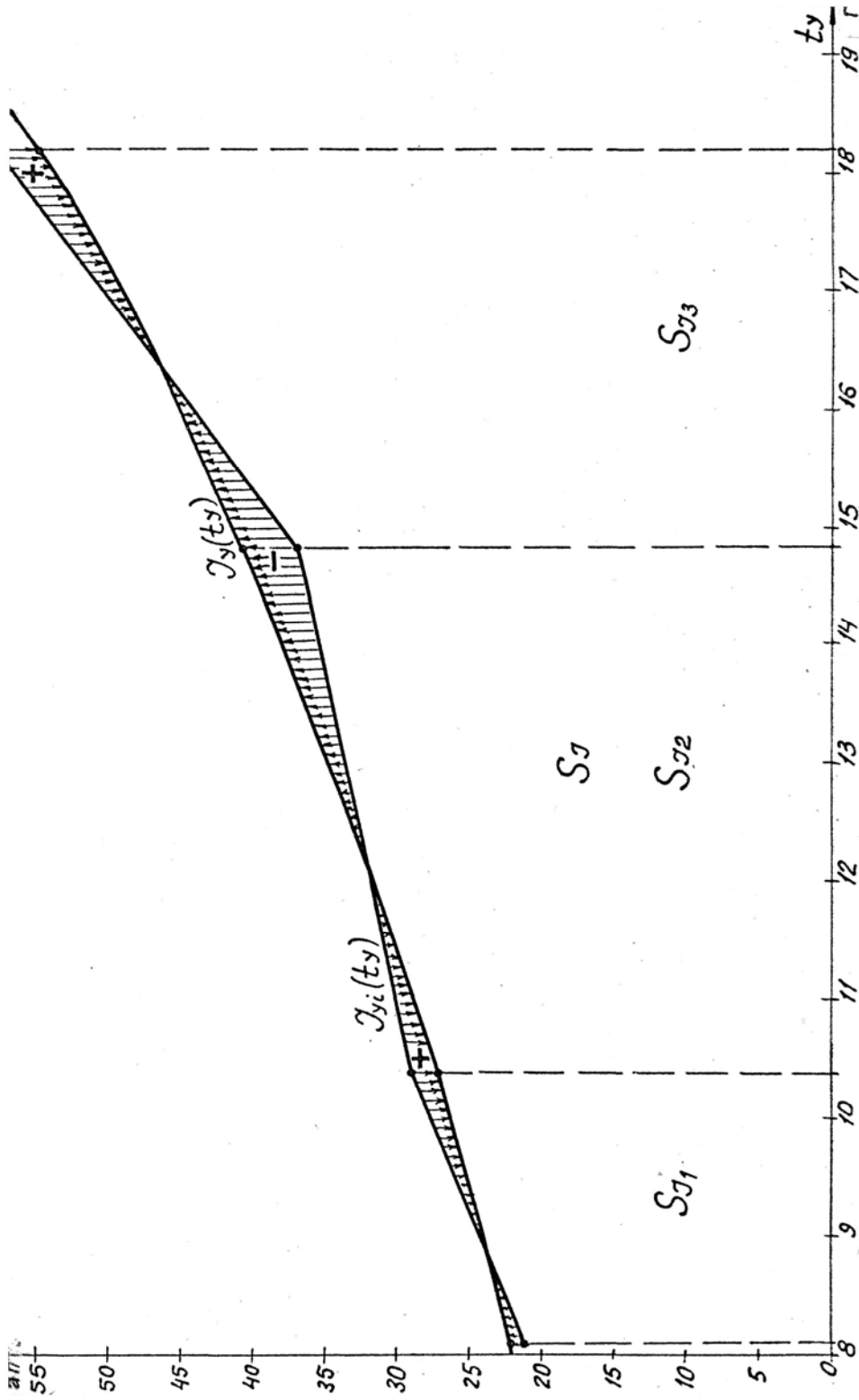


Рис. 4.1. Динамика количества параметров автоматического управления КБ СУ2

I_{y_i} , I_y — эмпирические проектные и расчетно-ретроспективные количества параметров автоматического управления; S_{j_1} , S_{j_2} , S_{j_3} — площади под соответствующими графиками функций $I_{y_i}(t_y)$, $I_y(t_y)$; t_y — время развития динамического ряда.

Подставив уравнение времени t_{yn} , аналогичное уравнению t_n (3.13), и из него отрезок времени a_n , получаем площадь под участком логистической кривой роста количества параметров автоматического уравнения

$$S_1 = \frac{A_y}{B} \left(\frac{1}{C_y} \ln \frac{B + e^{-C_y(t_{y1} + a_n)}}{B + e^{-C_y t_{y1}}} + a_n \right) \quad (4.7)$$

Приравняем выражение (4.7) полученной ранее площади S_{III} (4.5) и произведем соответствующие преобразования

$$\ln \frac{B + e^{-C_y(t_{y1} + a_n)}}{B + e^{-C_y t_{y1}}} = C_y \left(S_{III} \frac{B}{A_y} - a_n \right)$$

После логарифмирования находим

$$B + e^{-C_y(t_{y1} + a_n)} = e^{C_y(S_{III} \frac{B}{A_y} - a_n)} B + e^{C_y(S_{III} \frac{B}{A_y} - a_n)} e^{-C_y t_{y1}}$$

Полученное уравнение решим относительно неизвестного Z_1 (4.4)

$$e^{C_y(t_{y1} + a_n)} (e^{C_y S_{III} \frac{B}{A_y}} - 1) = B(1 - e^{C_y(S_{III} \frac{B}{A_y} - a_n)})$$

Откуда

$$Z_1 = \frac{B(e^{C_y a_n} - e^{C_y S_{III} \frac{B}{A_y}})}{e^{C_y S_{III} \frac{B}{A_y}} - 1} \quad (4.8)$$

В полученное выражение (4.8) подставляем определенные ранее значения параметров логистической кривой B , C_y и площади S_{III} и получаем конкретизированное уравнение

$$Z_1 = \frac{0,02606 - 0,0101e^{0,345/A_y}}{e^{0,345/A_y} - 1} \quad (4.9)$$

Уравнение Z_i (4.4) после подстановки а него выражения (4.8) принимает вид

$$Z_i = \frac{B e^{-C_y a_i} (e^{C_y a_n} - e^{C_y S_{III} \frac{B}{A_y}})}{e^{C_y S_{III} \frac{B}{A_y}} - 1} \quad (4.10)$$

Подстановка его в уравнение X_i и последующие преобразования приводят к формуле

$$X_i = \frac{e^{C_y S_{\text{III}} \frac{B}{A_y}} - 1}{B \left[e^{C_y S_{\text{III}} \frac{B}{A_y}} - 1 + e^{-C_y a_i} (e^{C_y a_n} - e^{C_y S_{\text{III}} \frac{B}{A_y}}) \right]} \quad (4.11)$$

А подстановка в исходное уравнение X_i (4.4) конкретизированного уравнения Z_1 (4.9), значения параметра логистической кривой роста технической характеристики C_y и отрезков времени a_i (табл. 3.1) дает конкретизированные выражения:

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= 62,657(e^{0,345/A_y} - 1) \\ X_2 &= \frac{e^{0,345/A_y} - 1}{0,001944e^{0,345/A_y} + 0,01094} \\ X_3 &= \frac{e^{0,345/A_y} - 1}{0,004729e^{0,345/A_y} + 0,003754} \\ X_4 &= 161,812(1 - e^{-0,345/A_y}) \end{aligned} \right\} \quad (4.12)$$

Подставив в формулу параметра A_y , выраженную в общем виде (4.4), полученное выражение X_i (4.11) и произведя преобразования, получаем формулу параметра логистической кривой роста количества параметров автоматического управления производственными процессами

$$A_y = \frac{B \sum_{i=1}^N \frac{I_{y_i}}{e^{C_y S_{\text{III}} B/A_y} - 1 + e^{-C_y a_i} (e^{C_y a_n} - e^{C_y S_{\text{III}} B/A_y})}}{(e^{C_y S_{\text{III}} B/A_y} - 1) \sum_{i=1}^N \frac{1}{\left[e^{C_y S_{\text{III}} B/A_y} - 1 + e^{-C_y a_i} (e^{C_y a_n} - e^{C_y S_{\text{III}} B/A_y}) \right]^2}}}. \quad (4.13)$$

Подстановка в выражение (4.4) конкретизированных уравнений X_i (4.12) и эмпирических проектных значений количества параметров автоматического управления (табл. 4.1) и соответствующие преобразования приводят к конкретизированному выражению параметра

$$A_y = \frac{0,001112e^{1,38/A_y} + 0,0414e^{1,035/A_y} + 0,3281e^{0,69/A_y} + 0,8509e^{0,345/A_y} + 0,6887 + 0,1585e^{-0,345/A_y}}{0,003325e^{1,725/A_y} + 0,03927e^{1,38/A_y} + 0,4079e^{1,035/A_y} + 0,81e^{0,69/A_y} + 1,275e^{0,345/A_y} - 1,2415 - 0,8439e^{-0,345/A_y} - 0,4502e^{-0,69/A_y}} \quad (4.14)$$

Из полученного уравнения (4.14) методом подбора и последовательных приближений к истинному неизвестному значению определяем значение параметра логистической кривой A_y , равное 10,499 [37].

Предельно возможное значение роста количества параметров автоматического управления технологическими процессами на КБ СУГ $I_{y\max}$, представляющее собой отношение параметров кривой A_y/B , равняется 1039,535 ап. После округления до целого числа — 1040 параметрам управления.

Неизвестное значение времени развития динамического ряда количества параметров автоматического управления производственными процессами t_{y1} найдем из полученного уравнения (4.8)

$$e^{C_y t_{y1}} = \frac{e^{C_y S_{\text{ин}} B / A_y} - 1}{B(e^{C_y a_n} - e^{C_y S_{\text{ин}} B / A_y})}$$

Откуда после логарифмирования

$$t_{y1} = \frac{1}{C_y} \ln \frac{e^{C_y S_{\text{ин}} B / A_y} - 1}{B(e^{C_y a_n} - e^{C_y S_{\text{ин}} B / A_y})} \quad (4.15)$$

Подставляем в полученное выражение ранее определенные значения параметров и получаем значение времени развития динамического ряда количества параметров автоматического управления технологическими процессами на кустовых базах t_{y1} , равное 8,105 года.

Эмпирическое время развития динамического ряда количества параметров автоматического управления производственными процессами t_{y1} , соответствующее времени вступления в силу типового проекта КБ СУГ по летоисчислению $t_{\text{ли}}$, аналогично выражению (3.20) определяется уравнением

$$t_{yi} = t_{\text{ли}} - t_{y\text{л}0}, \quad (4.16)$$

где $t_{y\text{л}0}$ — время начала развития динамического ряда количества параметров автоматического управления по летоисчислению, г.

Тогда

$$t_{y\text{л}0} = t_{\text{ли}} - t_{yi}.$$

В полученное уравнение подставляя значение времени вступления в силу первого типового проекта ТП-1 $t_{\text{ли}}$ и найденное значение времени t_{y1} , получаем значение времени начала развития динамического ряда количества параметров автоматического управления технологическими процессами на

кустовых базах сжиженных углеводородных газов t_{y0} , равное 1951,517-ому году. Затем из уравнения (4.16) определяем остальные эмпирические значения времени развития динамического ряда t_{yi} , которое вместе со значением времени t_{y1} представлены в табл. 4.1. Далее подставляем их и известные параметры A_y , B и C_y в формулу (4.1) и определяем соответствующие эмпирические ретроспективные значения количества параметров автоматического управления производственными процессами (табл. 4.1), график функции которых $I_y(t_y)$ представлен на рис. 4.1.

Правильность определения значений параметров, входящих в формулу логистической кривой развития количества параметров автоматического управления (4.1), проверим подстановкой известного значения параметра B в его полученное выражение. Для этого в соответствии с методом наименьших квадратов запишем уравнение

$$\sum_{i=1}^N \left(I_{yi} - \frac{A_y}{B + e^{-C_y t_{yi}}} \right)^2 = \min ,$$

где N — количество эмпирических проектных единиц измерения технической характеристики I_{yi} , п.

Пользуясь условием минимума функции переменной, можно получить выражение для параметра B

$$f(B) = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{I_{yi}}{B + e^{-C_y t_{yi}}}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{(B + e^{-C_y t_{yi}})^2}} - \frac{\sum_{i=1}^N \frac{I_{yi}}{(B + e^{-C_y t_{yi}})^2}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{(B + e^{-C_y t_{yi}})^3}} = 0 \quad (4.17)$$

В полученное уравнение из табл. 4.1 подставляем эмпирические проектные значения количества параметров автоматического управления I_{yi} , времени t_{yi} , а также известных параметров B и C_y и получаем отрицательное значение разности $-0,07598$, которое близко к нулю и составляет всего $0,007175$ ($0,7175\%$) от уменьшаемого. Следовательно значения параметров формулы логистической кривой развития количества параметров автоматического управления технологическими процессами на КБ СУГ определено правильно.

Расчетные ретроспективные и перспективные значения роста количества параметров автоматического управления производственными процессами на кустовых базах I_y в функции времени развития динамического ряда t_y , полученные аналитически из выражения (4.1), представлены в табл. 4.2 и логистической кривой на рис. 4.2.

Таблица 4.2

**Рост количества параметров автоматического
управления КБ СУГ, нп**

Время		Количество параметров автоматического управления I_y , ап		Время смещения относительного роста характеристики τ , г	
развития динамического ряда t_y , г		расчетное	округленное		
обозначение	значение				по летоисчислению $t_{ул}$, Г
1	2	3	4	5	6
t_{y0}	0,000	1951,517	10,395	10	41,441
t_{y1}	3,483	1955	14,345	14	39,093
t_{y2}	8,483	1960	22,773	23	37,113
t_{y3}	13,483	1965	35,941	36	35,153
t_{y4}	18,483	1970	56,312	56	33,182
t_{y5}	23,483	1975	87,216	87	31,215
t_{y6}	28,483	1980	132,798	133	29,255
t_{y7}	33,483	1985	197,275	197	27,290
t_{y8}	38,483	1990	283,297	283	25,324
t_{y9}	43,483	1995	389,284	389	23,365
t_{y10}	48,483	2000	508,426	508	21,406
t_{yn2}	48,483	2000,465	520,010	520	21,211
t_{y11}	53,483	2005	628,683	629	19,451
t_{y12}	58,483	2010	737,807	738	17,502
t_{y13}	63,483	2015	827,997	828	15,531
t_{y14}	68,483	2020	896,581	897	13,555
t_{y15}	73,483	2025	945,856	946	11,509
t_{y16}	78,483	2030	978,472	978	9,701
t_{y17}	83,483	2035	1000,858	1001	7,650
t_{y18}	88,483	2040	1015,063	1015	5,755
t_{y19}	93,483	2045	1024,223	1024	3,828
t_{yk}	97,483	2049,410	1029,516	1030	1,979

4.2. Взаимосвязь эволюций характеристик интеллекта

Из анализа графиков рис. 4.2 и табл. 3.2 и 4.2 видно, что относительный рост количества параметров автоматического управления отстает во времени от соответствующего ему роста оценки уровня автоматизации производственных процессов. Найдем аналитическое выражение времени смещения относительного роста количества параметров автоматического управления технологическими процессами на кустовых базах по отношению к росту оценки уровня автоматизации

$$\tau = t_{yл} - t_{л} \quad (4.18)$$

или

$$\tau = t_y + \tau_0 - t, \quad (4.19)$$

где τ_0 — время смещения начала основного периода вариации динамического ряда T_y относительно начала основного периода T , г.

Значение τ_0 , равное 40,441 года, находим из уравнения (4.18) при начальных положениях технических характеристик.

Из формулы (4.1) с учетом формулы (3.9) получаем выражение времени развития динамического ряда количества параметров автоматического управления

$$t_y = \frac{1}{C_y} \ln \frac{I_y}{A_y - I_y B}. \quad (4.20)$$

После подстановки полученного выражения времени t_y и выражения t (3.22) время смещения

$$\tau = \frac{1}{C_y} \ln \frac{I_y}{A_y - I_y B} - \frac{1}{C} \ln \frac{Y_A}{A - Y_A B} + \tau_0. \quad (4.21)$$

Из отношения параметров к своим предельно возможным значениям роста, из которых Y_{Amax} равно единице, получаем выражение

$$Y_A = \frac{I_y}{I_{ymax}} \quad (4.22)$$

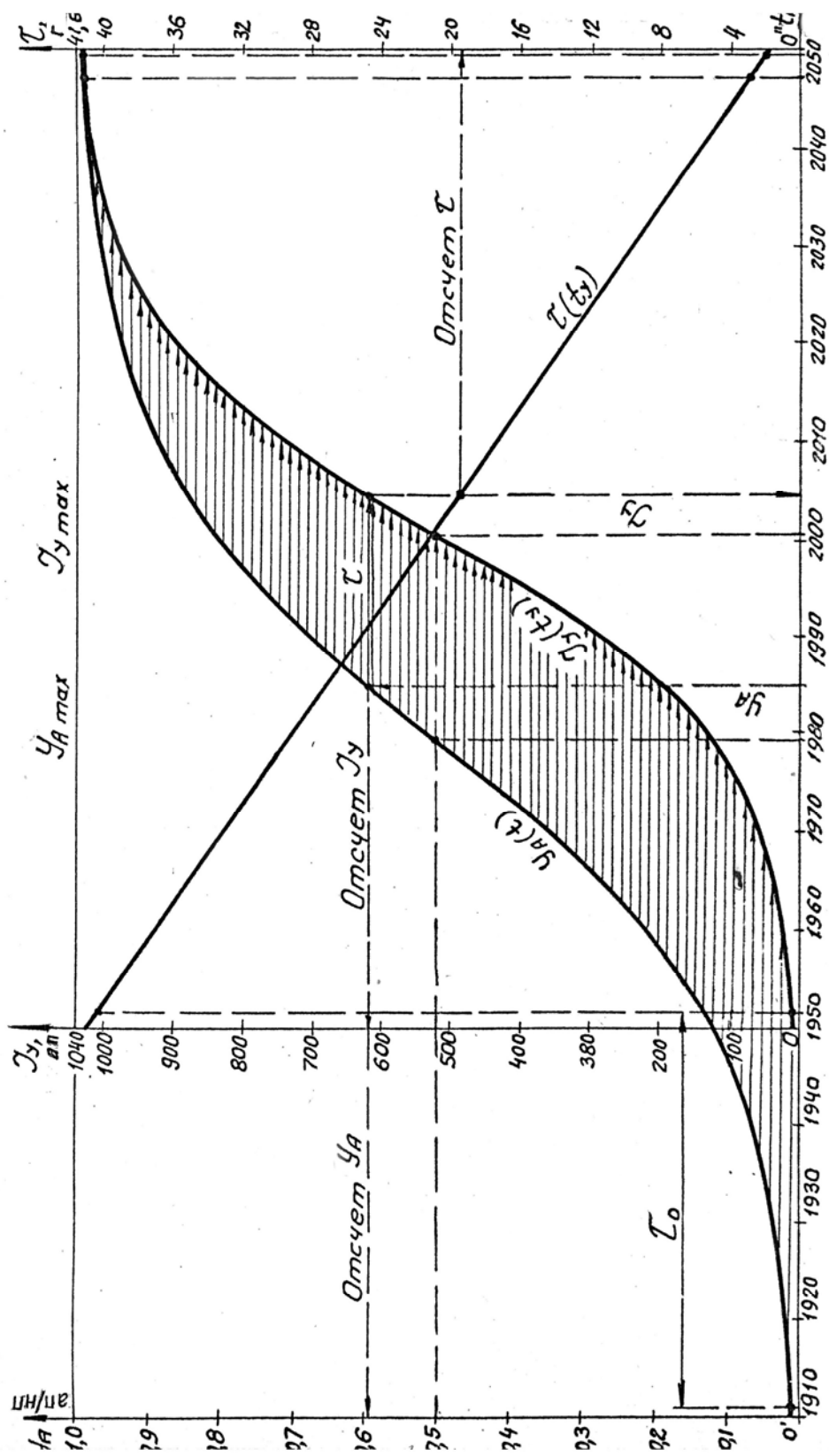


Рис. 4.2. Рост количества параметров автоматического управления КБ СУГ и его смещение

I_y — ретроспективные и перспективные значения количества параметров автоматического управления; Y_A — соответственно значение оценки уровня автоматизации; $I_{y, \max}$, $Y_{y, \max}$ — максимальные значения роста параметров; t — время смещения относительно роста количества параметров автоматического управления; t_0 — время по летоисчислению.

В свою очередь из отношения выражений предельно возможных значений роста технических характеристик $I_{y\max}/Y_{A\max}$ (3.6) найдем соотношение параметров логистических кривых оценки уровня автоматизации и количества параметров автоматического управления

$$AI_{y\max} = A_y. \quad (4.23)$$

Подстановка правых частей полученных уравнений (4.22, 4.23) вместо левых в последнее выражение времени смещения τ приводит к равенству

$$\tau = \frac{C - C_y}{CC_y} \ln \frac{I_y}{A_y - I_y B} + \tau_0. \quad (4.24)$$

Если в полученное уравнение подставить аналитическое выражение количества параметров автоматического управления (4.1) и произвести необходимые преобразования, то формула времени смещения относительного роста количества параметров автоматического управления производственными процессами, в нашем случае на кустовых базах сжиженных углеводородных газов, по отношению к росту оценки уровня автоматизации упростится и окончательно примет вид

$$\tau = m_y t_y + \tau_0, \quad (4.25)$$

где m_y — коэффициент пропорциональности.

$$m_y = \frac{C - C_y}{C}$$

Из выражения (4.25) и рис. 4.2 видно, что график функции $\tau(t_y)$ представляет собой прямую линию с угловым коэффициентом m_y , равным на рассматриваемом конкретном промышленном объекте минус 0,393.

Значения времени смещения τ , посчитанные по формуле (4.25), представлены в табл. 4.2 и графически на рис. 4.2. Подтверждением правильности расчета является проверка значений по уравнению (4.18) в характерных точках логистических кривых. Так, время смещения относительного роста количества параметров автоматического управления по отношению к росту оценки уровня автоматизации в точках перегиба τ_{nr} — 21,211 и в точках окончания периодов вариации динамических рядов τ_k — 1,979 года.

Подстановка выражения количества параметров автоматического управления I_y из уравнения (4.22) и параметра A_y из (4.23) в анализируемое равенство (4.21) приводит к функциональной зависимости с независимой переменной Y_A .

$$\tau = \frac{C - C_y}{CC_y} \ln \frac{Y_A}{A - Y_A B} + \tau_0 \quad (4.26)$$

Откуда после подстановки аналитического выражения оценки уровня автоматизации технологических процессов (3.11) и соответствующих преобразований получаем формулу времени смещения τ , являющегося функцией времени развития динамического ряда t ,

$$\tau = mt + \tau_0, \quad (4.27)$$

где m — коэффициент пропорциональности.

$$m = \frac{C - C_y}{C_y}$$

Угловым коэффициентом m линейной функции $\tau(t)$ на КБ СУГ равен минус 0,2821.

Из сопоставления полученного уравнения (4.27) с тождеством (4.25) можно записать

$$\frac{1}{C} t_r = \frac{1}{C_y} t.$$

Что после преобразования подводит к взаимозависимости

$$C_y t_y = Ct \quad (4.28)$$

Взаимосвязь времени относительного роста динамического ряда количества параметров автоматического управления t_y и соответствующего ему времени развития динамического ряда оценки уровня автоматизации, условно как бы принятого за основу, после поочередной подстановки выражений времени смещения τ (4.27, 4.25) в равенство (4.19) можем также определяться одним из уравнений:

$$t_y = (1 + m)t$$

или (4.29)

$$t = (1 - m_y)t_y$$

Совместное решение полученных двух уравнений дает взаимоотношение коэффициентов пропорциональности

$$m_y = \frac{m}{1+m} \quad (4.30)$$

Время смещения относительного роста количества параметров автоматического управления производственными процессами относительного роста оценки уровня автоматизации и другие взаимосвязанные с ним параметры могут быть определены непосредственно по графикам рис. 4.2. Так, например, в 1985-ом году оценка уровня автоматизации технологических процессов на кустовых базах сжиженных углеводородных газов Y_A должна быть равна 0,5955 ап/нп, время смещения относительного роста количества параметров автоматического управления относительно роста ее τ равно 19,555 годам. То есть соответствующее указанному значению параметра Y_A количество параметров автоматического управления I_A , равное 619,043 ап, должно быть достигнуто в 2004,555-ом году.

Из равенства выражений времени смещения относительного роста параметров τ (4.24 и 4.26) получаем

$$\ln \frac{I_y}{A_y - I_y B} = \ln \frac{Y_y}{A - Y_A B}$$

Откуда определяем обусловленное временем смещения (рис. 4.2) пропорциональное отношение количества параметров автоматического управления производственными процессами к оценке уровня автоматизации

$$I_y = \mu Y_A \quad \text{или} \quad \mu = \frac{I_y}{Y_A} \quad (4.31)$$

где μ — графический коэффициент пропорционального роста параметров, равный также отношению A_y/A .

Из полученного уравнения видно, что коэффициент пропорционального отношения μ является постоянной величиной. Сопоставляя уравнение (4.31) с уравнением (4.22), определяем, что он численно равен предельно возможному значению роста количества параметров автоматического управления $I_{y\max}$. Следовательно, значение коэффициента пропорционального роста количества параметров автоматического управления технологическими процессами на КБ СУГ к росту оценки уровня автоматизации μ равно также 1039,535 нп.

4.3. Динамика количества параметров автоматического контроля

Расположенные в определенных местах по технологической схеме промышленного объекта точки отбора информации и непосредственно сами технические средства автоматического контроля совместно со средствами автоматического управления позволяют обслуживающему персоналу вести производственные процессы на заданном техническом уровне. Практическое опосредование человеком количества параметров автоматического контроля технологических процессов конкретизирует подбор названных параметров при проектировании производственного объекта. Это повышает объективность самой параметрической характеристики I_k как таковой.

Как видно из табл. 2.6, относительный рост количества параметров автоматического контроля I_{ki} в общем количестве задействованных в работе производства параметров I_i во времени увеличивается медленнее относительного роста количества параметров автоматического управления I_{yi} . С учетом выражения 2.3 из табл. 3.1 видно, что такая разница в относительном росте количества названных параметров определяется также рост оценки уровня автоматизации технологических процессов кустовых баз сжиженных газов Y_{Ai} .

Учитывая выражение (2.3 и 3.2), формула оценки уровня автоматизации производственных процессов может быть записана

$$Y_A = \frac{I_y}{I_k + I_y}, \quad (4.32)$$

где I_k — количество параметров автоматического контроля технологических процессов, кп.

Откуда получаем зависимость между количествами информации производственных процессов, выраженную оценкой уровня автоматизации,

$$I_k = I_y \frac{1 - Y_A}{Y_A}. \quad (4.33)$$

Подставив формулы оценки уровня автоматизации Y_A (3.11) и количества параметров автоматического управления I_y (4.1) в полученное уравнение, получим выражение количества параметров автоматического контроля технологических процессов на кустовых базах сжиженных газов

$$I_k = \frac{A_y e^{-Ct}}{A(B + e^{-C_y t_y})}. \quad (4.34)$$

Как видим, оно определяется двумя взаимосвязанными между собой аргументами t и t_y . Следовательно, один из них можно выразить через другой.

Из рис. 4.2 видно, что время развития динамического ряда оценки уровня автоматизации производственных процессов на КБ СУГ t в отличие от функциональной зависимости (4.19) определяется уравнением

$$t = t_y + \tau_0 \quad (4.35)$$

Эволюция количества параметров автоматического контроля технологических процессов на кустовых базах сжиженных углеводородных газов I_k в функции времени по летоисчислению, полученная по формуле (4.34), представлена в табл. 4.3 и графиком на рис. 4.3.

Таблица 4.3

Эволюция количества параметров автоматического контроля КБ СУГ, нп

Время развития динамического ряда t , г	Время по летоисчислению t_L , г	Количество параметров автоматического контроля I_k , кп		Время развития динамического ряда t , г	Время по летоисчислению t_L , г	Количество параметров автоматического контроля I_k , кп	
		расчетное	округленное			расчетное	округленное
1	2	3	4	1	2	3	4
t_0	1911,076	23,319	23	t_{15}	1985	133,989	134
t_1	1915	25,836	26	t_{16}	1990	137,273	137
t_2	1920	29,461	29	t_{maxk}	1992,513	137,315	137
t_3	1925	33,746	34	t_{17}	1995	135,015	135
t_4	1930	38,538	39	t_{18}	2000	125,647	126
t_5	1935	43,949	44	t_{yng}	2000,465	124,594	125
t_6	1940	50,000	50	t_{19}	2005	110,793	111
t_7	1945	56,886	57	t_{20}	2010	92,772	93
t_8	1950	64,896	65	t_{21}	2015	74,594	75
t_{y0}	1951,517	67,403	67	t_{22}	2020	57,704	58
t_9	1955	73,569	74	t_{23}	2025	43,074	43
t_{10}	1960	83,381	83	t_{24}	2030	31,967	32
t_{11}	1965	93,945	94	t_{25}	2035	23,771	24
t_{12}	1970	105,041	105	t_{26}	2040	17,081	17
t_{13}	1975	115,970	116	t_{27}	2045	12,167	12
t_{ng}	1979,254	124,869	125	t_k	2047,431	10,178	10
t_{14}	1980	126,486	126	t_{yk}	2049,410	9,097	9

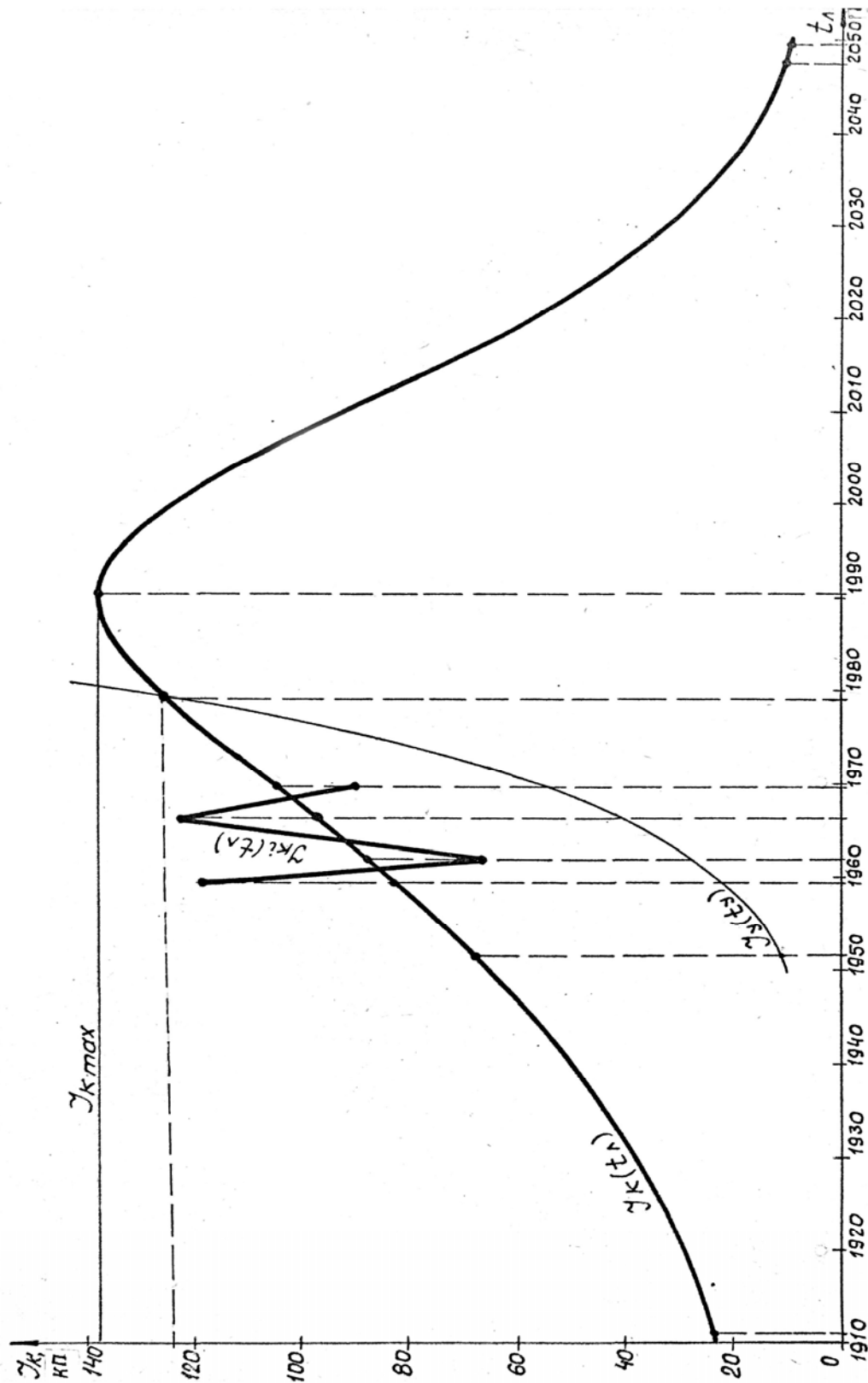


Рис. 4.3. Динамика количества параметров автоматического контроля кустовых баз

I_k — ретроспективно-перспективные количества параметров автоматического контроля; I_{kl} — эмпирические проектные; I_y — ретроспективно-перспективные количества параметров автоматического управления;

I_{kmax} — максимальное значение роста параметра.

Максимальное значение роста количества параметров автоматического контроля $I_{k\max}$ и соответствующее ему время развития динамического ряда уровня автоматизации $t_{\max k}$ определим по первому правилу нахождения максимума функции $I_k(t)$, то есть найдем первую производную выражения (4.34) и приравняем ее нулю

$$I'_k = \frac{A_y e^{-Ct} [e^{-C_y(t-\tau_0)}(C_y - C) - BC]}{A(B^2 + 2Be^{-C_y(t-\tau_0)} + e^{-2C_y(t-\tau_0)})} = 0.$$

Так как в рассматриваемом промежутке времени основного периода вариации динамического ряда T знаменатель полученной дроби не равен бесконечности, то производная количества параметров автоматического контроля I'_k равна нулю только тогда, когда числитель этой дроби будет равен нулю

$$A_y e^{-Ct} [e^{-C_y(t-\tau_0)}(C_y - C) - BC] = 0.$$

Как видим, сомножители A_y и e^{-Ct} и их произведение не равны нулю. Следовательно, алгебраическая сумма

$$e^{-C_y(t-\tau_0)}(C_y - C) - BC = 0.$$

Решая полученное уравнение, определим выражение времени развития динамического ряда оценки уровня автоматизации производственных процессов, соответствующего максимальному значению роста количества параметров автоматического контроля

$$t_{\max k} = \tau_0 + \frac{1}{C_y} \ln \frac{C_y - C}{BC}. \quad (4.36)$$

В формулу (4.36) подставим найденные ранее значения параметров и получим значение времени развития динамического ряда оценки уровня автоматизации технологических процессов на КБ СУГ $t_{\max k}$, равное 79,437 годам, которое с учетом уравнения (3.23) соответствует 1990,513 году по летоисчислению.

После подстановки полученного значения времени $t_{\max k}$ и соответствующих значений параметров в формулу (4.34) получим максимальное значение роста количества параметров автоматического контроля технологических процессов на кустовых базах сжиженных газов $I_{k\max}$, равное 137,315 кп. С учетом округления до целого числа это значение равно 137 параметрам контроля.

Из сопоставления графиков функций $I_k(t)$ и $I_y(t)$ (рис. 4.3) видно, что количество параметров автоматического управления производственными процессами в начале своего основного периода вариации динамического ряда T_y намного меньше количества параметров автоматического контроля. Затем оно начинает расти интенсивнее и становится намного больше его. Время точки пересечения технических характеристик определяем из равенства в ней рассматриваемых количеств параметров I_y и I_k , вместо которых подставляем их выражения (4.1 и 4.34),

$$\frac{A_y}{B + e^{-C_y t_{ync}}} = \frac{A_y e^{-C t_{nc}}}{A(B + e^{-C_y t_{ync}})},$$

где t_{nc} — время точки пересечения технических характеристик, выраженное временем развития основного периода T , г;
 t_{ync} — время точки пересечения технических характеристик, выраженное временем развития основного периода T_y , г.

После несложных преобразований получаем уравнение времени точки пересечения кривых количества параметров автоматического контроля технологических процессов и количества параметров автоматического управления, выраженное временем развития динамического ряда оценки уровня автоматизации

$$t_{nc} = \frac{1}{C} \ln \frac{1}{A} \quad (4.37)$$

Подставляя в уравнение (4.37) известные значения параметров, находим значение времени точки пересечения технических характеристик на КБ СУГ t_{nc} , равное 68,178 годам, которое соответствует 1979,254 году по летоисчислению. Полученное значение времени t_{nc} подставляем в формулу (4.34) и получаем значение количества параметров автоматического контроля производственных процессов на кустовых базах в точке пересечения с графиком количества параметров автоматического управления, равное 124,869 кп.

Из сопоставления полученного уравнения с уравнением (3.7) видно, что при равенстве значений параметров A и B время точки пересечения количеств параметров автоматического контроля и управления t_{nc} равно времени точки перегиба кривой роста оценки уровня автоматизации t_{nr} .

Эмпирические проектные значения количества параметров автоматического контроля технологических процессов на КБ СУГ I_{ki} , посчи-

таные по разработанным типовым проектам (табл. 2.4), и соответствующие им расчетно-ретроспективные значения количества параметров I_k , рассчитанные по формуле (4.34), представлены в табл. 4.4 и графиками на рис. 4.3.

Таблица 4.4

**Динамика эмпирических проектных и соответствующих им
расчетно-ретроспективных количеств параметров автоматического
контроля кустовых баз, п**

Обозначение типового проекта	Эмпирическое и расчетное количество параметров автоматического контроля, кп		
	по типовому проекту, I_{ki}	расчетно-ретроспективное I_k	
		расчетное	округленное
ТП-1	118	82,816	83
ТП-2	66	86,821	87
905-12	123	96,674	97
905-12/70	90	104,046	104

4.4. Эволюция общего количества информации

Увязывая между собой идентичные выражения оценки уровня автоматизации 2.2 и показателя использования информации для целей автоматического управления 2.3, можно увидеть, что их знаменатели, как между прочим и числители, имеют одно и то же смысловое значение. Следовательно, можно говорить, что общее количество информации I , необходимое для ведения технологических процессов на заданном техническом уровне, равнозначно сумме количеств параметров автоматического контроля I_k и автоматического управления I_y .

С учетом уравнения (2.2) оценка уровня автоматизации производственных процессов может быть выражена

$$Y_A = \frac{I_y}{I}, \quad (4.38)$$

где I — общее количество информации технологических процессов, п.

Как видим, общее количество информации производственных процессов на промышленном объекте прямо пропорционально количеству параметров

автоматического управления и обратно пропорционально оценке уровня автоматизации

$$I = \frac{I_y}{Y_A}. \quad (4.39)$$

После чего уравнение количества параметров автоматического контроля технологических процессов (4.33) можно записать

$$I_k = I(1 - Y_A). \quad (4.40)$$

Из уравнения (4.40) видно, что долевая составляющая количества параметров автоматического контроля в общем количестве информации за время развития основного периода вариации динамического ряда T уменьшается от значения 0,99 до 0,01 и графически представляет собой логистическую кривую оценки уровня автоматизации, повернув на 180° вокруг мысленно проведенной через точку перегиба ее горизонтальной оси.

После подстановки в уравнение (4.39) выражений количества параметров автоматического управления (4.1) и оценки уровня автоматизации (3.11) получаем формулу общего количества информации производственных процессов на объекте

$$I = \frac{A_y(B + e^{-Ct})}{A(B + e^{-C_y t_y})}. \quad (4.41)$$

В полученном выражении взаимосвязь между аргументами t и t_y определяется уравнением (4.35). Диапазон использования в выражении (4.41) аргументами t или t_y определяется для каждого аргумента своим временем развития основного периода вариации динамического ряда T и T_y .

Полученные аналитически из выражения (4.41) расчетные значения общего количества информации технологических процессов на КБ СУГ I в функции взаимосвязанного уравнением (4.35) времени развития динамического ряда оценки уровня автоматизации t и количества параметров автоматического управления t_y представлены в табл. 4.5 к графиком на рис. 4.4. На рисунке также показаны графики количества параметров автоматического управления I_y и количества параметров автоматического контроля I_k , из которых складывается общее количество информации. Для наглядности на рис. 4.4 начальная часть графиков построена повторно с большим масштабом по оси ординат.

Таблица 4.5

**Динамика общего количества информации
кустовых баз, бт**

Время развития динамического ряда t , г	Общее количество информации I , нп		Соотношение количеств информации h , ап/кп $h^{-1}(1/h)$, кп/ап	Время развития динамического ряда t , г	Общее количество информации I , нп		Соотношение количеств информации h , ап/кп $h^{-1}(1/h)$, кп/ап
	расчетное	округленное			расчетное	округленное	
1	2	3	4	1	2	3	4
t_0	23,555	24	0,0101	t_{15}	331,264	331	1,4723
t_1	26,177	26	0,0132	t_{16}	420,570	421	2,0637
t_2	30,006	30	0,0185	t_{maxk}	430,583	431	2,1357
t_3	34,618	35	0,0258	t_{17}	524,299	524	2,8833
t_4	39,933	40	0,0362	t_{18}	634,073	634	4,0465
t_5	46,178	46	0,0507	t_{ypr}	644,604	645	4,1736
t_6	53,547	54	0,0709	t_{19}	739,476	739	5,6744
t_7	62,547	63	0,0996	t_{20}	830,579	831	7,9521
t_8	73,931	74	0,1392	t_{21}	902,591	903	11,100
t_{y0}	77,798	78	0,1542	t_{22}	954,285	954	15,538
t_9	87,914	88	0,1950	t_{23}	988,930	989	21,959
t_{10}	106,154	106	0,2731	t_{24}	1010,439	1010	30,609
t_{11}	129,464	129	0,3826	t_{25}	1024,629	1025	42,104
t_{12}	161,353	161	0,5361	t_{26}	1032,144	1032	59,426
t_{13}	203,186	203	0,7521	t_{27}	1036,390	1036	84,180
t_{nr}	249,738	250	1,0000	t_k	1037,828	1038	99,000
t_{14}	259,284	259	1,0499	t_{yk}	1038,613	1039	113,171*

* Значение параметра h , соответствующее времени, большему времени развития основного периода вариации динамического ряда оценки уровня автоматизации T .

Точечные эмпирические значения общего количества информации производственных процессов на кустовых базах сжиженных газов I_i , посчитанные по типовым проектам (табл. 2.5), и соответствующие им расчетно-ретроспективные значения количества информации I , рассчитанные по формуле (4.41), приведены в табл. 4.6 и представлены графиками на рис. 4.4.

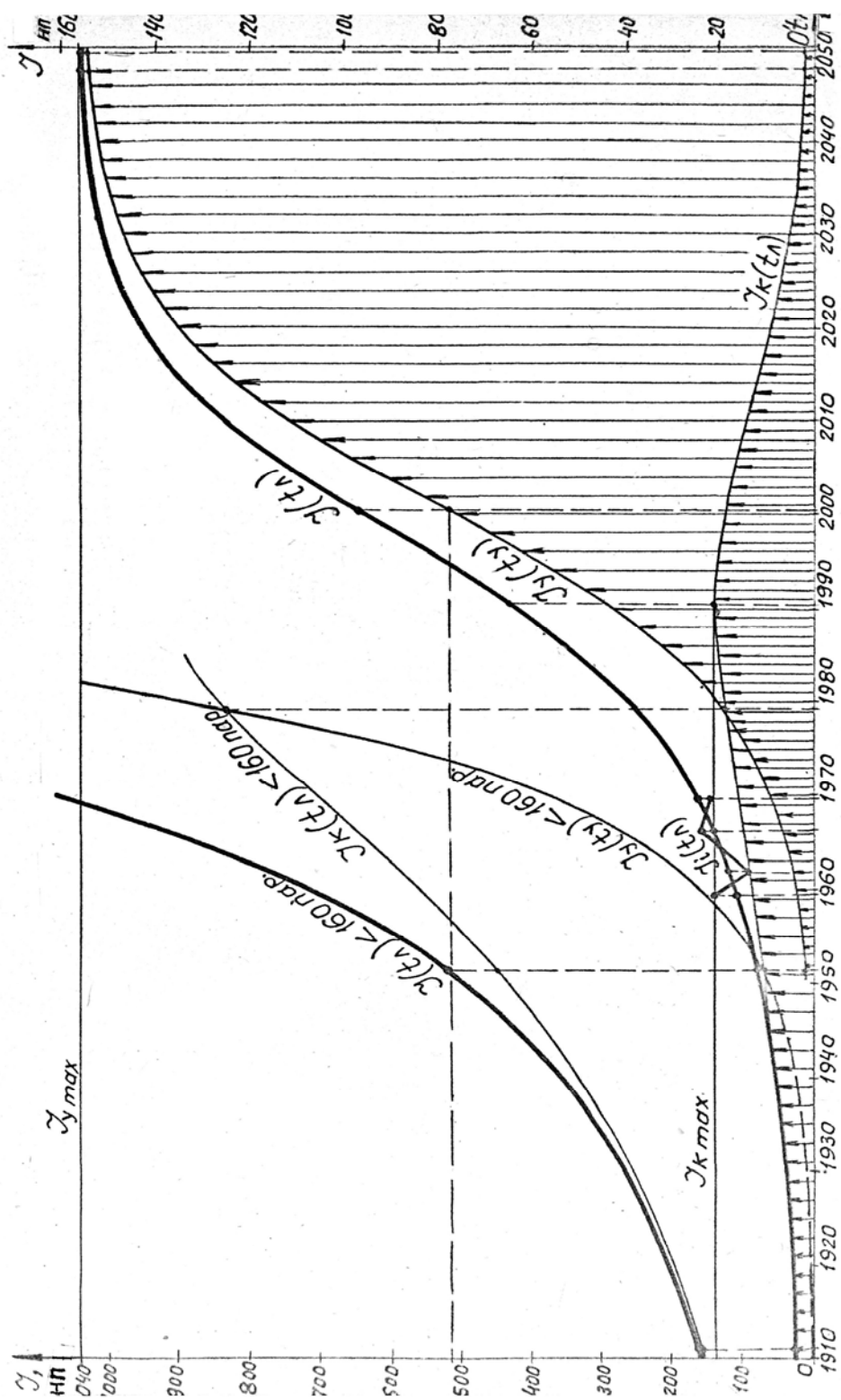


Рис. 4.4. Эволюция общего количества информации КБ СУГ

I — расчетные ретроспективно-перспективные количества информации; I_1 — проектные; $I_{нп}$, I_y — расчетные ретроспективно-перспективные количества параметров автоматического соответственно контроля и управления; $I_{кmax}$, I_{ymax} — максимальные значения роста параметров.

Таблица 4.6

**Динамика эмпирических проектных и соответствующих
им расчетно-ретроспективных значений общего количества
информации КБ СУГ, бт**

Обозначение типового проекта	Эмпирическое и расчетное количество параметров автоматического контроля и управления, нп			Соотношение количеств информации, ап/кп	
	По типовому проекту I_i	Расчетно-ретроспективное I		По типовому проекту h_i	Расчетное h
		расчетное	округленное		
ТП-1	139	104,813	105	0,1780	0,2656
ТП-2	95	113,957	114	0,4394	0,3126
905-12	160	137,289	137	0,3008	0,4201
905-12/70	148	158,986	159	0,6444	0,5280

Показательным является отношение количества информации, идущей на автоматическое управление технологическими процессами, к количеству информации, идущей на автоматический контроль, которое обозначим буквой h,

$$h = \frac{I_y}{I_k}. \quad (4.42)$$

После подстановки в полученное уравнение выражений количества параметров I_y (4.1) и I_k (4.34) получаем аналитическую формулу отношения количества параметров автоматического управления производственными процессами на промышленном объекте к количеству параметров автоматического контроля

$$h = Ae^{Ct}. \quad (4.43)$$

Как видим, полученное уравнение представляет собой экспоненциальную функцию аргумента времени развития динамического ряда оценки уровня автоматизации t .

В табл. 4.5 представлены значения соотношения количеств информации технологических процессов на КБ СУГ, рассчитанные по выражению (4.43), по которым на рис. 4.5 построен график функции $h(t)$. Для увеличения масштаба первой половины графика он разбит на две части с разными масштабами по осям ординат.

Из выражения (4.33) получаем функцию соотношения количеств информации технологических процессов на объекте аргумента оценки уровня автоматизации

$$h = \frac{Y_A}{1 - Y_A}. \quad (4.44)$$

Как видно из табл. 4.5 и уравнения (4.44), значение отношения количества параметров автоматического управления производственными процессами к количеству параметров автоматического контроля h за время основного периода вариации динамического ряда оценки уровня автоматизации изменяется от 0,0101 до значения, равного 99 ап/кп. В точке пересечения графиков функций $I_y(t_y)$ и $I_k(t)$ (рис. 4.3) оно равно единице.

Эмпирические проектные значения соотношения количеств информации технологических процессов на кустовых базах сжиженных газов h_i , рассчитанные по точечным данным табл. 2.4, и соответствующие им расчетно-ретроспективные значения соотношения количеств информации h приведены в табл. 4.6 и представлены графиками на рис. 4.5.

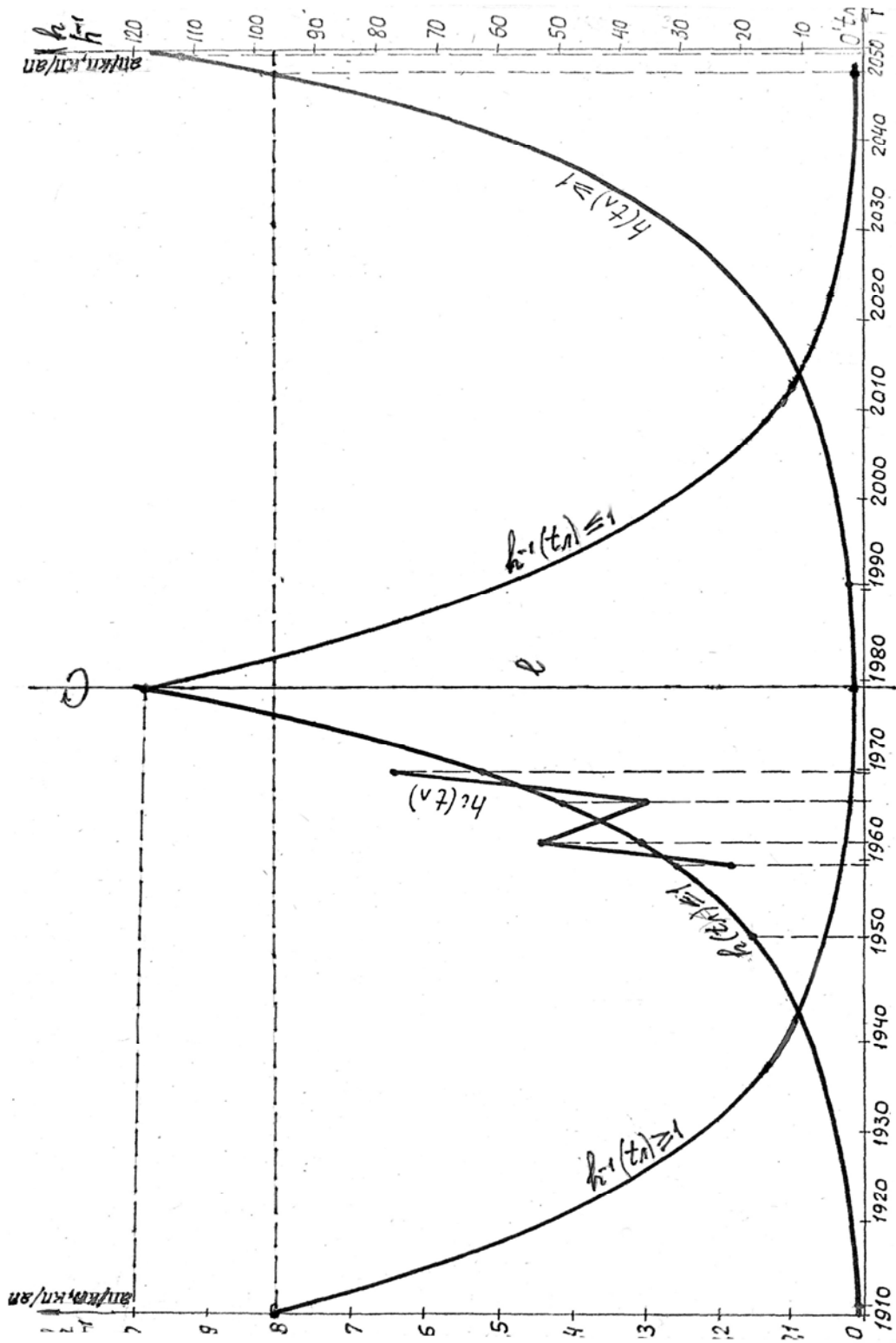


Рис. 4.5. Динамика соотношения количеств информации кустовых баз

h, h^{-1} — расчетные ретроспективно-перспективные соотношения количеств информации; h_i — проективные; $t_{\text{п}}$ — время по летоисчислению; I — ось симметрии кривых.

5. НЕУПОРЯДОЧЕННОСТЬ И ОРГАНИЗАЦИЯ МАТРИЦ

5.1. Неопределенность, организация и упорядоченность

В теории информации была введена интегральная характеристика неопределенности, названная энтропией. Эта характеристика имеет близкое родство с понятием энтропии в статистической физике и термодинамике [7].

Поведение систем, состоящих из большого числа частиц или элементов, определяется статистическими закономерностями, отличными от законов, которым подчиняется каждая из частиц, входящая в макроскопическую систему. Поэтому изучение свойств системы сводится к отысканию средних значений физических величин, характеризующих состояние системы как целого. Существенное отличие систем, подчиняющихся статистическим закономерностям, от систем, в которых достаточным оказывается описание с помощью законов механики, состоит в том, что поведение свойств первых в значительной степени не зависит от их начального состояния. В системах или их частях, состоящих из сравнительно небольшого числа элементов, наблюдаются значительные флуктуации, представляющие собой отклонения истинного значения физической величины от ее среднего значения [31].

Неопределенность существует объективно. Она всегда имеет место, когда производится выбор из некоторой совокупности элементов одного элемента. В теории информации рассматриваются любые события, в результате которых уменьшается, уничтожается, исчезает неопределенность. Общее количество технологических параметров протекающих производственных процессов, автоматически контролируемых и автоматически поддерживаемых в заданных пределах I_i (табл. 2.5, столбец 4), характеризует неопределенность этих процессов на промышленном объекте. А равное ему общее количество поступающей информации о каждом таком параметре отражает эту неопределенность.

В теории автоматического управления используется понятие энтропии в приложении к управляемым процессам. Использование понятия энтропия, разумеется, не заменяет детального изучения управляемого процесса. Однако рассмотрение энтропии позволяет установить некоторые общие закономерности организации управления процессами.

В Л 7, 9 различают понятия информационной энтропии, количественная оценка которой зависит от наблюдателя, точности измерительной аппаратуры, каналов связи и прочее, и энтропии процесса — объективной величины, значение которой характеризует неопределенность исследуемого объекта, явления. Такое понимание сущности энтропии вполне правомерно и согласуется с интуитивными представлениями о неопределенности состояний управляемого объекта.

Энтропия состояния процесса есть характеристика объективного реального его течения. Ее измерение не может быть достигнуто только путем получения информации, т. е. получения некоторого «отражения» или «изображения» процесса. Для измерения энтропии в указанном ее понимании необходимо вмешательство в этот процесс — организованное измерение его, т. е. управление или «естественное» воздействие. Получение определенного количества информации о процессе необходимо, но еще недостаточно для осуществления управления. Управляющие воздействия оказывают влияние на управляемый процесс в направлении уменьшения энтропии его.

Энтропия определяет степень беспорядка, хаотичности молекул газа в сосуде. Естественным поведением любой системы является увеличение энтропии. Если энтропия имеет тенденцию к возрастанию, то система теряет информацию и деградирует. Чтобы система не деградировала, необходимо внести в нее дополнительную информацию (негэнтропию). Отсюда энтропия есть мера дезорганизации, а информация — мера организации. По мере развития познания возрастает количество информации и убывает энтропия. Благодаря росту информации совершается воздействие на уменьшение неупорядоченности в обществе и природе, создается все более совершенное равновесие между человеком и внешней средой.

Энтропия, понятие, впервые введенное в термодинамике для определения меры необратимого рассеяния энергии [БСЭ, т. 30]. Энтропия широко применяется и в других областях науки: в статистической физике как мера вероятности осуществления количества макроскопического состояния; в теории информации как мера неопределенности количества опыта (испытания), который может иметь разные исходы. Эти трактовки энтропии имеют глубокую внутреннюю связь. Например, на основе представлений об информационной энтропии можно вывести все важнейшие положения статистической физики.

Статистическая физика связывает энтропию с вероятностью осуществления данного макроскопического состояния системы. Энтропия определяется через логарифм статистического веса Ω данного равновесного состояния

$$S = k \ln \Omega \ln \Omega N$$

где k — Больцмана постоянная;

$\Omega(E, N)$ — число квантомеханических управлений в узком интервале энергии ΔE вблизи значения энергии E системы из N частиц.

Впервые связь энтропии с вероятностью системы была установлена Л. Больцманом в 1872 г.: возрастание энтропии системы обусловлено ее переходом из менее вероятного состояния в более вероятное. Иными словами, эволюция замкнутой системы осуществляется в направлении наиболее вероятного распределения энергии по отдельным подсистемам.

В отличие от термодинамики статистическая физика рассматривает особый класс процессов — флуктуации, при которых система переходит из более вероятного состояния в менее вероятное, и ее энтропия уменьшается. Наличие флуктуаций показывает, что закон возрастания энтропии выполняется только в среднем для достаточно большого промежутка времени.

Энтропия в статистической физике тесно связана с информационной энтропией, которая служит мерой неопределенности сообщений данного источника (сообщения описывается множеством величин x_1, x_2, \dots, x_n , которые могут быть, например, словами количества языка, и соответствующих вероятностей p_1, p_2, \dots, p_n появления величины x_1, x_2, \dots, x_n в сообщении).

Понятие «Энтропия», как показал впервые Э. Шрёдингер, существенно для понимания явлений жизни. Живой организм с точки зрения протекающих в нем физико-химических процессов можно рассматривать как сложную открытую систему, находящуюся в неравновесном, но стационарном состоянии. Для организмов характерна сбалансированность процессов, ведущих к росту энтропии, и процессов обмена, уменьшающих ее. Однако жизнь не сводится к простой совокупности физико-химических процессов, ей свойственны сложные процессы саморегулирования. Поэтому с помощью понятия «Энтропия» нельзя охарактеризовать жизнедеятельность организмов в целом.

Неорганические организованные системы — объекты представляют собой многовековое физическое творение живой природы, квазистатистически (бесконечно медленно) направленное развитие которых тесно переплетается с функционированием и развитием самой органической жизни. Отсюда, несмотря на различную материальную основу физических и биологических систем, в них проявляются многие общие закономерности.

Наглядным примером количественного саморегулирования (во времени) упорядоченных систем — объектов неорганической природы, скажем количества автомобилей в городе N , в его взаимосвязи с деятельностью биологических систем, т. е. жителей города, могут служить такие данные. Допустим, что 10 лет назад в городе была 1 тысяча автомобилей, а в настоящее время количество их возросло до 1,5 тысячи.

Одним из общих понятий, характеризующих биологические системы и системы человек-машина [8], является уровень их организации, под которым понимают тип структурных и функциональных отношений, определяющих в конечном счете жизнеспособность системы и ее способность к организации внешней среды. Упорядоченность системы означает непротиворечивость деятельности ее подсистем и элементов, т. е. то, насколько частные функции не мешают, не противодействуют друг другу. Повышение степени упорядоченности увеличивает устойчивость системы, но понижает общую способность к эволюции. Целенаправленное упорядочение обуславливает возможность получения наперед заданной эволюции.

Организация и упорядоченность системы не являются противоположными понятиями, т. к. при высоком уровне организации система может значительно меняться, а относительная гармония между частями при этом сохраняться.

Длительная эволюция биологических систем обусловила качественно более сложный уровень их организации по сравнению с естественными системами неорганической природы и с искусственными системами, создаваемыми человеком и отдельно взятыми. Уровень организации систем связан с понятиями организованной системы.

Формальное определение степени организованности биологических систем связано с работами К. Шеннона, У. Р. Эшби, В. М. Глушкова. У. Эшби использует в качестве меры сложности системы разнообразие или число ее состояний N . Удобно использовать для этого логарифмическую меру, определяя $H_{\max} = \log N$, где H_{\max} — мера сложности, или максимальная неопределенность системы. Существенная сторона организации системы выявляется с помощью подсчета меры неопределенности ее состояний. Пусть система может принимать любое i -е состояние из множества N состояний с вероятностью P_i . Тогда мера неопределенности состояний системы H определяется по формуле К. Шеннона

$$H = -\sum_{i=1}^N P_i \log P_i . \quad (5.1)$$

Организация [12], по определению Юдина Б. Г., 1) внутренняя упорядоченность, согласованность взаимодействий более или менее дифференцированных и автономных частей целого, обусловленная его строением. 2) Совокупность процессов или действий, ведущих к образованию и совершенствованию взаимосвязей между частями целого. 3) Объединение людей, совместно реализующих некоторую программу или цель и действующих на основе определенных процедур и правил.

Понятие организации употребляется применительно к биологическим, социальным и некоторым техническим объектам, обычно в общем контексте с понятием структуры и системы, причем последнее очерчивает тот круг явлений, более конкретные характеристики которых (обычно относятся к внутренним закономерностям системы) выражаются в понятиях структуры и организации. В понятии «структуры», как правило, фиксируются относительно инвариантные и статистические, т. е. относящиеся к строению и способам взаимосвязи, закономерности, а в понятии «организации» — динамические, т. е. относящиеся к функционированию, поведению и взаимодействию частей.

Различают два аспекта организации: упорядоченность и направленность. Упорядоченность определяется количественно как величина обратная энтропии системы и выражается в единицах количества информации (битах). В ка-

честве наглядного и классического примера структурной и функциональной упорядоченности неорганической природы могут служить обычные механические часы, о которых говорит упомянутый физик Э. Шрёдингер.

Направленность организации характеризует соответствие (или несоответствие) системы условиям окружающей среды, целесообразность данного типа организации с точки зрения поддержания нормального функционирования системы — объекта, диапазон ее приспособляемости к среде и т. п. Происходящие, в основном, при периодическом структурном обновлении структурные изменения в системе в большей или меньшей степени обуславливают функциональные изменения ее, условиями внешней среды направленная избирательность которых ведет к лучшей адаптации системы — объекта в окружающем ее мире.

В многообразно происходящих во времени изменениях системы направленность организации ее осуществляется по принципу «подбора ключа к условиям изменяющейся среды». Этот принцип с одновременным действием принципа «проб и ошибок» в условно хаотической среде дает возможность не только сохранять имеющийся уровень организации системы — объекта, но даже со временем повышать его.

Наглядным примером, в данном случае из организованных биологических систем, сказанному может служить периодическое обновление поколений конкретно взятого вида рыб. Из огромного количества икринок во время нереста оплодотворяется меньшее их количество. Еще меньшее количество мальков нарождается и выживает до зрелого возраста и до средней продолжительности жизни.

При сопоставленном сравнении с предыдущими годами можно подвести баланс повышения или понижения количества данного вида рыб в данное время. Если провести такой анализ на длительном отрезке времени прошедших лет, то можно проследить закономерность положительного (или отрицательного) роста исследуемой организации организованной системы и, имея необходимые статистические данные, спрогнозировать временную линию величины ее на последующие годы.

Принцип «подбора ключа» в приведенном примере проявляется в том, что для продления жизни данного вида рыб на Земле природа подобрала ключ к условиям окружающей среды в качестве выделения в период нереста огромного количества икринок. То, что из этого огромного количества предпосылок жизни в имеющихся условиях среды нарождается и, в конечном счете, выживает незначительное количество особей, когда при этом остальные погибают, есть своего рода результат действия принципа «проб и ошибок».

Примером подобранного ключа в неорганической упорядоченной природе может служить всем известное колесо, которое дает возможность с инверсией превращать вращательное движение в прямолинейное и соответственно строить транспортные системы на Земле.

Поскольку упорядоченность системы обычно бывает выше, чем упорядоченность окружающей среды, необходимы специальные механизмы, позволяющие сохранить и совершенствовать организацию системы в условиях случайных, неупорядоченных воздействий среды. Эти механизмы может находиться как вне, так и внутри системы. В последнем случае систему называют самоорганизующейся. Самоорганизация обеспечивается отрицательными (поддерживающими организациями) и положительными (позволяющими повышать организацию) обратными связями, внешними и внутренними. Существенная характеристика сложноорганизованных систем — иерархичность, т. е. наличие в них ряда соподчиненных уровней.

Самоорганизация [БСЭ, т. 22], процесс, в ходе которого создается, воспроизводится или совершенствуется организация сложной динамической системы. Процессы самоорганизации могут иметь место только в системах, обладающих высоким уровнем сложности и большим количеством элементов, связи между которыми имеют не жесткий, а вероятностный характер. Свойства самоорганизации обнаруживают объекты самой различной природы: живая клетка, организм, биологическая популяция, человеческий коллектив и т. д. Процессы самоорганизации происходят за счет перестройки существующих и образования новых связей между элементами системы. Отличительная особенность процессов самоорганизации — их целенаправленный, но вместе с тем и естественный, спонтанный характер: эти процессы, протекающие при взаимодействии системы с окружающей средой, в той или иной мере автономны, относительно независимы от нее.

Уровень организации системы в Л 2 связан с максимальной и текущей неопределенностью системы. Пусть в результате эволюции система, работавшая прежде с максимальной неопределенностью H_{\max} (полностью дезорганизованная система), стала предпочитать некоторые из состояний и характеризоваться текущей неопределенностью H . Тогда организация системы для данного уровня развития определяется реализованной в системе неопределенностью

$$O = H_{\max} - H, \quad (5.2)$$

где O — абсолютная организация системы.

От данного соотношения легко перейти к формуле подсчета относительной организации системы R

$$R = 1 - \frac{H}{H_{\max}}. \quad (5.3)$$

Величина R изменяется в пределах от 0 до 1 и принимает значение 0 для системы, находящейся в полном беспорядке, и 1 для идеально упорядоченной системы, в которой состояние всех ее элементов однозначно определено, и, следовательно, энтропия системы равна 0. Однако одно только наличие отличной от нуля организованности недостаточно для того, чтобы систему следовало относить к классу организованных систем. Планетную систему, например, хотя и обладающую высокой степенью упорядоченности, нельзя признать организованной системой.

Если в системе происходят необратимые процессы и если на нее действуют извне случайные возмущения, то ее энтропия возрастает, а следовательно, уменьшается степень ее упорядоченности, которая в конце концов может снизиться до нуля. Для компенсации этого естественного убывания порядка, для сохранения устойчивости система тем или иным путем получает из окружающей среды отрицательную энтропию-негэнтропию, например, в виде информации, которую она может использовать для восстановления порядка.

Следовательно, второй важной отличительной особенностью организованной системы является свойство поглощать негэнтропию и использовать ее в целях поддержания или даже повышения собственной упорядоченности. В последнем случае система будет не только организованной, но и самоорганизующейся. Самоорганизующиеся системы играют большую роль в организмах и системах человек-машины [8], для которых характерна особенность к самообновлению и к формированию новых организмов и систем [10].

Третьей особенностью организованной системы является наличие в ней функционально различных взаимосвязанных частей, позволяющих отличить структуру и назначение одних элементов от структуры и назначения других ее элементов и устанавливать характер их взаимодействия друг с другом и окружающей систему средой.

Таким образом, самоорганизующейся системой является такая система, упорядоченность которой со временем возрастает. На первый взгляд может показаться, что возрастание упорядоченности противоречит второму закону термодинамики. Согласно этому закону, любые изменения в изолированной системе могут приводить только к возрастанию ее энтропии. Возможность существования самоорганизующихся систем не противоречит принципам термодинамики. Но только самоорганизующиеся системы нельзя рассматривать изолированно от окружающей их среды. Действительно, энергия и порядок не могут возникать из ничего, они могут лишь черпаться из соответствующих источников.

Если допустить, что источники энергии и порядка находятся внутри системы, то она принципиально не может обладать свойствами самоорганизации, так как в лучшем случае (если в ней происходят только обратимые про-

цессы) ее энтропия не будет увеличиваться, но убывать она не может. Пусть упорядоченность системы R_0 в момент времени t_0 равна

$$R_0 = 1 - \frac{H_0}{H_{\max}},$$

где H_0 — энтропия системы во время t_0 .

Пусть энтропия системы в момент $t_1 = t_0 + \Delta t$ равна H_1 , а ее упорядоченность

$$R_1 = 1 - \frac{H_1}{H_{\max}}.$$

Допустим, что максимальная энтропия системы H_{\max} не изменяется. Тогда система будет самоорганизующейся, если $R_1 > R_0$. Это означает, что

$$1 - \frac{H_1}{H_{\max}} > 1 - \frac{H_0}{H_{\max}}.$$

Отсюда получаем $H_1 < H_0$, а следовательно, $H_1 - H_0 = \Delta H < 0$.

Так как $\Delta t > 0$, то $\frac{\Delta H}{\Delta t} < 0$.

Это условие означает убывание во времени энтропии замкнутой системы, что противоречит второму началу термодинамики и, следовательно, невозможно.

Значит, для того чтобы упорядоченность какой-либо системы возрастала, она должна получать извне энергию и порядок. При этом энтропия среды будет увеличиваться. Таким образом, самоорганизующиеся системы могут существовать только в качестве своеобразных исключений из общего правила существования физических систем, «высасывая» энергию и порядок из окружающей среды и нанося ей тем самым «непоправимый» ущерб.

К такому же выводу приводит рассмотрение случая, когда H — неизменно, а изменяется H_{\max} . Действительно, тогда

$$R_0 = 1 - \frac{H}{H_{\max_0}}, \text{ а } R_1 = 1 - \frac{H}{H_{\max_1}}.$$

Из требования $R_1 > R_0$ получаем

$$1 - \frac{H}{H_{\max 1}} > 1 - \frac{H}{H_{\max 0}}, \text{ отсюда } H_{\max 1} > H_{\max 0}.$$

Следовательно, повышение упорядоченности системы достигается путем увеличения максимальной энтропии H_{\max} , а для этого требуется увеличение числа элементов системы, от которого зависит H_{\max} . Что также требует «питания» из среды.

Из выражения (5.3) следует, что система является самоорганизующейся, когда скорость изменения R — положительна, т. е.

$$\frac{dR}{dt} > 0.$$

Полученное выражение является критерием организации и самоорганизации систем.

В общем случае при изменяющихся H и H_{\max} для самоорганизующихся систем [32] продифференцировав во времени уравнение (5.3) и выполнив условия полученного критерия, получаем

$$\frac{dR}{dt} = - \frac{H_{\max} \frac{dH}{dt} - H \frac{dH_{\max}}{dt}}{H_{\max}^2} > 0.$$

Поскольку $H_{\max}^2 > 0$ всегда (если отвлечься от систем с $H_{\max} = 0$), постольку выраженное через неопределенность условие самоорганизующейся системы будет иметь вид

$$H \frac{dH_{\max}}{dt} > H_{\max} \frac{dH}{dt}. \quad (5.4)$$

Следовательно, самоорганизация систем обеспечивается за счет увеличения x сложности и получения «питания» из окружающей среды. Эти выводы полностью согласуются с нашими наблюдениями над видом самоорганизующихся систем: живыми организмами и их совокупностями. Они поглощают энергию и порядок из окружающей среды.

К естественным биологическим самоорганизующимся системам добавились самоорганизующиеся системы человек-машины, поставленные на службу обществу. Степень организованности и упорядоченности различных био-

логических систем различна. Уровень организации многоклеточных организмов неодинаков у разных видов. Чем сложнее организм, тем выше организация и упорядоченность его.

Деятельность человека направлена на повышение упорядоченности окружающей среды — будь это прокладка дорог, посев злаков или сборка машины из отдельных деталей (здесь мы говорим об упорядоченности в смысле статистической физики, а не в смысле социальной справедливости и оставляем в стороне вопросы войн, вызывающих разрушения и увеличивающих неупорядоченность). Когда человек прекращает свою деятельность, слепые силы природы, увеличивающие неупорядоченность, уничтожают следы его труда [33].

В процессе упорядочения человек уменьшает энтропию в отдельных точках пространства, разумеется, за счет увеличения общей энтропии окружающей среды. Живой организм извлекает негэнтропию из окружающей среды, использует ее для конструирования тканей и поддержания жизненных процессов. Человек в процессе труда, извлекая негэнтропию из окружающей среды, переносит ее на предметы труда, которые становятся областями пространства с увеличенной негэнтропией. Наряду с другими способами результат труда, по-видимому, можно характеризовать достигнутым повышением упорядоченности или негэнтропии, введенной человеком в окружающую среду.

Биологические системы и системы человек-машина являются открытыми. Они получают извне вещества и энергию и создают из них сложные структуры, обладающие более низкой энтропией, чем окружающий мир. Процессы молекулярного упорядочения связаны с уменьшением энтропии. Живой организм из неупорядоченной системы малых молекул, получаемых в процессах питания и дыхания, конструирует высокоорганизованные постройки — биологические молекулы. При этом энтропия организма падает.

Если представить себе замкнутую систему организм + среда, энтропия которой обязана расти, то ясно, что энтропия среды должна возрастать, перекрывая уменьшение энтропии организма. Возрастание энтропии среды происходит за счет выделений организма.

Если процесс стационарный, то

$$\left(\frac{dS}{dt}\right)_{\text{opr}} = -\left(\frac{dS}{dt}\right)_{\text{cp}} \quad (5.5)$$

где S — некоторая функция — энтропия.

Можно сказать, что жизнедеятельность организма состоит в пропускании через себя потока энтропии вещества. При этом энтропия вещества, входящего в организм, меньше энтропии, отдаваемой среде, — организм деградирует

продукты питания [34]. Наблюдения и анализ показывают, что в замкнутых системах человек-машина+среда происходят аналогичные процессы [8].

Наблюдая существующие в природе разнообразные высокоорганизованные системы, их приспособляемость к изменяющейся среде, их развитие и самовоспроизведение, мы приходим к мысли, что в основе всех этих удивительных явлений лежит некоторый механизм, придающий этим системам свойства не только не растрчивать свою упорядоченность, организованность, но даже с течением времени повышать ее. Проявляется этот механизм в постоянно исходящем во времени обмене систем и структур, возникновение и развитие которых является одним из самых грандиозных проявлений созидательных сил природы.

Классическая теория информации дает полезный аппарат, но он не универсален и множество ситуаций не укладываются в информационную модель Шеннона. Далеко не всегда можно заранее установить перечень возможных состояний системы и вычислить их вероятности. Кроме того, основным недостатком этой теории является то, что, занимаясь только формальной стороной сообщений, она оставляет в стороне их ценность и важность.

Статистическая теория информации оперирует лишь вероятностями исходов рассматриваемых опытов и полностью игнорирует содержание этих исходов. Поэтому эта теория не может быть признана пригодной во всех случаях. Понятие информации в ней трактуется весьма односторонне. Из этой теории нельзя сделать вывод о том, что информация является всеобщим свойством материи [2].

Очевидно, что не всякий процесс и не всякий результат научного познания носит вероятностный характер. Если имеется множество элементов, то выбор этих элементов может происходить не только случайно, но и по какому-то плану, т. е. по детерминированному алгоритму. Следовательно, уничтожение неопределенности, т. е. получение информации, может происходить не только в результате вероятностного процесса, но и других формах. Понятие неопределенности оказывается шире понятия вероятности. неопределенность — понятие, отражающее отсутствие однозначности выбора элементов множества. Если этот выбор имеет случайный характер, то мы имеем дело со статистической теорией информации. Если же этот выбор не случаен, то необходим невероятный подход к определению информации. При невероятных подходах к информации последняя рассматривается как более общее понятие, чем вероятность.

Статистический и нестатистический подходы в теории информации касаются только количества информации, но информация имеет еще качественный аспект. Объединение элементов в множества всегда предполагает наличие у них некоторого свойства, признака, благодаря чему они образуют данное множество, а не иное. Следовательно, каждый элемент множества обладает определенным качественным отличием от элемента другого множества. Кроме того, внутри множества различие элементов друг от друга носит

тоже качественный характер. Поиск качественного аспекта информации как раз и состоит в учете природы элементов, объединяемых в множества, в учете качественного многообразия материи.

Именно то, что устраняет, уменьшает любую неопределенность и есть информация. Однако информацию можно рассматривать не только как снятую неопределенность, а несколько шире. Например, в биологии информации — это прежде всего совокупность реальных сигналов, отражающих качественное и количественное различие между какими-либо явлениями, предметами, процессами, структурами, свойствами. Такой более широкий подход к определению понятия информации сделал У.Росс Эшби. Он считает, что понятие информации неотделимо от понятия разнообразия.

Природа информации заключается в разнообразии, а количество информации выражает количество разнообразия. Одно и то же сообщение при различных обстоятельствах может содержать различное количество информации. Это зависит от разнообразия, которое наблюдается в системе. Слово «разнообразие» означает число различных элементов в множестве. Так, множество элементов неопределенности протекания производственных процессов на КБ СУГ I_i (табл. 2.5, столбец 4) имеет разнообразие в два элемента: количество параметров автоматического контроля I_{ki} (табл. 2.4, столбец 4) и количество параметров автоматического управления I_{yi} (табл. 2.4, столбец 7).

Разнообразие состояний технологической системы, т. е. режимов ее работы, образуемое множеством количества параметров автоматического управления и определяемое его факториалом $I_{yi}!$, характеризует меру сложности кустовой базы π_i . Удобно характеризовать меру сложности десятичным логарифмом ее величины

$$N_i = \lg \pi_i = \lg I_{yi}!$$

5.2. Рост организации промышленного объекта

Неопределенность протекания производственных процессов на определенном техническом уровне на промышленном объекте с обозначением N_i является объективной величиной и характеризуется общим количеством параметров автоматических контроля и управления I_i (табл. 2.5, столбец 4). Реализованная в системе неопределенность N_{pi} определяет абсолютную целенаправленную организацию материи O_i и отражается количеством параметров автоматического управления I_{yi} (табл. 2.4, столбец 7). Нереализованная в системе неопределенность N_{ni} характеризует оставшуюся в организованной физической материи абсолютную неупорядоченность и определяется количеством параметров автоматического контроля I_{ki} (табл. 2.4, столбец 4).

Тогда относительная организация системы в общем случае R выразится

$$R = H_p/H \quad (5.6)$$

и будет отражаться оценкой уровня автоматизации технологических процессов Y_A . В табл. 2.5, столбец 5 приведены значения оценки уровня автоматизации производственных процессов на одном всесторонне характерном объекте газовой промышленности в исторически обусловленное время Y_{Ai} .

Как видно из выражения (5.6) относительная организация R , в дальнейшем для краткости изложения просто организация, изменяется в пределах от нуля до единицы

$$0 \leq R \leq 1 \quad (5.7)$$

и принимает значение нуль для остонопа, находящегося в полном беспорядке. Для идеально упорядоченной системы, в которой состояние всех элементов однозначно определено, значение ее равно единице, а энтропия субстанции соответственно равна нулю.

В уравнении (5.6) реализованную в системе неопределенность H_p можно представить как разницу между неопределенностью материи H и нереализованной в системе неопределенностью H_n

$$R = \frac{H - H_n}{H}$$

или

$$R = 1 - \frac{H_n}{H}$$

Из последнего выражения видно, что вычитаемое H_n/H представляет собой относительную неупорядоченность организованной физической субстанции P

$$P = \frac{H_n}{H} \quad (5.8)$$

После подстановки ее в рассматриваемое уравнение получаем

$$R = 1 - P$$

Откуда неупорядоченность системы P как функция целенаправленной организации материи R выразится

$$P = -R + 1 \quad (5.9)$$

Как видим, полученное выражение представляет собой разрешенное относительно ординаты уравнение прямой линии с угловым коэффициентом, величина которого отрицательна и равна минус единице, и начальной ординатой, равной также 1. График функции $P(R)$ приведен на рис. 5.1.

Соотношение неопределенностей H_H/H определяет величину относительной неупорядоченности осонапа P , которая изменяется в пределах единицы до нуля

$$1 \geq P \geq 0 \quad (5.10)$$

и принимает значение 1 для системы, находящейся в полном беспорядке, и 0 идеально организованной субстанции.

Из выражения (5.9) видно, что сумма организации системы R и неупорядоченности ее P представляет собой постоянную величину

$$R + P = \text{const}$$

равную единице. Отраженная последним уравнением взаимозависимость организации материи R и неупорядоченность системы P наглядно видна при взаимнообратном расположении направлений отсчета их величин по осям ординат и совмещений графиков функций $R(t)$ и $P(t)$ в одном графике (рис. 5.1).

Обусловленная фундаментальной закономерностью эволюции, т. е. лучшая приспособленность к окружающей среде высокоорганизованных биологических и социальных систем определяет закономерность развития организации осонапа, которая отражается плавным ростом значения R , гладкой кривой со строго монотонным характером изменения во времени. Взаимосвязь изменения организации системы R , выраженная уравнением (5.9), показывает, что неупорядоченность неорганической организованной субстанции является соответственно строго монотонно убывающей во времени функцией $P(t)$.

Для исследования функций $R(t)$ и $P(t)$ к их общему графику на рис. 5.1 в некоторой точке M проведем касательную $N'MN$.

Тогда производная от организации физической субстанции по времени в точке M будет равна угловому коэффициенту k_R касательной [35], проведенной к графику функции $R(t)$ в той же точке,

$$\frac{dR}{dt} = k_R \cdot \quad (5.11)$$

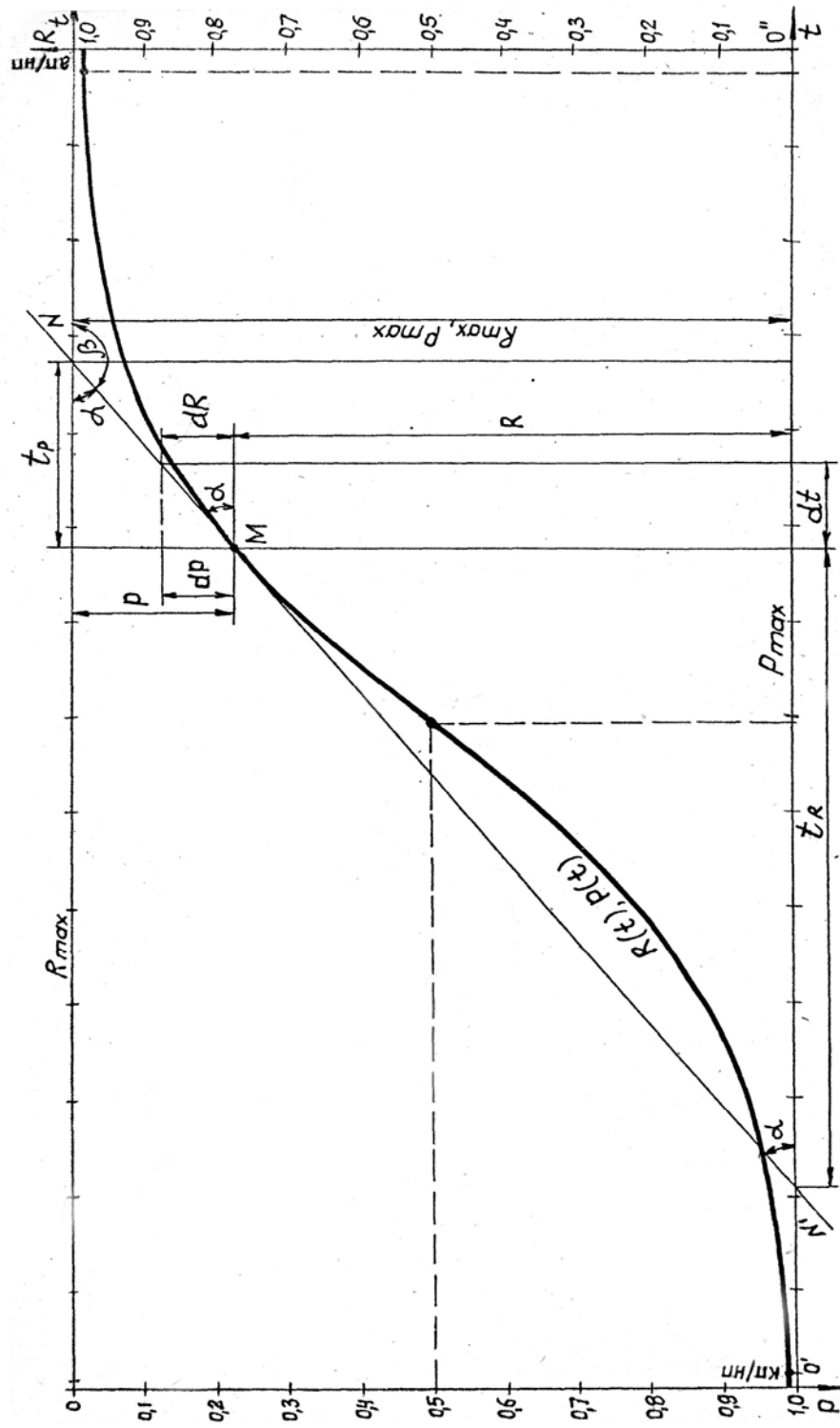


Рис. 5.1. Взаимозависимость организации и неупорядоченности материи на промышленном объекте

R, P — текущая соответственно организация и неупорядоченность физической субстанции; R_{max}, P_{max} — максимальные значения параметров; t — время развития динамического ряда; N, MN — касательная к графику функций; dR, dP — дифференциалы исследуемых функций; dt — дифференциал аргумента; t_R, t_p — значения времени, определяемые касательной; α, β — углы наклона прямой линии к оси абсцисс.

Угловым коэффициентом к графику организации системы в свою очередь равен

$$k_R = \operatorname{tg} \alpha = \frac{R}{t_R},$$

где α — угол наклона касательной к положительному направлению оси абсцисс t ;

t_R — время роста организации материи, отсекаемое касательной, г.

Так как, неупорядоченность системы является строго монотонно убывающей во времени функцией $P(t)$, то угол наклона касательной к ее графику β будет тупым [35], что наглядно видно при обычном расположении координат как на рис. 5.2. Из рис. 5.1 видно, что угловым коэффициентом касательной, проведенной к графику неупорядоченности осонора в точке M , как и в любой его точке, будет равен

$$k_p = \operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg}(180^\circ - \alpha) = -\operatorname{tg} \alpha$$

или

$$k_p = -\frac{P}{t_p},$$

где t_p — время эволюции неупорядоченности системы, отсекаемое касательной, г.

Тогда производная от неупорядоченности физической субстанции по времени в точке M , равная угловому коэффициенту k_p касательной, проведенной к графику функции $P(t)$ в той же точке, будет равна

$$\frac{dP}{dt} = -\frac{P}{t_p}. \quad (5.12)$$

Для решения полученной системы двух дифференциальных уравнений (5.11) и (5.12) перемножим левые и правые части их между собой и получим

$$\frac{dR}{dt} \cdot \frac{dP}{dt} = -k_R \frac{P}{t_p}. \quad (5.13)$$

После подстановки в полученное равносильное уравнение выражения производной неупорядоченности материи, равного минус тангенсу угла α , и выражения углового коэффициента касательной k_R получаем

$$\frac{dR}{dt} = \frac{RP}{t_R t_P \operatorname{tg} \alpha}.$$

Из графика рис. 5.1 видно, что $\operatorname{tg} \alpha$ равен также

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{R_{\max}}{t_R + t_P},$$

где R_{\max} — предельно возможное значение роста организации системы.

Подстановка его выражения в последнее равенство приводит к уравнению

$$\frac{dR}{dt} = \frac{(t_R + t_P)RP}{t_R t_P R_{\max}}.$$

Обозначим буквой C множитель полученного выражения производной

$$C = \frac{t_R + t_P}{t_R t_P}, \quad (5.14)$$

который, как видим, имеет размерность 1/год.

После чего

$$\frac{dR}{dt} = \frac{C}{R_{\max}} RP$$

или с учетом зависимости (5.9) и отношения $1/R_{\max}$, определяемого равенством (5.7) и равного единице,

$$\frac{dR}{dt} = C \left(1 - \frac{R}{R_{\max}}\right) R \quad (5.15)$$

Сомножитель в скобках полученного произведения представляет собой функциональную зависимость, отражающую степень приближения к верхнему пределу организации физической субстанции.

Для того, чтобы решить последнее дифференциальное уравнение, произведем разделение переменных. С этой целью обе части его поделим на произведение $(1 - \frac{R}{R_{\max}})R$ и помножим на дифференциал времени dt . В результате получим

$$\frac{dR}{R \left(1 - \frac{R}{R_{\max}}\right)} = C dt$$

Затем обе части полученного дифференциального уравнения первого порядка с разделяющимися переменными проинтегрируем почленно

$$\int \frac{dR}{R \left(1 - \frac{R}{R_{\max}}\right)} = \int C dt$$

Для чего параметр C при постоянной величине его можно вынести за знак интеграла, а знаменатель дроби подынтегрального выражения запишем в виде, позволяющем использовать формулу таблично неопределенного интеграла [36].

Тогда

$$\int \frac{dR}{R \left[1 + \left(-\frac{1}{R_{\max}}\right)R\right]} = C \int dt$$

Откуда после интегрирования

$$-\ln \frac{1 + \left(-\frac{1}{R_{\max}}\right)R}{R} = Ct - \ln C_1$$

или

$$\ln \frac{1 - \frac{R}{R_{\max}}}{R} = \ln e^{-Ct} + \ln C_1,$$

где $\ln C_1$ — постоянная интегрирования.

После интегрирования получаем

$$1 - \frac{R}{R_{\max}} = C_1 e^{-Ct}.$$

Решение полученного уравнения после надлежащих преобразований можно представить в виде

$$R = \frac{R_{\max}}{1 + C_1 R_{\max} e^{-Ct}}.$$

Подстановка в полученное выражение отношения параметров кривой A/B вместо определяемого им предельно возможного значения роста организации системы R_{\max} (3.6) и соответствующие преобразования приводят к уравнению

$$R = \frac{A}{B + C_1 A e^{-Ct}}.$$

Произведение постоянной величины C_1 на параметр кривой A , являющийся константой, представляет собой постоянную величину, которую обозначим буквой C_2 ,

$$C_2 = C_1 A = \text{const} . \quad (5.16)$$

Тогда выражение организации физической материи R примет вид

$$R = \frac{A}{B + C_2 e^{-Ct}}.$$

При определении величины константы C_2 , как дополнительным условием, можно воспользоваться известными нам значениями начальных основополагающих данных понятия основного периода вариации динамического ряда [19]: времени начала развития этого периода t_0 , равного нулю, и соответствующей ему организации системы R_0 , равной $0,01R_{\max}$. После подстановки значений R_{\max} , равного единице (5.7), и исходных данных и надлежащих преобразований из полученного выше выражения определяем значение постоянной величины C_2 , которое также равно единице.

Подстановка полученного значения константы C_2 в рассматриваемое уравнение приводит к окончательному выражению организации осонопа

$$R = \frac{A}{B + e^{-ct}}. \quad (5.17)$$

Как видим, полученная формула (5.17) представляет собой аналитическое выражение логистической кривой роста характеристики физических средств внутри поколения (3.6) и подтверждает закономерность эволюции оценки уровня автоматизации производственных процессов на промышленном объекте Y_A , выраженной уравнением (3.11).

При переменной величине параметра логистической кривой C крутизна графика с увеличением значения параметра будет увеличиваться и с уменьшением соответственно — уменьшаться. Теория и практика научно-технического прогнозирования [19, 22] показывает, что реализация фундаментальной закономерности, выраженная эволюцией технических характеристик организованных устройств и систем-объектов внутри поколения и отраженная логистическими кривыми развития во времени, происходит в основе своей при постоянных величинах параметра кривой C .

Авторами Л 27 подтверждено, что решение дифференциального уравнения, аналогичного дифференциальному уравнению организации субстанции (5.15), дает аналитическое выражение логистической кривой роста исследуемой характеристики.

Сопоставительный анализ аналитических выражений количества параметров автоматического управления технологическими процессами (4.1) и оценки уровня автоматизации (3.11) показывает, что выражения их идентичны и различаются между собой только значением постоянных параметров кривой A и C и взаимозависимых аргументов t_y и t . Обусловленная равенством (4.28) пропорциональная взаимозависимость времени развития динамического ряда количества параметров автоматического управления t_y и времени развития динамического ряда оценки уровня автоматизации производственных процессов t обуславливает пропорциональный рост функций $I_y(t_y)$ и $Y_A(t_y)$, отраженный уравнением (4.31) и взаимным расположением их графиков на рис. 4.2.

Поделив числитель и знаменатель формулы организации осонопа (5.17) на параметр кривой B , получим вид аналитического выражения логистической кривой роста характеристики, использованный Р. Перлом [22], Р. Ленцем (3.2) и другими исследователями,

$$R = \frac{L}{1 + \alpha e^{-ct}}, \quad (5.18)$$

где L — предельное значение роста параметра R_{\max} ;
 α — параметр кривой, равный отношению $1/B$.

Другое выражение параметра кривой α можно получить из только что полученной формулы (5.18) с последующей подстановкой в него дополнительных данных начального условия $t = t_0 = 0$ и $R = R_0$

$$\alpha = \frac{L}{R_0 - 1}. \quad (5.19)$$

Из полученного уравнения видно, что значение параметра кривой α на единицу меньше величины отношения предельно возможного значения роста исследуемой характеристики L к ее начальному R_0 и равно 99.

Теперь аналитическое выражение организации физической материи можно переписать в виде, аналогичном полученном в Л 20 26,

$$R = \frac{L}{1 + \left(\frac{L}{R_0 - 1}\right)e^{-ct}}. \quad (5.20)$$

В зависимости от величины входящих в аналитическое выражение параметров логистическая кривая роста технической характеристики или отдельные ее части с некоторым допущением могут описываться другими уравнениями и соответственно иметь свойственный последним характер (см. приложения, рис. 118). Некоторые частные случаи логистической модели, полученной на основании анализа общих закономерностей развития, рассмотрены в Л 26 и академиком В. А. Трапезниковым в Л 17. Кроме наиболее распространенного вида функций роста, аналитически описываемых уравнением (3.6) и характеризующих симметричной сигмоидальной кривой, в технологическом прогнозировании [20] часто используется другая S-образная несимметричная кривая роста, известная как кривая Гомперца (3.1).

5.3. Эволюция неупорядоченности оснопа кустовых баз

Подстановка в уравнение (5.13) выражения производной организации субстанции, равного тангенсу угла α , и выражения углового коэффициента касательной k_R приводит к уравнению

$$\frac{dP}{dt} = -\frac{PR}{t_p t_R \operatorname{tg} \alpha}$$

Из уравнений, полученных в предыдущем разделе, можно записать, что угловой коэффициент касательной, проведенной к графику неупорядоченности материи,

$$k_p = -\operatorname{tg}\alpha = -\frac{P}{t_p}$$

а следовательно с учетом рис. 5.1

$$k_p = -\frac{P_{\max}}{t_p + t_R}$$

где P_{\max} — максимальное значение неупорядоченности системы.

Из только приведенных двух уравнений видно, что

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{P_{\max}}{t_p + t_R}$$

После подстановки его выражения в последнее уравнение производной от неупорядоченности субстанции получаем

$$\frac{dP}{dt} = -\frac{(t_p + t_R)PR}{t_p t_R P_{\max}}$$

Преобразования, аналогичные преобразованиям выражения производной организации системы и проведенные с учетом отношения $1/R_{\max}$, определяемого равенством (5.10) и равного единице, приводят к уравнению

$$\frac{dP}{dt} = -C\left(1 - \frac{P}{P_{\max}}\right)P \quad (5.21)$$

Функциональная зависимость в скобках полученного выражения отражает степень удаления от верхнего предела неупорядоченности неорганической организованной материи (рис. 5.2).

Решая дифференциальное уравнение (5.21) аналогично уравнению (5.15), можно получить уравнение неупорядоченности системы

$$P = \frac{P_{\max}}{1 + C_3 P_{\max} e^{ct}},$$

где $\ln C_3$ — постоянная интегрирования.

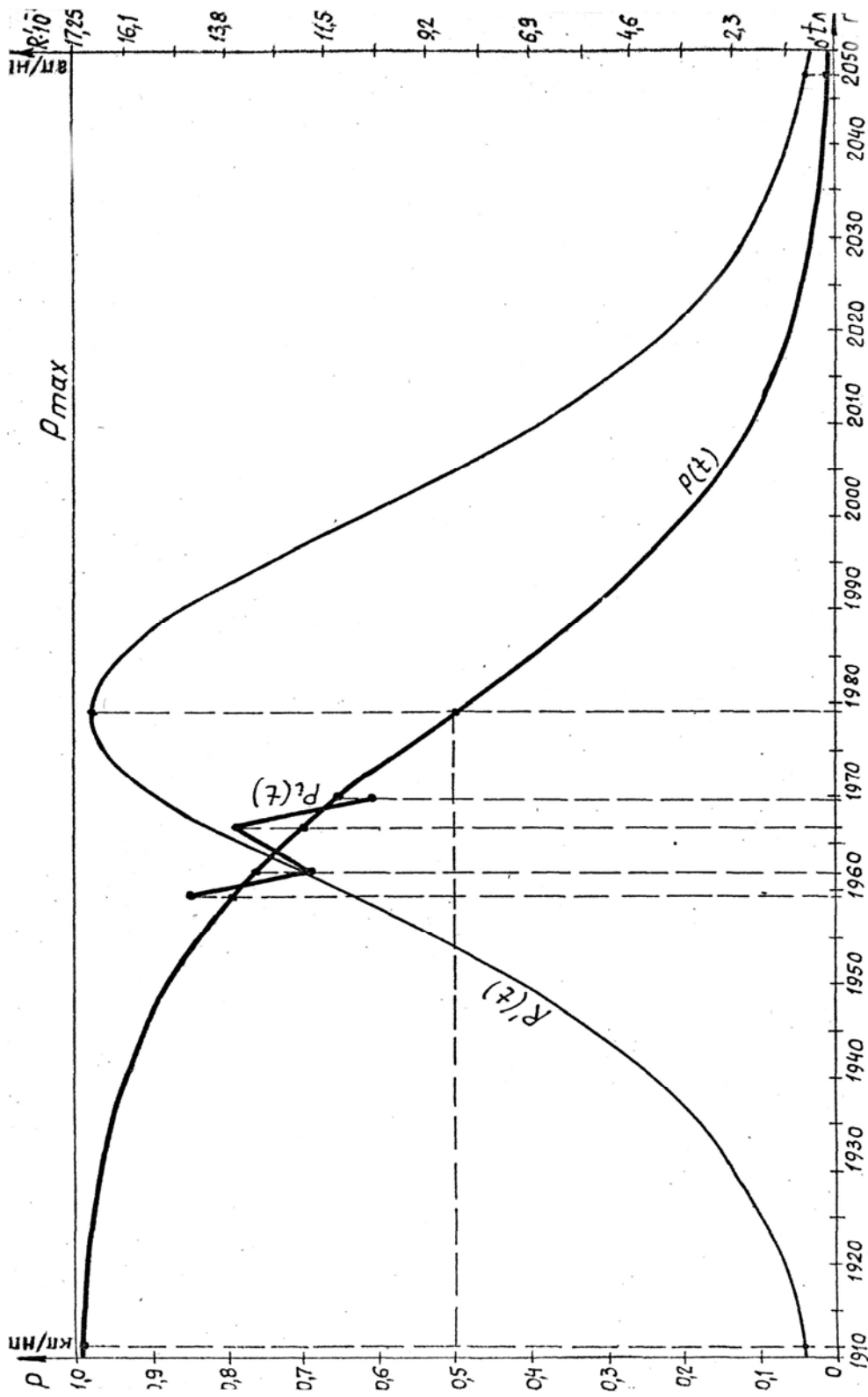


Рис. 5.2. Эволюция неупорядоченности неорганической организованной субстанции кустовых баз

P_i, P — эмпирические проектные и расчетные ретроспективно-перспективные неупорядоченности материи;
 R_{max} — максимальное значение параметра; R — организация физической субстанции; h — соотношение R/P ; R' — абсолютный прирост организации субстанции; t_i — время по летоисчислению.

Произведение постоянной величины C_3 на неизменяющееся предельно возможное значение параметра P_{\max} является постоянной величиной, которую можно обозначить буквой C_4 ,

$$C_4 = C_3 P_{\max} = \text{const.} \quad (5.22)$$

Тогда

$$P = \frac{F}{1 + C_4 e^{ct}},$$

где F — предельное значение убывающего параметра P_{\max} .

Для определения из полученного уравнения выражения постоянной величины C_4 можно использовать взаимозависимость неупорядоченности системы и организации ее, выраженную уравнением (5.9) и конкретизированную значениями начальных дополнительных данных: времени начала эволюции динамического ряда t_0 , равного нулю, и соответствующей ему неупорядоченности оснопа P_0 , равной $0,99 P_{\max}$. После необходимых преобразований получим

$$C_4 = \frac{F}{P_0 - 1} \quad (5.23)$$

После подстановки в уравнение (5.23) известных нам значений входящих в него параметров, в том числе параметра P_{\max} , равного единице (5.10), получаем значение постоянной величины C_4 . Оно равно значению параметра кривой B , равному $0,0101$. С учетом уравнения (5.23) ранее известный параметр B получает выражение

$$B = \frac{F}{P_0 - 1} \quad (5.24)$$

Подстановка постоянной величины B в исходное уравнение приводит к окончательному аналитическому выражению неупорядоченности оснопа

$$P = \frac{F}{1 + B e^{ct}} \quad (5.25)$$

Одновременная и отдельная подстановка полученной формулы неупорядоченности (5.25) и организации физической субстанции (5.18) в равенство (5.9) не нарушает последнего, а следовательно подтверждает достоверность полученных выражений.

В табл. 5.1 представлены значения неупорядоченности организованной материи на КБ СУГ, полученные аналитически по формуле (5.25) в промежутке времени основного периода вариации динамического ряда T . По значениям неупорядоченности табл. 5.1 на рис. 5.2 построен график функции $P(t)$, который в отличие от графика логистической функции (рис. 3.4) можно назвать делогистической кривой. Для характеристики скорости эволюции неупорядоченности оснопа на рис. 5.2 показан график взаимозависимой функции абсолютного роста организации субстанции на кустовых базах сжиженных газов, представляющей собой первую производную по времени от последней R' .

Таблица 5.1

Эволюция неупорядоченности неорганической организованной материи КБ СУГ

Время по летоисчислению t_L , г	Абсолютный рост организации субстанции $10^{-3}R'$, ап/нп·г	Неупорядоченность материи P , кп/нп	Время по летоисчислению t_L , г	Абсолютный рост организации субстанции $10^{-3}R'$, ап/нп·г	Неупорядоченность материи P , кп/нп
1	2	3	1	2	3
1911,076	0,6672	0,99000	1980	16,8416	0,48783
1915	0,8637	0,98701	1985	16,2426	0,40448
1920	1,1975	0,98190	1990	14,8222	0,32662
1925	1,6540	0,97483	1995	12,8865	0,25752
1930	2,2701	0,96510	2000	10,7057	0,19816
1935	3,0925	0,95179	2005	8,6038	0,14983
1940	4,1672	0,93377	2010	6,7015	0,11170
1945	5,5384	0,90966	2015	5,1007	0,08265
1950	7,2282	0,87781	2020	3,8251	0,06047
1955	9,2015	0,83683	2025	2,8278	0,04356
1960	11,3378	0,78547	2030	2,0681	0,03164
1965	13,4890	0,72329	2035	1,5075	0,02321
1970	15,3075	0,65100	2040	1,0911	0,01655
1975	16,5081	0,57076	2045	0,7830	0,01174
1979,254	16,8518	0,50000	2047,431	0,6672	0,01000

Исходя из определения и данных табл. 4.4 и 4.6 определяем точечные эмпирические проектные значения неупорядоченности организованной субстанции кустовых баз P_i . Они и соответствующие им расчетные ретроспективные значения параметра P , рассчитанные по формуле (5.25), приведены в табл. 5.2 и представлены графиками на рис. 5.2.

**Динамика эмпирических проектных и соответствующих им
расчетно-ретроспективных неупорядоченностей КБ СУГ, кп/нп**

Обозначение типового проекта	Время вступления в силу типового проекта $t_{л}, г$	Эмпирическая и расчетная неупорядоченности материи	
		По типовому проекту P_i	Расчетно-ретроспективная P
ТП-1	1959,622	0,8489	0,7897
ТП-2	1961,899	0,6947	0,7631
905-12	1966,351	0,7688	0,7047
905-12/70	1969,722	0,6081	0,6553

5.4. Взаимодействие оснопа и среды

Зарождение высокоорганизованных систем можно объяснить тем, что среди огромного многообразия случайных сочетаний элементов рано или поздно должны были возникнуть сочетания, которые оказались приспособленными к окружающей среде, чтобы проявить жизнеспособность, то есть способность устойчиво сохранять свою организованную структуру. Однако нельзя представить себе возникновение системы, которая с самого начала обладала бы столь совершенными свойствами, чтобы при любых изменениях условий обеспечивалось наилучшее или хотя бы приемлемое ее поведение. Для сохранения жизнеспособности системы при возникновении условий, в которых ее механизмы неспособны подобрать нужную реакцию, необходимо изменять структуру системы и форму ее поведения, изменять характер реакций на возмущения.

Так постоянные изменения, происходящие в материальном мире, совершенствуют функциональным взаимодействием организованные системы — объекты среды, в том числе самоорганизующиеся точки и области пространства органического мира, которые сокращено назвать сотопомами. В качестве примера биологического сотопома может быть представлен самоорганизованный организм человека.

Процесс изменения свойств биологической системы, позволяющий ей достигнуть наилучшего или по крайней мере приемлемого функционирования в изменяющихся условиях, называется адаптацией или, другими словами, приспособлением.

Каким же образом целый биологический вид приспособливается к изменению окружающей среды? Это происходит за счет плодовитости и мутации. Предположим, что по мере смены поколений и изменения условий окружающей среды некоторое свойство животного становится все менее ярко выраженным. Эта черта меняется случайным образом в определенных

пределах в каждом последующем поколении. Механизм адаптации сводится к следующему: особи, у которых изменение важного для сохранения существования свойства направлено в отрицательную сторону, могут легко погибнуть; особи, у которых это изменение происходит в благоприятную сторону, склонны к выживанию и усовершенствованию. Таким образом, вид в целом имеет тенденцию к адаптации, постепенно изменяя свои свойства и приспособляясь к внешней среде. Вид в целом как бы обучается, используя механизм обратной связи. В животном мире этот процесс называется естественным отбором.

Исследование фактической структуры и поведения организмов свидетельствует об иерархической структуре управления в них. Каждая клетка обладает своими регуляторными механизмами, которые отвечают за обменные процессы в клетке. Наивыгоднейший режим работы клетки наступает при оптимальном выполнении ею своих функций по отношению к ткани. Ткани совместно выполняют свои функции по отношению к организму, а органы по отношению к организму в целом. Гармоничное единство интересов частей и целого является основным принципом, определяющим структуру управления живым организмом. Таким образом, организм является целостной системой. Клетки являются его элементами, органы, системы органов — подсистемами.

Работа элементов и всего организма отличается высокой надежностью, точностью и устойчивостью. Надежность обеспечивается следующими факторами. Все процессы осуществляются большим количеством параллельно работающих клеток. На всех уровнях имеются резервы в клетках, в органах и в целом организме. Существует дублирование регулирующих механизмов за счет участия в них нескольких систем. Например, поддержание кровяного давления осуществляется регулированием просвета сосудов и изменением сердечного выброса. При повреждении органов происходит регенерация — восстановление исходного числа клеток путем размножения, хотя и не для всех тканей.

Исследование механизмов управления в живых организмах представляет задачу биологической кибернетики, которая усложняется трудностью экспериментального их изучения. Вместе с тем познание совершенных механизмов управления, созданных природой в результате многих веков эволюции, позволит использовать их при конструировании сложных искусственных систем управления.

Взаимодействие элементов остопа и сотопома, вносящее и поддерживающее определенную упорядоченность, обуславливает гармоничное единство функций организованных точек и областей пространства (сокращенно гефотоп) и соответственно развитие первых и последнего в целом. наглядным примером гефотопа в миниатюре может быть симбиоз шофера и управляемого им автомобиля с их абсолютным взаимодействием.

Функциональное взаимодействие между элементами неорганической организованной материи и внешней среды количественно характеризуется абсолютной организацией ее 0. Качественно — организацией субстанции R и соотношением неопределенностей h (4.42), графики которых изменяются во времени нелинейно (рис. 3.4 и 4.5). Такое функциональное взаимодействие отражается также соотношением организации осонора и его неупорядоченности R/P. Подстановка вместо последних их определяющих выражений (5.6) и (5.8) показывает, что оба названные соотношения равны между собой

$$\frac{R}{P} = \frac{H_p}{H_n} = h. \quad (5.26)$$

После подстановки в полученное уравнение выражения организации неорганической материи (5.17) и ее неупорядоченности (5.25) получаем уравнение реализованной неопределенности к нереализованной

$$h = Ae^{ct}, \quad (5.27)$$

представленное выражением (4.43). Это подтверждает то, что рост количества параметров автоматического управления технологическими процессами на КБ СУГ, как и организация осонора (5.17), аналитически описывается формулой логистической кривой (4.1).

С целью определения диапазонов изменения функции h(t) за время основного периода вариации динамического ряда T найдем выражение последнего из уравнения параметра кривой α . Для неупорядоченности организованной материи согласно уравнению (5.19) и графику рис. 5.1 с подстановкой дополнительного данного конечного условия $P_k = R_0$ можно записать

$$\alpha = \frac{F}{P_k - 1}, \quad (5.28)$$

где P_k — неупорядоченность осонора, равная значению $0,01 P_{\max}$.

После подстановки в полученное уравнение (5.28) выражения неупорядоченности организованных систем — объектов (5.25)

$$P_k = \frac{F}{1 + Be^{ct}}$$

и соответствующих преобразований с учетом равенства $\alpha = 1/B$ формулы (5.18) получим выражение основного периода вариации динамического ряда

$$T = \frac{1}{C} \ln a^2.$$

Из сопоставления полученного выражения с уравнением (3.10) видно, что константа основного периода вариации динамического ряда

$$n = 2 \ln a. \quad (5.29)$$

Поочередная подстановка в выражение (5.27) дополнительных данных начального условия $t_0 = 0$ и конечного $t_k = T$ и вместо последнего выражения (5.29), а также график рис. 4.5, построенный по табл. 4.5, показывают, что соотношение реализованной неопределенности к нереализованной за время основного периода вариации динамического ряда T изменяется в пределах

$$A \leq h \leq a. \quad (5.30)$$

Из рис. 4.5 видно, что график функции $h(t)$ мало нагляден при сопоставительном анализе и не удобен для практического использования.

В практике научно-технического прогнозирования наибольшее распространение получили линейные и приведенные к линейным формы связи. Широкое использование линейных моделей обусловлено следующими причинами:

- многие явления хорошо описываются этими формами;
- линейные модели просты и требуют относительно меньшего объема вычислений, а методика их решения доступнее и разработана глубже;
- графики линейных функций — прямые линии наиболее наглядны и практически удобно используются при сопоставительном анализе.

Линейную функцию, выраженную уравнением прямой линии с угловым коэффициентом, можно получить из анализа выражения, аналогичного промежуточному выражению константы основного периода вариации динамического ряда (3.10),

$$n = \ln\left(\frac{R_k}{A - BR_k} : \frac{R_0}{A - BR_0}\right),$$

где R_0 — организация оснопо, когда значение времени t_0 ;

R_k — то же, когда значение времени t_k .

Учитывая то, что параметры A и B равны между собой, полученное уравнение можно записать в виде

$$n = \ln\left(\frac{R_k}{1 - R_k} : \frac{R_0}{1 - R_0}\right).$$

С учетом выражения соотношения количеств информации технологических процессов на объекте h (4.44) получаем

$$n = \ln \frac{h_k}{h_0},$$

где h_0 — соотношение одноименных физических величин, когда значение времени t_0 ;

h_k — то же, когда значение времени t_k .

Перепишем полученное уравнение в виде

$$n = \ln h_k - \ln h_0. \quad (5.31)$$

Согласно ГОСТ 8417-81 натуральный логарифм безразмерного отношения величины к одноименной физической величине, принимаемой за исходную, в нашем случае $\ln h$ (4.42), имеет единицу измерения непер (Нп). Следовательно константа основного периода вариации динамического ряда p (3.10) имеет единицу измерения и будет равна

$$n = 9,1902Hn.$$

После подстановки в уравнение константы (5.31) выражения соотношения одноименных физических величин (5.27), когда значение начального времени $t_0 = 0$ и конечного $t_k = T$, получаем уравнение, равное уравнению (3.10)

$$n = CT.$$

Из сопоставления полученного выражения с выражением (5.31) видно, что они вместе при текущем значении времени t могут составить уравнение

$$Ct = \ln h - \ln h_0,$$

где h — соотношение одноименных физических величин, когда значение времени t .

В полученное выражение подставим начальное значение соотношения одноименных физических величин h_0 (5.27) и получим уравнение

$$Ct = \ln h - \ln A .$$

Полученную линейную функцию Ct , выраженную прямой, проходящей через начало координат, для более удобного практического пользования можно обозначить буквой σ и назвать параметром функционального взаимодействия осона с внешней средой

$$\sigma = Ct, \quad (5.32)$$

где C — угловой коэффициент прямой линии.

Тогда рассматриваемое выше уравнение будет представлять собой второе выражение параметра взаимодействия осона со средой

$$\sigma = \ln h - \ln A. \quad (5.33)$$

Абсолютное значение коэффициента C , равного тангенсу угла наклона прямой к оси абсцисс $\operatorname{tg}\varphi$ (рис. 5.3), определяет крутизну графика линейной функции, причем чем больше значение параметра C , тем круче прямая. следует иметь в виду, что с течением времени при поступлении новых исходных данных, используемых при расчете параметра логистической кривой C , значение его с целью корректировки можно и нужно уточнять пересчетом по расчетной формуле (3.15).

После подстановки в полученное уравнение (5.32) дополнительных данных начального условия $t_0 = 0$ и конечного $t_k = T$ и вместо последнего выражения (3.10) определим диапазон изменения функции $\sigma(t)$ за время основного периода вариации динамического ряда T

$$0 \leq \sigma \leq \pi \quad (5.34)$$

Подставляя численное значение константы основного периода вариации π из равенства (5.31) в выражение (5.34), получим

$$0 \leq \sigma \leq 9,1902 \text{ Нп}$$

Для более наглядного и удобного практического использования параметра взаимодействия осона со средой σ при сопоставительном анализе необходимо, чтобы параметр логистической кривой C , равный $\operatorname{tg}\varphi$ (рис. 5.3) и отношению параметров π/T (3.10), имел значение близкое к

единице. Это можно получить искусственным приемом, т. е. пользоваться десятичной дольной единицей измерения с приставкой, децинепером (дНп)

$$0 \leq \sigma \leq 91,902 \text{ дНп}$$

Расчетные ретроспективные и перспективные параметры взаимодействия осонора со средой на кустовых базах сжиженных газов σ в функции времени развития динамического ряда t , рассчитанные аналитически по формуле (5.32), представлены в табл. 5.3, по которым на рис. 5.3 построен график функции $\sigma(t)$, представляющий собой прямую линию.

Таблица 5.3

Эволюция параметров взаимодействия гефотопы КБ СУГ

Время развития динамического ряда t , г	Время по летоисчислению t_L , г	Параметр взаимодействия		Время развития динамического ряда t , г	Время по летоисчислению t_L , г	Параметр взаимодействия	
		осонора b , дНп	сотопора b_6 , дНп			осонора b , дНп	сотопора b_6 , дНп
1	2	3	4	1	2	3	4
t_0	1911,076	0,000	0,000	t_{14}	1980	46,454	-46,454
t_1	1915	2,644	-2,644	t_{15}	1985	49,824	-49,824
t_2	1920	6,014	-6,014	t_{16}	1990	53,194	-53,194
t_3	1925	9,384	-9,384	t_{17}	1995	56,564	-56,564
t_4	1930	12,754	-12,754	t_{18}	2000	59,934	-59,934
t_5	1935	16,124	-16,124	t_{19}	2005	63,304	-63,304
t_6	1940	19,494	-19,494	t_{20}	2010	66,674	-66,674
t_7	1945	22,864	-22,864	t_{21}	2015	70,044	-70,044
t_8	1950	26,234	-26,234	t_{22}	2020	73,414	-73,414
t_9	1955	29,604	-29,604	t_{23}	2025	76,784	-76,784
t_{10}	1960	32,974	-32,974	t_{24}	2030	80,154	-80,154
t_{11}	1965	36,344	-36,344	t_{25}	2035	83,524	-83,524
t_{12}	1970	39,714	-39,714	t_{26}	2040	86,894	-86,894
t_{13}	1975	43,084	-43,084	t_{27}	2045	90,264	-90,264
$t_{пр}$	1979,254	45,951	-45,951	t_k	2047,431	91,902	-91,902

Эмпирические проектные значения параметра взаимодействия осонора со средой на кустовых базах сжиженных углеводородных газов b_i , рассчитанные по формуле (5.33) и точечным данным табл. 4.6, и соответствующие им расчетные ретроспективные значения параметра b , полученные из выражения (5.32), приведены в табл. 5.4 и показаны графиками на рис. 5.3.

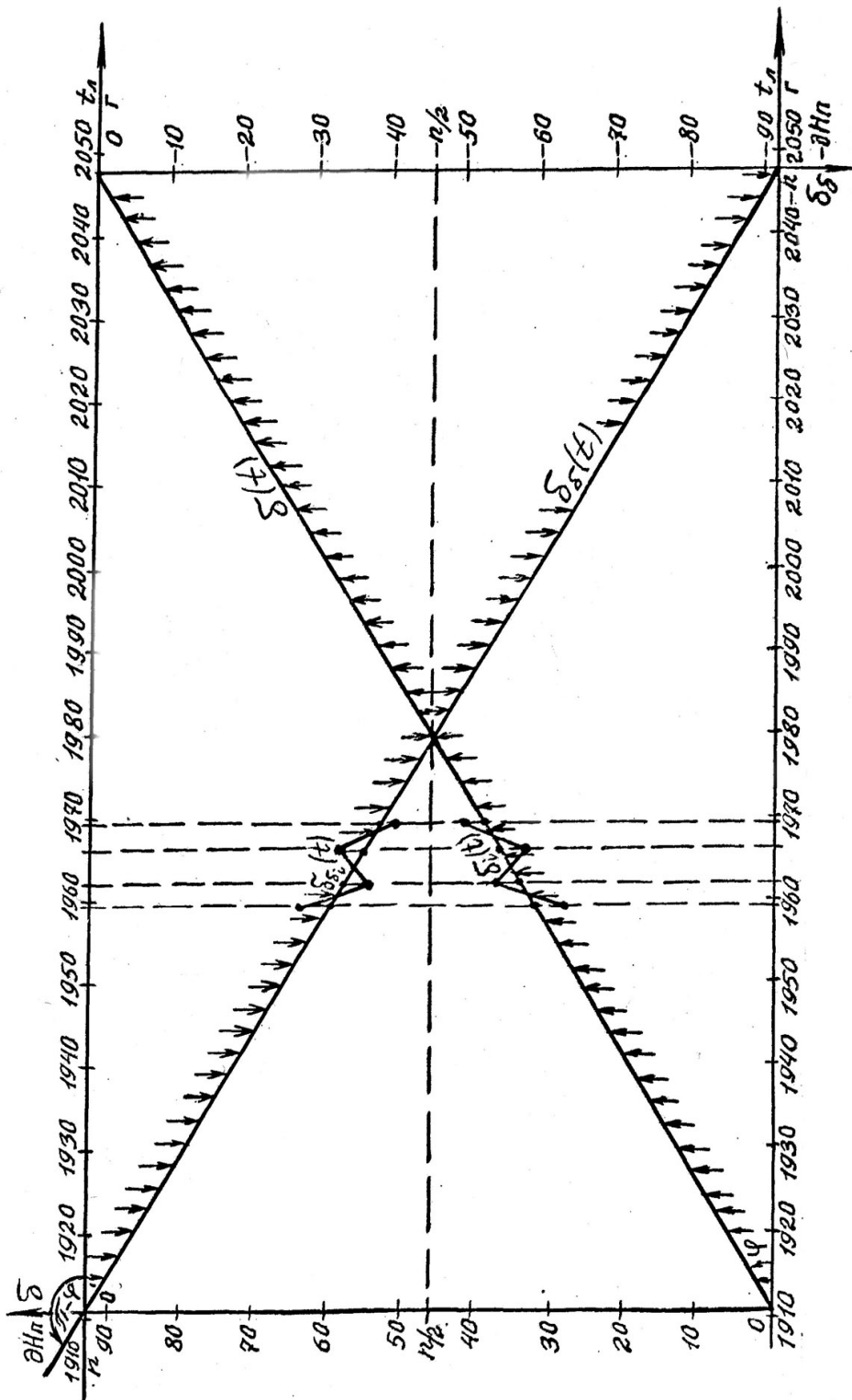


Рис. 5.3. Эволюция параметров взаимодействия геотопа КБ СУТ

- σ — параметр взаимодействия осонопа со средой; σ_6 — то же сотопома и осонопа; σ_1 — эмпирические проектные параметры взаимодействия осонопа со средой;
- σ_{61} — то же сотопома и осонопа; φ — угол наклона прямолнейных графиков к оси абсцисс; $t_{л}$ — время по летоисчислению.

Таблица 5.4

Динамика эмпирических проектных и соответствующих им расчетно-ретроспективных параметров взаимодействия гефотопы КБ СУГ

Обозначение типового проекта	Время развития динамического ряда t_i , г	Эмпирический и расчетный параметры взаимодействия			
		осонопа		сотопома	
		по типовому проекту b_i , дНп	ретроспективный, расчетный b , дНп	по типовому проекту b_{bi} , дНп	ретроспективный, расчетный b_b , дНп
1	2	3	4	5	6
ТП-1	48,546	28,691	32,720	-28,691	-32,720
ТП-2	50,823	37,727	34,255	-37,727	-34,255
905-12	55,275	33,937	37,255	-33,937	-37,255
905-12/70	58,646	41,556	39,527	-41,556	-39,527

Информация о нереализованной абсолютной неупорядоченности организованных систем-объектов неорганической природы принимается и интеллектуально перерабатывается высокоорганизованными биологическими системами, превращающими ее в целенаправленное взаимодействие с последними. Качественно это функциональное взаимодействие характеризуется отношением нереализованной неопределенности к реализованной и, как видно из пропорции (5.26) после смены средних и крайних ее членов местами, отношением неупорядоченности осонопа и его организации

$$h\sigma = H_n/H_p = P/R. \quad (5.35)$$

Подстановка в полученное уравнение формулы неупорядоченности гефотопы (5.25) и его организации (5.17) приводит к выражению отношения нереализованной неопределенности к реализованной

$$h\sigma = ae^{-ct}. \quad (5.36)$$

Поочередная подстановка в полученное выражение дополнительных данных начального условия $t_0 = 0$ и конечного $t_k = T$ и вместо последнего уравнения (5.29) показывает, что функция отношения одноименных физических величин $h\sigma(t)$ за время основного периода вариации динамического ряда T изменяется в пределах

$$a \geq h\sigma \geq B. \quad (5.37)$$

Аналогично действиям с функцией $h(t)$, выражение (5.31), прологарифмируем выражение параметров $h\sigma_k/h\sigma_0$ и подставим вместо них аналитическое выражение (5.36). Тогда получим

$$\ln h\sigma_k - \ln h\sigma_0 = -CT,$$

где $h\sigma_0$ — отношение одноименных физических величин, когда значение времени t_0 ;
 $h\sigma_k$ — то же, когда значение времени t_k .

Полученное уравнение можно переписать при текущем значении времени t и одновременно подставить в него выражение отношения одноименных физических величин $h\sigma_0$ (5.36)

$$-CT = \ln h\sigma_t - \ln a,$$

где $h\sigma$ — отношение одноименных физических величин, когда значение времени t .

Полученную линейную функцию минус Ct , выраженную уравнением прямой с угловым коэффициентом, проходящей через начало координат, обозначим буквой σ_σ и назовем параметром функционального взаимодействия сотопома и оsonoпа

$$\sigma_\sigma = -Ct. \quad (5.38)$$

После чего рассматриваемое выше уравнение можно представить как второе выражение параметра взаимодействия сотопома и оsonoпа

$$\sigma_\sigma = \ln h\sigma - \ln a. \quad (5.39)$$

Подстановка в полученное уравнение (5.39) дополнительных данных начального условия $t_0 = 0$ и конечного $t_k = T$, а затем константы (3.10), показывает, что функция $\sigma_\sigma(t)$ за время основного периода вариации динамического ряда T изменяется в пределах

$$0 \geq \sigma_\sigma \geq -п. \quad (5.40)$$

После подстановки численного значения константы основного периода вариации $п$ из выражения (5.34), выраженного в децинеперах, получаем

$$0 \geq \bar{\sigma}_\sigma \geq -91,902 \text{дНп}.$$

Из сопоставления аналитических выражений параметров функционального взаимодействия осонопа с внешней средой σ (5.32) и сотопома с осонопом σ_σ (5.38), а также графиков их функций $\sigma(t)$ и $\sigma_\sigma(t)$ (рис. 5.3) видно, что они имеют противоположные знаки и сумма функций этих двух параметров при одном и том же значении времени равна нулю

$$\bar{\sigma}(t) + \bar{\sigma}_\sigma(t) = 0$$

Это показывает то, что в произведенном выше первичном анализе необходимо учитывать абсолютное значение измеряемой величины параметров σ и σ_σ .

Расчетно ретроспективные и перспективные параметры взаимодействия сотопома и осонопа кустовых баз сжиженных газов σ_σ в функции времени развития динамического ряда t , рассчитанные аналитически по формуле (5.38), представлены в табл. 5.3.

По ним на рис. 5.3 построен график функции $\sigma_\sigma(t)$, представляющий собой прямую линию. Эмпирические проектные значения параметра взаимодействия сотопома и осонопа кустовых баз $\sigma_{\sigma i}$, рассчитанные аналитически по формулам (5.35) и (5.39) и точечным данным табл. 2.6, и соответствующие им расчетные ретроспективные параметры σ_σ , полученные из выражения (5.38), приведены в табл. 5.4 и показаны графиками на рис. 5.3.

5.5. Взаимосвязь эмпирики и аналитики осонопа

Флуктуация организованных систем-объектов физической природы [12] как и мутации в живой, дают возможность этим системам-объектам адекватно отвечать на изменяющиеся условия окружающей среды и одновременно успешно выдерживать жесткие требования естественного отбора.

Среди биофизиков бытует мнение, что организованная природа создавалась как бы наспех из подручного материала. Это мнение можно конкретизировать так. Организованная природа создавалась из подручного материала с возможно получаемым конкретным результатом.

Качественно осоноп характеризуется своей организацией R , количественно самоуправляемостью M и контролируемостью Φ , осуществляемой человеческим фактором. В свою очередь самоуправляемость системы-объекта организованной физической природы M определяется количеством параметра автоматического управления I_y , а контролируемость Φ количеством параметров автоматического контроля I_k . То есть

$$M = I_y, \quad \Phi = I_k, \quad (5.41)$$

где M — самоуправляемость системы-объекта физической природы;
 Φ — контролируруемость системы-объекта физической природы.

При этом хаотичность технологической системы оsonoпа S характеризуется ее неустойчивостью, которая в свою очередь определяется количеством неустойчивых производственных параметров

$$S = \Phi + M, \quad (5.42)$$

где S — хаотичность системы-объекта физической природы.

Четкое функционирование самоуправляемости системы-объекта организованной физической природы M и адекватная производственная реакция человеческого фактора на контролируемость ее Φ гарантируют оптимальное и безаварийное протекание технологических процессов оsonoпа.

Как видно из рис. 107—112 и 118 приложения, представленные на графиках прогностические S -образные кривые отвечают всем трем условиям подраздела 3.3. Но, точка перегиба каждой из этих кривых характеризуется своим строго определенным значением величины измеряемого параметра y_w от предельного значения параметра K . Так например, в точке перегиба логистической кривой с центральной симметрией (рис. 107 приложения) величина параметра y_w равна $K/2$.

Следовательно, величина параметра y_w в точке перегиба кривой семейства S -образных характеризует свою строго определенную кривую, что при эмпирическом выборе прогностической кривой и соответствующей ей функции является важным дополнительным фактором.

Из рис. 102—118 приложения видно, что другие параметры прогностических кривых также являются важным фактором при выборе своей наиболее достоверной кривой. Например, на начальной стадии прогнозирования эмпирическая статистика исходных параметров организации оsonoпа R

$$\begin{aligned} R_{\min} &= 0 \text{ при } t = -\infty, \\ R_{\max} &= 1 \text{ при } t = \infty \end{aligned} \quad (5.43)$$

показывает, что этим требованиям отвечает центрально-симметричная логистическая кривая (рис. 107 приложения), которая при дальнейшем прогнозировании предполагает использование способа В. Гуве.

Составленные автором характеристики прогностических кривых оsonoпа сведены в единую таблицу 2 приложения, что дает возможность наглядно

и оперативно использовать их при анализе исходных эмпирических данных. Совместный анализ эмпирических данных и характеристик кривых может также показать на то, какие еще дополнительно возможные исходные данные могут быть представлены для более достоверного подбора прогнозируемой кривой и соответствующей ей аналитической функции.

Эмпирическое определение с помощью характеристик прогностических кривых табл. 1.2 приложения наиболее достоверной прогнозируемой кривой, которое может быть проведено в сочетании с физическим моделированием развития прогнозируемого процесса на специально подобранных реакциях химической кинетики, является шагом вперед в переходе от интуитивного прогнозирования к научно-технически обоснованному.

Качественные технико-экономические преимущества количества технологических автоматизированных параметров производств I_y перед количеством параметров контроля I_k определяют во времени больший относительный прирост первого по сравнению с относительным приростом количества контролируемых параметров, так называемый принцип «опережающего роста».

Из рис. 4.3 наглядно видно, что производная по времени количества автоматизированных параметров I'_y больше производной количества параметров контроля I'_k

$$dI_y/dt > dI_k/dt. \quad (5.44)$$

Для наглядного сопоставительного анализа уравнение организации оснопа R (5.6) можно записать в эмпирических обозначениях параметров уравнений (5.41) и (5.42)

$$R = \frac{M}{S}, \quad (5.45)$$

где R — организация организованной системы-объекта;
 M — самоуправляемость организованной системы-объекта;
 S — хаотичность организованной системы-объекта.

Полученное уравнение (5.45) можно представить в развернутом виде

$$R = \frac{M}{\Phi_B + M},$$

где Φ — контролируемость организованной системы-объекта.

С учетом уравнения (5.44) из соотношения (5.45) видно, что относительный прирост числителя M больше прироста знаменателя дроби. последние

предопределяет монотонное возрастание прогнозируемой функции роста организации R на протяжении всего времени основного периода вариации динамического ряда T [37] (рис. 3.4).

В подразделе 5.2 проведены математические исследования названной монотонно возрастающей прогнозируемой функции роста организации промышленного объекта R (рис. 5.1), в результате которых получен один из видов формулы S-образной кривой (5.18). Полученная формула определяет собой выполнение прогнозируемой функцией $R(t)$ трех условий, которым должна удовлетворять логистическая кривая (подраздел 3.3).

Прогнозируемая S-образная кривая в последовательном своем развитии имеет на первом участке вогнутость, характеризующую экспоненциальный рост прогнозируемого параметра. Выпуклость второго участка соответствует постепенному спаду темпов роста этого параметра.

Последовательный переход S-образной кривой от своей вогнутой части к выпуклой происходит через точку перегиба, которая отделяет экспоненциальный рост параметра от замедленного [38].

Анализируя эмпирическое выражение (5.45) и графика рис. 4.3, можно увидеть, что характерное изменение в последовательном росте соответствующей ему S-образной кривой, в сторону его замедления, начинает происходить при равенстве количества параметров автоматического управления I_y количеству параметров автоматического контроля I_k

$$I_y = I_k. \quad (5.46)$$

С этого момента в знаменателе рассматриваемой дроби (5.45) количественно начинает преобладать количество параметров автоматического управления I_y , относительный рост которого, как отмечалось выше, происходит более интенсивно по сравнению с относительным ростом количества параметров автоматического контроля I_k . Соответственно, знаменатель дроби начинает расти быстрее, а рост дроби в целом замедляется.

В названный момент рост организации R перешел с вогнутого экспоненциального участка кривой через точку перегиба ее на выпуклый, соответствующий спаду роста.

Из анализируемого эмпирического уравнения (5.45) также видно, что организация оснопа в точке перегиба кривой R_w (при $I_y = I_k$) равна половине параметра K

$$R_w = \frac{K}{2}, \quad (5.47)$$

где R_w — организация оснопа в точке перегиба кривой;
 K — предельное значение параметра R_{\max} .

Из анализа прогностических кривых приложения (рис. 102—118) видно, что центрально-симметричная логистическая кривая (рис.107) имеет в точке своего перегиба величину измеряемого параметра y_w , равную половине предельного значения K

$$y_w = \frac{K}{2}, \quad (5.48)$$

где y_w — измеряемый параметр в точке перегиба кривой;
 K — предельное значение параметра y_{\max} .

Сопоставляя эмпирически получено уравнение (5.47) с аналитическим (5.48), можно увидеть, что в конкретной точке, которой в данном случае является точка перегиба кривой, эмпирическая величина параметра R_w , соответственно, равна его аналитической величине

$$R_w = y_w. \quad (5.49)$$

Вторая координата точки перегиба кривой t_w (абсцисса) может быть определена подстановкой эмпирически полученной величины организации оснопа R_w (5.47) в выражение времени развития динамического ряда t (3.22). После соответствующих преобразований, с учетом позже принятых обозначений параметров прогностических кривых, получаем уравнение времени t_w

$$t_w = \frac{1}{C} \ln b,$$

которое соответствует времени точки перегиба центрально-симметричной логистической кривой с центром симметрии (R_w, t_w) (рис. 107 приложения).

Из рассмотренных прогностических кривых приложения (рис. 102—118) видно, что запаздывающая логистическая кривая (рис. 108) в точке своего перегиба при $\alpha > 1$ также имеет величину измеряемого параметра y_w , равную

$$y_w = \frac{K}{2}.$$

Однако прогностическая запаздывающая логистическая кривая не удовлетворяет исходным условиям роста организации оснопа R (5.43), поэтому не может быть использована в нашем конкретном прогнозировании.

Следовательно, с учетом ранее полученной формулы (5.18) можно достоверно утверждать, что прогностическая центрально-симметричная логи-

стическая кривая (рис. 107 приложения) может быть использована при прогнозировании роста организации кустовых баз сжиженных углеводородных газов $R(t)$.

Теперь можно сформулировать необходимые и достаточные условия, которым должна удовлетворять прогностическая логистическая кривая с центром симметрии:

- а) иметь точку перегиба;
- б) не содержать точек экстремума;
- в) иметь предел, к которому должна приближаться в бесконечности;
- г) иметь центр симметрии в точке перегиба.

Учитывая выше сказанное, ранее полученную формулу (5.18) и общепринятые обозначения параметров кривой (табл. 1 приложения), формулу роста организации кустовых баз сжиженных углеводородных газов R можно записать в следующем виде:

$$R = \frac{K}{1 + be^{-ct}} \quad (5.51)$$

где K — предельное значение параметра R_w ;

b — параметр кривой, равный параметру α (5.18).

$$b = \alpha \quad (5.52)$$

Из эмпирического выражения организации оснопа R (5.45), определяемого соотношением количеств параметров автоматического управления I_y и автоматического контроля I_k (5.41), можно увидеть, что ее кривая имеет начальное значение, равное 0, при t , равном практически минус бесконечности. Достигает кривая своего предельного значения K при t , равном практически плюс бесконечности.

Это показывает на необходимость использования понятия основного периода вариации динамического ряда T (3.8), которое реализовано в подобранной прогностической центрально-симметричной логистической кривой (рис. 107 приложения).

Из названного выражения (3.8) и дополнительных данных начального условия (время $t = t_0 = 0$) видно, что началом отсчета времени основного периода вариации динамического T является названной время t_0 , равное нулю. Следовательно, уравнение (3.8) можно записать так

$$T = t_k \quad (5.53)$$

После несложных преобразований из аналитического выражения функции роста организации оснопа R (5.51) получаем формулу времени развития основного периода вариации динамического ряда t

$$t = \frac{1}{C} \ln \frac{bR}{K - R}. \quad (5.54)$$

Выражение параметра кривой b можно получить из обобщенной прогностической логистической функции (5.51) с последующей подстановкой в него дополнительных данных начального условия $t = t_0 = 0$ и $R = R_0 = 0,01$

$$b = \frac{K}{R_0} - 1. \quad (5.55)$$

Количественная величина параметра b при этом равна 99

$$b = 99. \quad (5.56)$$

Выражение начального значения организации R_0 можно получить из уравнения параметра кривой b (5.55)

$$R_0 = \frac{K}{1 + b}, \quad (5.57)$$

которое согласуется с выражением, представленным на рис. 107 приложения.

Зная количественную величину параметра кривой b (5.56), с учетом дополнительных данных конечного условия $t = t_k = T$ и $R = R_k = 0,99K$ (3.8) можно составить уравнение параметра b с входящим в его состав конечным параметром R_k

$$b = \frac{R_k}{K - R_k}$$

Из вновь выраженного уравнения параметра b можно получить искомое выражение величины организации оснопа в конечной точке кривой R_k

$$R_k = \frac{bK}{1 + b} \quad (5.58)$$

и, соответственно, полученный параметр R_k представить в табл. 2 приложения.

С учетом уравнения (5.53), дополнительных данных конечного условия $t = t_k$ и $R = R_k$ по формуле времени (5.54) можно получить выражение основного периода вариации динамического ряда T

$$T = \frac{1}{C} \ln \frac{bR_k}{K - R_k}. \quad (5.59)$$

После подстановки в полученное выражение (5.59) конечного значения организации осинопа R_k (5.58) и соответствующих преобразований получим формулу основного периода вариации динамического ряда T организации кустовых баз сжиженных углеводородных газов

$$T = \frac{2}{C} \ln b. \quad (5.60)$$

Если в формуле (5.25) обозначить предельно возможное значение измеряемого параметра буквой K , как это сделано в таблице прогностических функций (табл. 1 приложения), то получим аналитическую прогностическую функцию делогистической кривой неупорядоченности кустовых баз P в виде

$$P = \frac{K}{1 + b^{-1}e^{Ct}}. \quad (5.61)$$

Взаимосвязь неупорядоченности осинопа кустовых баз P и его организации R на протяжении всего времени основного периода вариации динамического ряда T графически представлена на рис. 5.4.

Как видно из рис. 5.4, графически делогистическая кривая неупорядоченности P по своей форме представляет собой центрально-симметричную логистическую кривую организации R , повернутую на 180° вокруг горизонтальной оси симметрии l . Следовательно, центрально-симметричная делогистическая кривая функции $P(t)$, как и центрально-симметричная логистическая кривая функции $R(t)$, имеет центр симметрии (P_w/t_w) [39], который является общим для них.

На рис. 5.4 видно, что график функции неупорядоченности осинопа P/t (5.61) дополняет график функции организации $R(t)$ (5.51) до их общей суммы $E[P/t, R/t]$, ограниченной общей прямой этой суммы

$$\sum [P(t), R(t)] = \frac{K}{1 + b^{-1}e^{Ct}} + \frac{K}{1 + be^{-Ct}}, \quad (5.62)$$

где $E[P/t, R/t]$ — сумма параметров функций P/t и R/t .

После соответствующих преобразований, произведенных в выражении (5.62), естественно, при одном и том же значении времени t , получим значение суммы функций $E[P/t, R/t]$, равное величине параметра K

$$E[P(t), R(t)] = K, \quad (5.63)$$

где K — предельное значение параметров P_{\max} и R_{\max} .

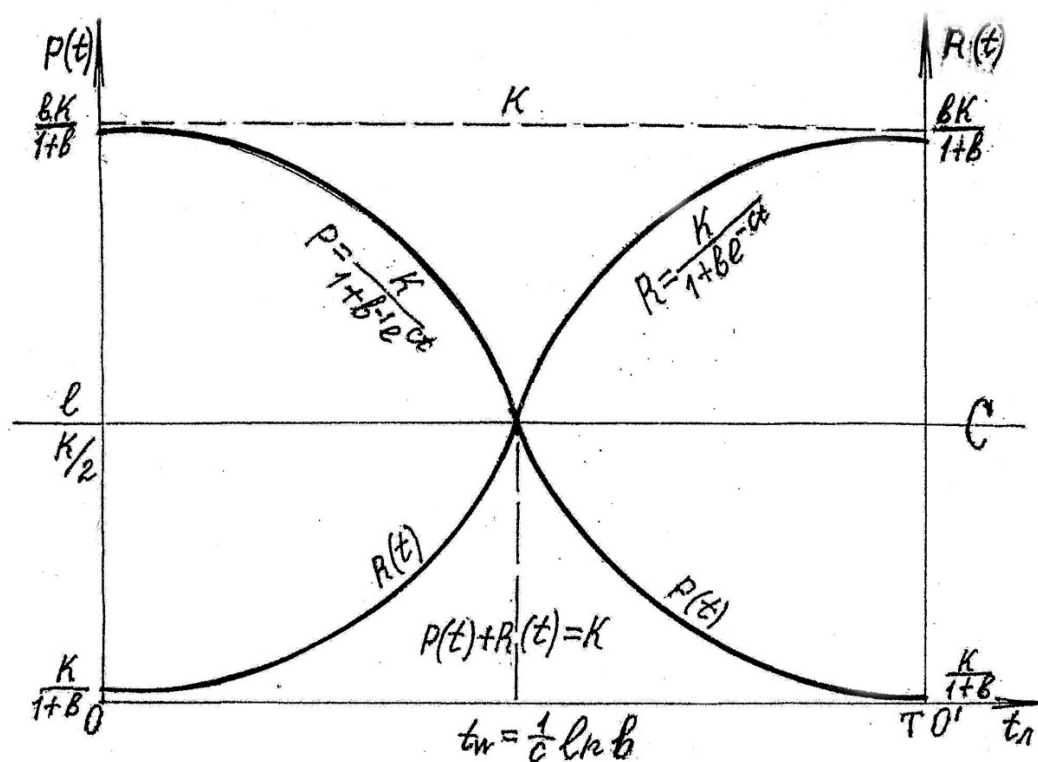


Рис. 5.4. Взаимосвязь неупорядоченности оснопоа P и его организации R .

$P(t)$, $R(t)$ — функции неупорядоченности и организации оснопоа; $t_{л}$ — время по летоисчислению; T — основной период вариации динамического ряда; t_w — время точки перегиба кривых; K — предельное значение параметров P_{\max} , R_{\max} ; l — ось симметрии кривых; b , C — параметры кривых; $*K$ — также коэффициент растяжения (сжатия) графика по оси ординат [39] и коэффициент обратной пропорциональности.

В нормализованном виде полученное аналитическое уравнение (5.63) можно представить так:

$$P(t) + R(t) = K, \quad (5.64)$$

где $P(t)$ — функция неупорядоченности P ;
 $R(t)$ — функция организации R .

Из рис. 5.4 видно, что суммирование функции $P(t)$ и $R(t)$ (5.62) позволяет использовать комбинированный метод одновременного определения их общего физического предела эволюций K (5.63), который осуществляется в областях определения функций $P(t)$ $[0;T]$ и $R(t)$ $[0;T]$ (табл. 2 приложения). Последнее обстоятельство переносит данное прогнозирование в зону обоснованных расчетов.

Выражение (5.8) с учетом уравнений (5.41), (5.42) представляет собой по сути дела эмпирическую формулу неупорядоченности кустовых баз сжиженных углеводородных газов P

$$P = \frac{\Phi}{S}, \quad (5.65)$$

где Φ — контролируемость осонопа;
 S — хаотичность осонопа.

Детализированная уравнением (5.42) эмпирическая формула неупорядоченности кустовых баз (5.65) принимает вид

$$P = \frac{\Phi}{\Phi + M}, \quad (5.66)$$

где M — самоуправляемость осонопа.

После суммирования выражений неупорядоченности P (5.66) и организации осонопа R (5.45) получаем эмпирическое выражение суммы параметров $E(P, R)$

$$\sum(P, R) = \frac{\Phi}{\Phi + M} + \frac{M}{\Phi + M}, \quad (5.67)$$

где $E(P, R)$ — сумма эмпирических параметров P и R .

При рассмотрении выражения (5.67) наглядно видно, что сумма параметров P и R равна единице

$$E(P, R) = 1. \quad (5.68)$$

Эмпирическое уравнение (5.68) можно записать уравнением в нормализованном виде

$$P + R = 1, \quad (5.69)$$

где P — эмпирическое значение параметра неупорядоченности;
 R — эмпирическое значение параметра организации.

Из рис. 5.2 и 3.4 видно, что первоисходной статистической основой произведенного прогнозирования являются эмпирические статистические параметры оснопа P_i и R_i , попарная сумма которых также равна единице

$$P_i + R_i = 1, \quad (5.70)$$

где P_i — статистический параметр неупорядоченности P ;
 R_i — статистический параметр организации R .

Уравнение (5.70) можно представить в виде суммы параметров

$$E(P_i, R_i) = 1, \quad (5.71)$$

где $E(P_i, R_i)$ — попарная сумма статистических параметров P_i и R_i .

Из рис. 5.4 и сопоставления суммы функций (5.63), равной конкретно не выраженному параметру K , и эмпирически полученных сумм (5.68) и (5.71), конкретно равных единице, видно, что параметр K конкретизируется и также равен единице

$$K = 1, \quad (5.72)$$

где K — физический предел эволюции параметров P и R .

Из выше приведенного анализа взаимосвязи эмпирики и аналитики оснопа, выраженных соответственно уравнениями (5.38, 5.71) и (5.63), видно, что конкретика больше просматривается в первой, а динамика эволюции во

второй, чем они в прогностике уточняют и дополняют друг друга. Примером тому может служить достоверное эмпирическое определение значения физического предела эволюций K (5.68) и (5.71).

Комбинированный метод одновременного определения общего физического предела двух эволюций K , там где он может быть применен, позволяет достоверно определять конкретную величину предела на ранней стадии прогнозирования.

Из графика рис. 5.2 видно, что делогистическая функция кустовых баз P монотонно убывает [37]. Время ее основного периода вариации динамического ряда T , в течение которого неупорядоченность оснопа убывает от 99 до 1 % своего предельного значения, равно

$$T = t_k - t_0, \quad (5.73)$$

где t_0 — время, соответствующее величине неупорядоченности 0,99 K ;
 t_k — время, соответствующее величине неупорядоченности 0,01 K .

Из выражения (5.73) и дополнительных данных начального условия (время $t = t_0 = 0$) видно, что началом отсчета времени основного периода вариации динамического ряда T неупорядоченности P , как и для организации R (рис. 5.4), является время t_0 , равное нулю. Следовательно, ранее полученное для функции $R(t)$ уравнение (5.53)

$$T = t_k$$

является полноправным уравнением и для функции $P(t)$.

После несложных преобразований из аналитического выражения убывающей функции неупорядоченности оснопа P (5.61) получим формулу времени основного периода вариации динамического ряда t

$$t = \frac{1}{C} \ln b \frac{K - P}{P}. \quad (5.74)$$

Выражение параметра кривой b можно получить из прогностической делогистической функции (5.61) с последующей подстановкой в него дополнительных данных начального условия $t = t_0 = 0$ и $P = P_0 = 0,99K$

$$b = \frac{P_0}{K - P_0}. \quad (5.75)$$

Количественная величина параметра b , как и в уравнении (5.56), равна 99

$$b = 99.$$

Выражение начального значения неупорядоченности осонапа P_0 можно получить из уравнения параметра кривой b (5.75)

$$P_0 = \frac{bK}{1+b} \quad (5.76)$$

и сделать соответствующее заполнение табл. 2 приложения.

Зная количественную величину параметра кривой b (5.56), с учетом дополнительных данных конечного условия $t = t_k = T$ и $P = P_k = 0,01K$ (5.73) можно составить уравнение параметра b с входящим в его состав конечным параметром P_k

$$b = \frac{K}{P_k} - 1.$$

Из вновь выраженного уравнения параметра b можно получить искомое выражение величины неупорядоченности осонапа в конечной точке кривой P_k

$$P_k = \frac{K}{1+b} \quad (5.77)$$

и, соответственно, полученный параметр P_k представить в табл. 2 приложения.

С учетом уравнения (5.53), дополнительных данных конечного условия $t = t_k$ и $P = P_k$ по формуле времени (5.74) можно получить выражение основного периода вариации динамического ряда T неупорядоченность осонапа P

$$T = \frac{1}{C} \ln b \frac{K - P_k}{P_k} \quad (5.78)$$

После подстановки в полученное выражение (5.78) конечного значения неупорядоченности осонапа P_k (5.77) и соответствующих преобразований получим формулу основного периода вариации динамического ряда T неупорядоченности кустовых баз

$$T = \frac{2}{C} \ln b,$$

которая представляется общей с ранее полученной формулой (5.60).

Если в уравнении (5.64) за изменяющийся аргумент принять растущую во времени организацию осонопа R (5.4), то получим приведенную к линейной функции неупорядоченности осонопа $P(R)$, которую можно записать в виде

$$P(R) = K - R, \quad (5.79)$$

где $P(R)$ — приведенная к линейной функции неупорядоченности;
 R — аргумент функции неупорядоченности;
 K — предельное значение параметра P_{\max} .

Из полученного уравнения (5.79) видно, что функция неупорядоченности осонопа $P(R)$ представляет собой совокупную линейную функцию [39], которую в обозначениях параметров кривой табл. 1 и рис. 102 приложения можно представить в общем виде

$$P(R) = \alpha + bR, \quad (5.80)$$

где $P(R)$ — совокупная линейная функция;
 α — элементарная постоянная функция $P_1(R)$

$$P_1(R) = \alpha = K; \quad (5.81)$$

bR — элементарная функция прямой пропорциональности $P_2(R)$

$$P_2(R) = bR; \quad (5.82)$$

b — коэффициент пропорциональности.

Из сопоставления уравнения (5.80) с предшествующим (5.79) видно, что коэффициент пропорциональности b равен минус единице

$$b = -1. \quad (5.83)$$

Уравнение (5.83) показывает, что коэффициент пропорциональности $b < 0$. Следовательно, элементарная функция прямой пропорциональности (5.82) монотонно убывает на всей числовой оси.

С учетом Л 39 из рис. 5.5 видно, что с графиком элементарной постоянной функции $P_1(R)$ является прямая с постоянной ординатой $\alpha (b=0)$, проходящая через точку $[0; K]$ на оси ординат и, соответственно, параллельная оси абсцисс.

Графиком элементарной функции прямой пропорциональности $P_2(R)$ является прямая с уменьшающейся ординатой ($b < 0$), проходящей через начало координат и образующая с осью абсцисс угол α ($\alpha < 1$), тангенс которого равен аналитической постоянной величине b

$$\operatorname{tg} \alpha = b, \quad (5.84)$$

где $\operatorname{tg} \alpha$ — угловой коэффициент прямой;
 α — угол между прямой и лучом оси абсцисс;
 b — коэффициент пропорциональности.

Равенство (5.84) показывает, почему коэффициент пропорциональности b называется также угловым коэффициентом [40].

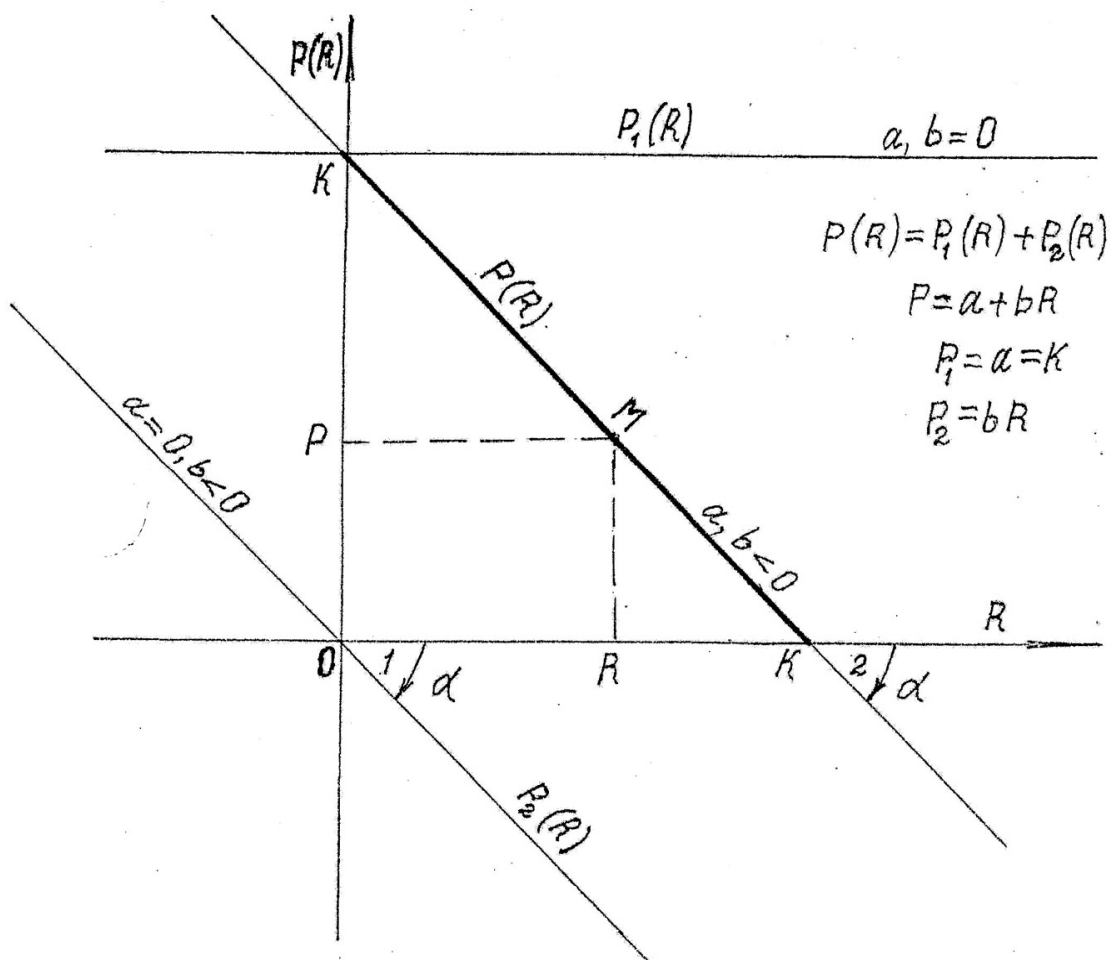


Рис. 5.5. Совокупность функций неупорядоченности оснопа

Из сопоставления уравнений (5.84) и (5.83) видно, что угловой коэффициент $\operatorname{tg}\alpha$ равен минус единице

$$\operatorname{tg}\alpha = -1. \quad (5.85)$$

В таблице значений тригонометрических функций [39] можно увидеть, что угол тангенса, равного единице (5.85), равен 45°

$$\alpha = 45^\circ. \quad (5.86)$$

Согласно Л 39 тригонометрическая функция $\operatorname{tg}\alpha$ — нечетная, при этом выполняется равенство

$$\operatorname{tg}(-\alpha) = -\operatorname{tg}\alpha. \quad (5.87)$$

Следовательно, с учетом уравнений (5.85) и (5.86) уравнение (5.87) можно переписать в конкретном виде

$$-\alpha = -45^\circ, \quad (5.88)$$

где 45° — числовое значение отрицательного угла α .

При построении графика элементарной функции прямой пропорциональности $P_2(R)$ (рис. 5.5) по Л 39 поворот начального радиуса около точки 0 положительного луча оси абсцисс на отрицательный угол α (5.88) осуществляется в направлении по часовой стрелке.

Совокупная линейная функция неупорядоченности $P(R)$ (5.80) представляет собой по сути дела сумму двух элементарных функций: постоянной $P_1(R)$ (5.81) и убывающей прямой пропорциональности $P_2(R)$ (5.82, 5.83), что можно проследить на рис. 5.5

$$P(R) = P_1(R) + P_2(R), \quad (5.89)$$

где $P(R)$ — совокупная линейная функция неупорядоченности;

$P_1(R)$ — элементарная постоянная функция;

$P_2(R)$ — элементарная функция прямой пропорциональности.

Графиком убывающей совокупности линейной функции $P(R)$ является прямая с уменьшающейся ординатой ($b < 0$), параллельная графику функции прямой пропорциональности $P_2(R)$ и образующая с положительным лучом оси абсцисс отрицательный угол α ($\angle 2$) (5.88). По Л 40 при пересечении двух

параллельных прямых третьей прямой образуются соответственные углы, парой которых являются $\angle 1$ и $\angle 2$, равные между собой

$$\angle 2 = \angle 1$$

Из выражения (5.89) и его графиков (рис. 5.5) видно, что область определения совокупной линейной функции $P(R)$ $[0;K]$, а область значений названной функции $P(R)$ $[K;0]$.

Из совместных графиков рис. 5.5 наглядно видно, каким образом элементарные функции совокупности функций неупорядоченности оснопа (5.80): постоянной функции $P_1(R)$ и функции прямой пропорциональности $P_2(R)$ определяют характер, вид и величину общей для них приведенной к линейной функции $P(R)$. Следовательно, изменения характеристик названных составляющих функций в конечном счете формулируют саму совокупность функций, то есть приведенную к линейной функцию неупорядоченности $P(R)$ и, соответственно, ее график.

Таким образом, взаимосвязь элементарных функций постоянной $P_1(R)$ и прямой пропорциональности $P_2(R)$ (5.89) характеризуют качественную и количественную стороны совокупной линейной функции неупорядоченности оснопа $P(R)$.

В табл. 2 приложения представлены характеристики прогностических кривых оснопа, среди которых представлена и характеристика приведенной к линейной прогностической функции $P(R)$.

В приведенном выше анализе замена аргумента времени t аргументом роста организации оснопа R дает возможность получить непосредственную зависимость эволюции неупорядоченности оснопа P от роста его организации. При этом сохраняется достоверность ранее установленных физических закономерных взаимосвязей эмпирики и аналитики. А полученное при этом выражение приведенное к линейной функции $P(R)$ (5.80) представляет собой простое уравнение, графиком которого является наиболее наглядная и практически удобная при сопоставительном анализе прямая линия (рис. 5.5).

АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ МОНОГРАФИИ

1. При общем анализе всей монографии из выражения (3.14) видно, что величина параметра крутизны аналитически построенных прогностических кривых оснопа (табл. 2 приложения) определяется в результате математических операций с единичными эмпирическими измерениями параметра организации оснопа $R_i(y_{Ai})$ в динамике времени $t_i(\alpha_i)$ (табл. 3.1). Это показывает на непосредственную физическую связь практической эмпирики, определяемой выражением (5.45), с теоретической аналитикой, характеризуемой формулой (5.51).

2. В частности, функция обратной пропорциональности основного периода вариации динамического ряда T (3.10), аргументом которой является названный параметр крутизны кривой C , подтверждает сказанное

$$T = \frac{n}{C},$$

где T — функция обратной пропорциональности;
 C — независимая переменная;
 n — коэффициент обратной пропорциональности.

3. Произведенная при этом минимизация наиболее распространенным методом наименьших квадратов единично измеряемых эмпирических параметров организации оснопа R_i порождает собой аналитические параметры организации R , которые после их расчета являются основой аналитики организованного промышленного объекта. Из сказанного видно, что аналитика организации организованного объекта R строится на основе его эмпирики. Уже этим определяется их взаимосвязь.

4. Количественное сходство между единично измеряемыми эмпирическими параметрами организации оснопа R_i и ее аналитически рассчитанными параметрами R позволило в конечном счете выбрать и построить нашу конкретно достоверную прогностическую S -образную кривую роста, а именно кривую центрально-симметричной логистической функции $R(t)$.

5. Достоверность проведенного математического исследования, в том числе выбора прогностической кривой, подтверждается равенством параметров организации: эмпирического R_w и аналитического y_w в контрольной точке — в точке перегиба S -образной выбранной кривой и конкретностью прогнозирования эволюции конкретного организованного объекта физической природы.

6. Выявленная при прогнозировании закономерная взаимосвязь названных эмпирических и аналитических параметров дала возможность с большей точностью и достоверностью спрогнозировать, в первую очередь, развитие

одного из основных параметров оснопа (параметра его организации R) во времени основного периода вариации динамического ряда T .

7. Названная взаимосвязь позволяет конкретизировать принимаемые решения, связанные с эволюцией организованных систем-объектов организованной природы, и подводит под них научно-технические и экономические обоснования. В ней эмпирика и аналитика переплетаются между собой и дополняют друг друга.

8. Проведенные в данной монографии исследования роста организации R и других параметров конкретного промышленного объекта и их конкретные результаты могут быть примером и своего рода рекомендациями в практической и теоретической прогностике.

6. ПРИЛОЖЕНИЯ

Применение закономерностей упорядочения

Основным практическим применением закономерностей упорядочения является прогнозирование развития осонапа, в частности характеризующего его параметра упорядочения σ (параметра функционального взаимодействия осонапа с внешней средой) (5.32). Конкретное прогнозирование развития организованной материи начинается со сбора и обработки имеющихся статистических данных этого развития за прошедшее время. Естественно, чем больше статистических данных и чем больший отрезок времени на оси координат они перекрывают, тем точнее должно быть прогнозирование.

Приведение аспекта оценки уровня автоматизации производственных процессов — названного параметра упорядочения к широко используемым в практике прогнозирования линейным формам связи обусловлено следующими причинами:

- явление роста параметра хорошо описывается этими формулами;
- линейные модели просты и требуют относительно меньшего объема вычислений, а методика их решения доступнее;
- графики линейных функций — прямые линии (рис. 5.3) наиболее наглядны и практически удобно используются при сопоставленном анализе.

Угловой коэффициент прямой линии C выражения параметра σ одновременно является параметром логистической кривой и вычисляется по формуле (3.14). Конкретные эмпирические значения времени развития динамического ряда t_i определяется из уравнения (3.20). Время начала основного периода вариации динамического ряда по летоисчислению $t_{ло}$ и угловой коэффициент C могут быть рассчитаны единовременно и долгое время использоваться в расчетах до возникновения необходимости их следующего уточнения.

Статистическое определение значений параметра упорядочения за прошедшие годы, необходимых для прогнозирования оптимальных значений его на проектируемых промышленных объектах в последующие годы, производится, чаще всего, по сохранившейся проектно-технической документации. При необходимости одновременно могут определяться, прогнозироваться и анализироваться значения оценки уровня автоматизации технологических процессов и составляющих ее частей:

- общего количества информации, необходимого для ведения производственных процессов на заданном техническом уровне;
- количества параметров автоматического контроля технологических процессов;
- количества параметров автоматического управления производственными процессами.

Технико-экономическая эффективность прогнозирования параметра упорядочения обуславливается устранением разброса величины параметра от

оптимального значения ее. Отклонения величины параметра упорядочения в сторону ее увеличения говорит о том, что затраты на средства автоматизации необоснованно завышены. А разброс значений в сторону их уменьшения говорит о том, что эффективность средств автоматизации не доиспользуется.

Определение общего количества информации, необходимого для ведения технологических процессов на заданном техническом уровне, и определение общей стоимости конкретных технических средств с этим количеством информации позволяют определить стоимость единицы информации позволяют определить стоимость единицы информации. Что, в свою очередь, позволяет проводить сопоставительный технико-экономический анализ.

Научные выкладки и обоснования в приведенной монографии позволяют осмыслить суть закономерностей упорядочения организованной неорганической материи. А произведенный в ней конкретный сбор и обработка исходных статистических данных и само прогнозирование необходимых параметров упорядочения одного из объектов газовой промышленности — кустовых баз сжиженных углов водородных газов служат своего рода примером в практическом использовании закономерностей упорядочения.

Методика, представленная в монографии с примером кустовых баз сжиженных газов, с одинаковым успехом может быть использована также на других объектах газовой и иных промышленности. При наличии большого количества исходных статистических данных расчетные операции из-за их трудоемкости желательно проводить на ЭВМ.

Принципы работы и, соответственно, сами технические средства автоматического контроля и управления, за редким исключением, являются общетехническими и с одинаковым успехом применяются в разных действующих технологиях и производственных процессах. Поэтому, для первоначального, менее точного практического сопоставительного анализа организации промышленных объектов других разных отраслей между собой с некоторым допущением может быть использована функция аспекта автоматизации $\sigma(t)$, просчитанная в монографии по типовым проектам кустовых баз сжиженных газов и представленная графиком на рис. 5.3.

Подсчет количества параметров контроля и автоматизации технологических процессов по проектной документации, в силу необходимости хорошо знать исследуемый и проектируемый объекты, желательно проводить проектировщикам данных объектов, для которых могут быть организованы занятия по освоению техники подсчета названных параметров.

Исходя из сказанного выше, становится очевидной целесообразность широкого практического применения закономерностей упорядочения основопа, отображенных прогнозированием развития параметров его в проектируемых промышленных объектах. Для ее осуществления необходима, в первую очередь, широкая и полная информированность специалистов, способных принять какое-либо участие в практическом использовании закономерностей упорядочения.

Таблица 1

Прогностические функции и соответствующие им функции роста

Обозначение функции	Функция	Функция абсолютного роста	Функция относительного роста	Функция эластичности
1	2	3	4	5
Линейная	$y = a + bt$	$\varphi(t) = b$	$w(t) = \frac{b}{a + bt}$	$\varepsilon(t) = \frac{b}{b + \frac{a}{t}}$
Параболическая	$y = a + bt + ct^2$	$\varphi(t) = b + 2ct$	$\omega(t) = \frac{b + 2ct}{a + bt + ct^2}$	$\varepsilon(t) = \frac{bt + 2ct^2}{a + bt + ct^2}$
Степенная	$y = at^b$	$\varphi(t) = abt^{b-1}$	$\omega(t) = \frac{bt^{b-1}}{t^b}$	$\varepsilon(t) = b$
Экспоненциальная	$y = a * e^t$	$\varphi(t) = a * e^t$	$\omega(t) = 1$	$\varepsilon(t) = t$
Простая модифицированная экспоненциальная	$y = K - ae^{-t}$	$\varphi(t) = ae^{-t}$	$\omega(t) = \frac{a}{Ke^t - a}$	$\varepsilon(t) = \frac{t}{\frac{K}{a}e^t - 1}$
Логистическая	$y = \frac{K}{1 + be^{-ct}}$	$\varphi(t) = \frac{Kcbe^{-ct}}{(1 + be^{-ct})^2}$	$\omega(t) = \frac{c}{\frac{1}{b}e^{ct} + 1}$	$\varepsilon(t) = \frac{c * t}{\frac{1}{b}e^{ct} + 1}$
Запаздывающая квазилогистическая	$y = \frac{K}{1 + \left(\frac{T_o}{t}\right)^n}$	$\varphi(t) = \frac{aK \frac{T_o^a}{t^{a-1}}}{\left(1 + \frac{T_o^a}{t^a}\right)^2}$	$\omega(t) = \frac{a \frac{T_o^{a-1}}{t^{a-1}}}{t^a + T_o^a}$	$\varepsilon(t) = \frac{aT_o^a}{t^a + T_o^a}$
63%-ная функция	$y = K - \frac{K}{\exp\left(\frac{t}{T_c}\right)^n}$	$\varphi(t) = \frac{K * n \frac{t^{n-1}}{T_c^n}}{\exp\frac{t^n}{T_c^n}}$	$\omega(t) = \frac{n * \frac{t^{n-1}}{T_c^n}}{\left[\exp\left(\frac{t}{T_c}\right)^n\right] - 1}$	$\varepsilon(t) = \frac{n * \left(\frac{t}{T_c}\right)}{\left[\exp\left(\frac{t}{T_c}\right)^n\right] - 1}$

1	2	3	4	5
Функция Гомпертца	$\log y = K - ae^{-t}$	$\varphi(t) = ac^{-tbk - ae^{-t}} \ln b$	$\omega(t) = \frac{a}{e^t}$	$\varepsilon(t) = \frac{at}{e^t}$
Функция Джонсона	$\log y = K - \frac{a}{b-1}$	$\varphi(t) = b^{k - \frac{a}{b+1}} (\ln b) \frac{a}{(b+t)^2}$	$\omega(t) = -\frac{a}{(b+t)^2}$	$\varepsilon(t) = \frac{at}{(b+t)^2}$
Квадратическая логистическая	$y = \left(\frac{K}{1 + be^{-ct}} \right)^2$	$\varphi(t) = \frac{2bck^2 e^{-ct}}{(1 + be^{-ct})^3}$	$\omega(t) = \frac{2bc}{Ke^{ct}}$	$\varepsilon(t) = \frac{2bct}{Ke^{ct}}$
Гиперболическая	$y = a + \frac{b}{c+t}$	$\varphi(t) = \frac{b}{(c+t)^2}$	$\omega(t) = \frac{b}{a(c+t)^2 + b(c+t)}$	$\varepsilon(t) = \frac{bt}{a(c+t)^2 + b(c+t)}$
Первая функция Торнквиста	$y = \frac{K * t}{t+a}$	$\varphi(t) = \frac{K * a}{(t+a)^2}$	$\omega(t) = \frac{a}{t^2 + ta}$	$\varepsilon(t) = \frac{a}{t+a}$
Вторая функция Торнквиста	$y = \frac{K(t+a)}{t+b}$	$\varphi(t) = \frac{Kb - Ka}{(t+b)^2}$	$\omega(t) = \frac{b-a}{t \left(t+a+b + \frac{ab}{t} \right)}$	$\varepsilon(t) = \frac{b-a}{t+a+b + \frac{ab}{t}}$
Экологическая	$y = ae^{-\omega^2(t-\tau)^2}$	$\varphi(t) = 2a\omega^4(t-\tau)^3 e^{-\omega^2(t-\tau)^2}$	$\omega(t) = -2\omega^4(t-\tau)^3$	$\varepsilon(t) = 2\omega^4(t-\tau)^3 t$
Комбинированная экспоненциально-степенная	$y = e^{at} * t^b$	$\varphi(t) = ae^{at} t^b + e^{at} b t^{b-1}$	$\omega(t) = a + b \frac{t^{b-1}}{t^b}$	$\varepsilon(t) = at + b$
Общая модифицированная экспоненциальная	$y = (a + br^t)^c$	$\varphi(t) = c(a + br^t)^{c-1} br^t (\log r)$	$\omega(t) = \frac{c(a + br^t)^{c-1} br^t (\log r)}{(a + br^t)^c}$	$\varepsilon(t) = \frac{ct(a + br^t)^{c-1} br^t (\log r)}{(a + br^t)^c}$

Прогностические функции и соответствующие им кривые

(Параметр t является целым числом, изменяющимся от 0 до ∞ , если иное прямо не оговаривается).

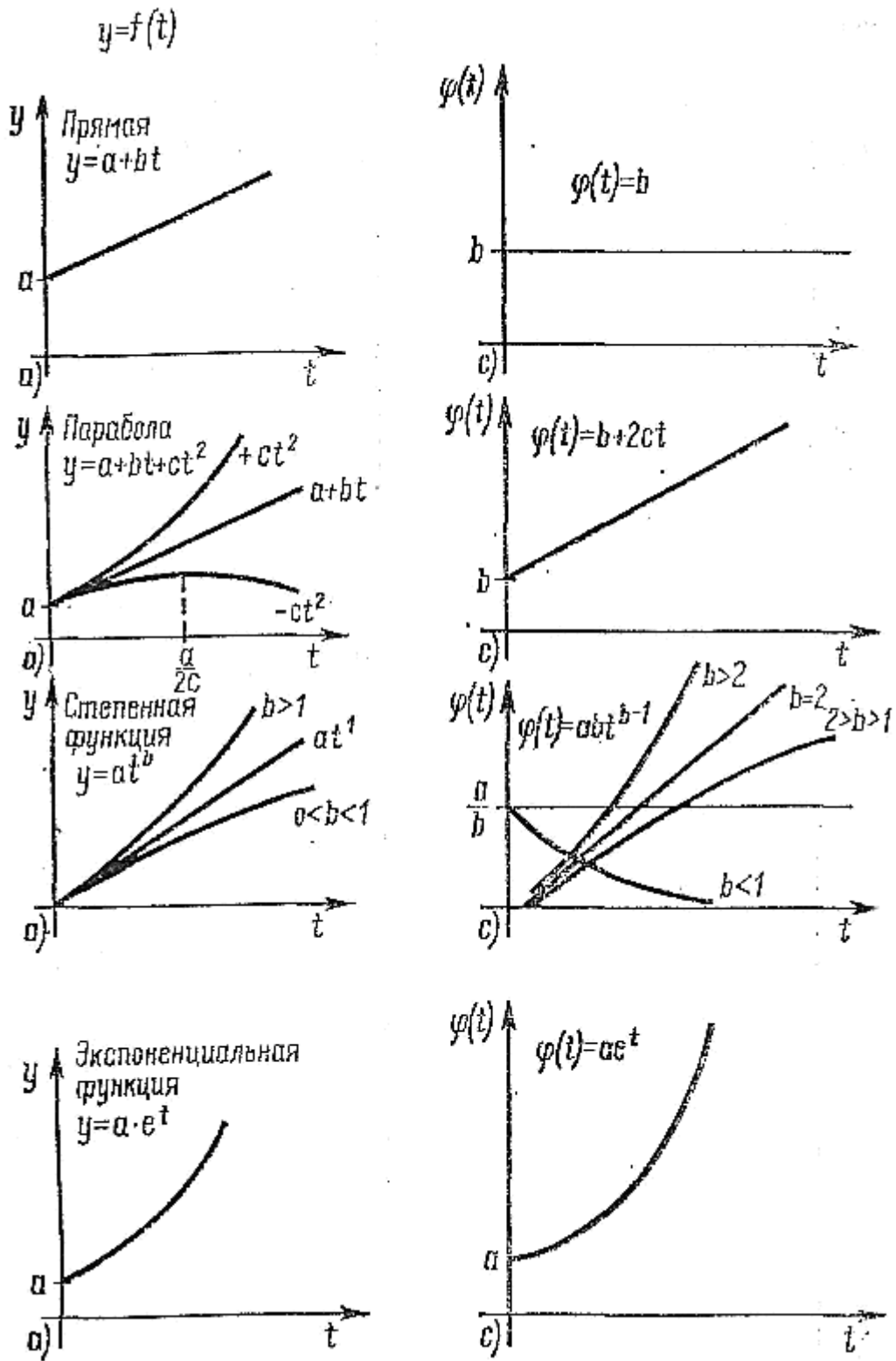


Рис. 102—105 (а, с)

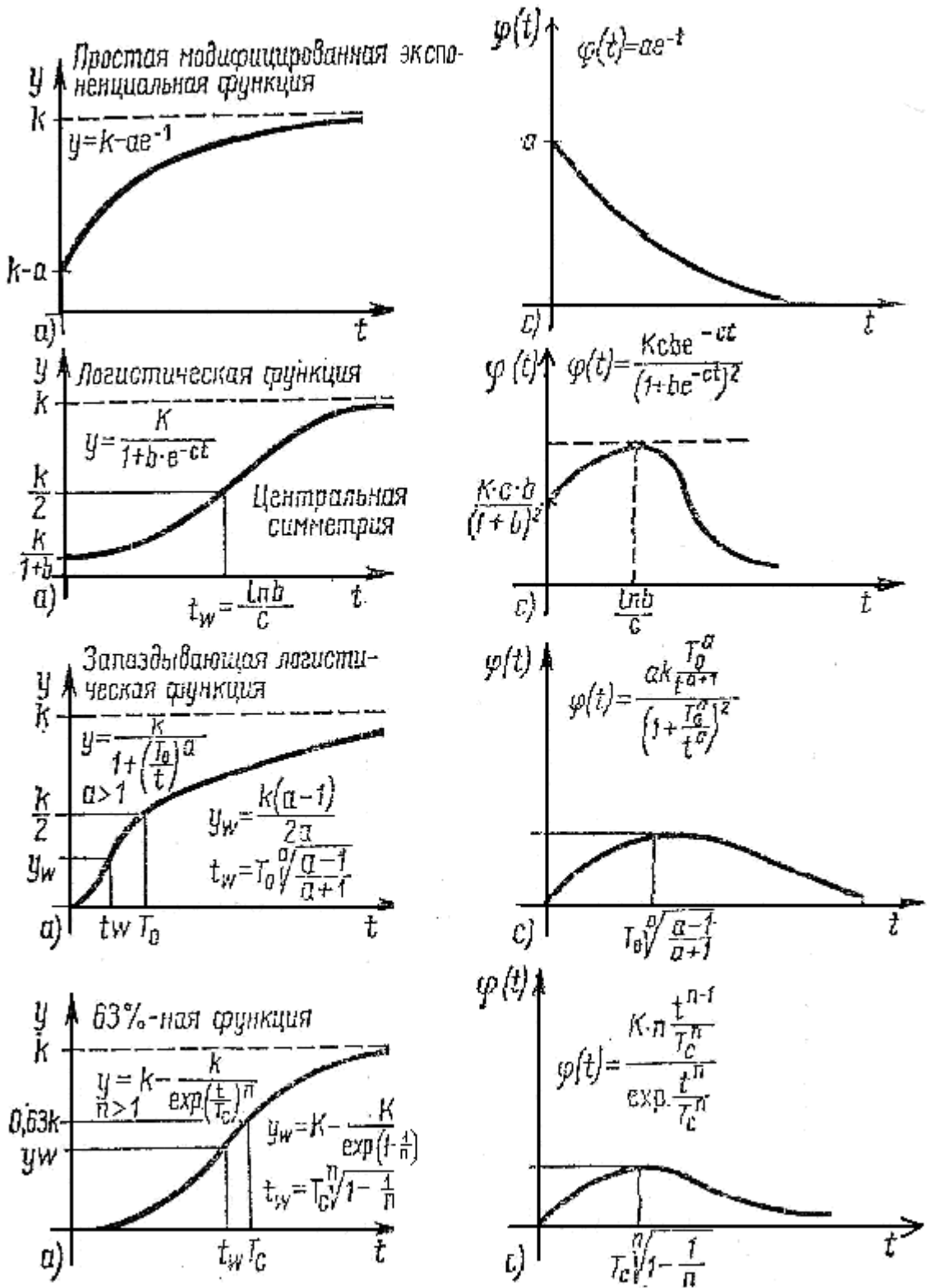


Рис. 106—109 (а, с)

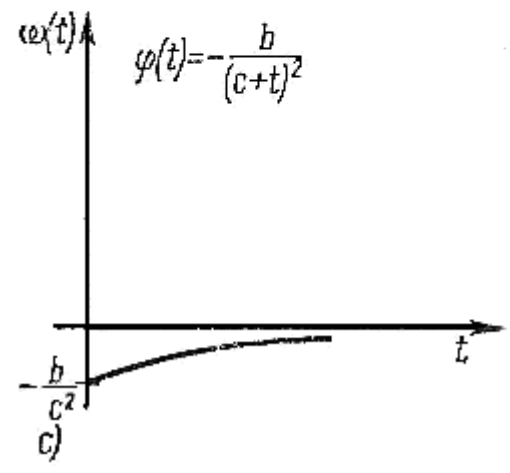
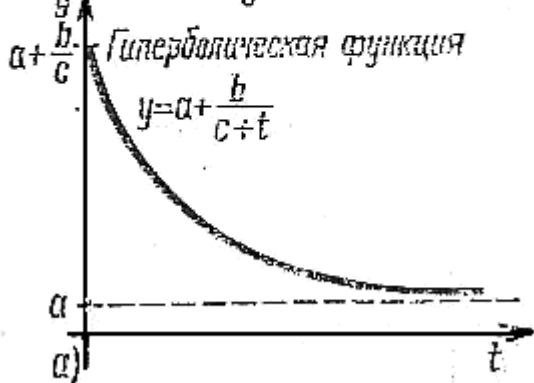
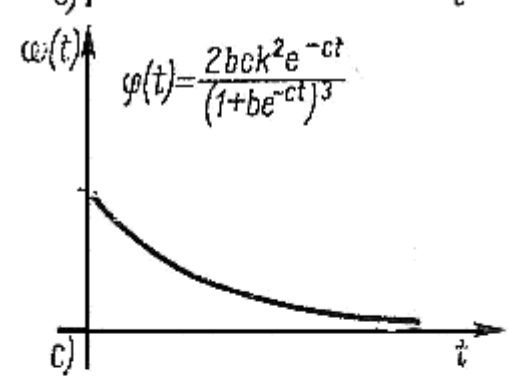
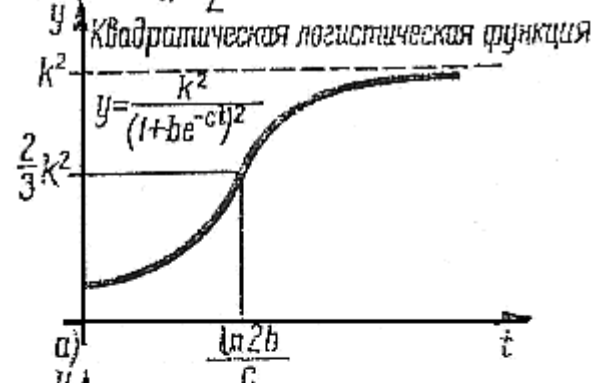
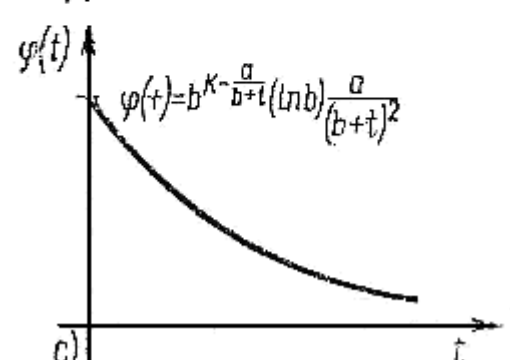
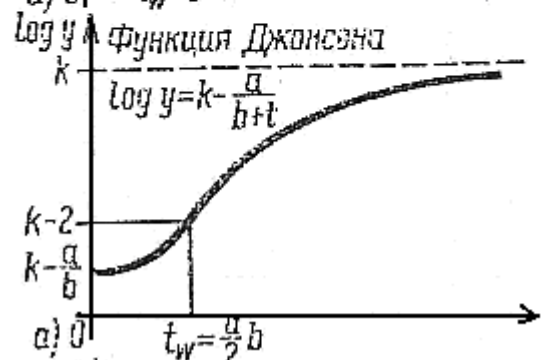
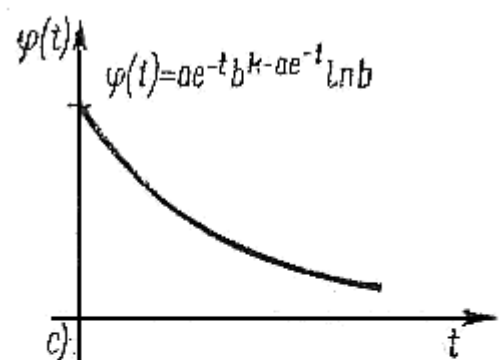
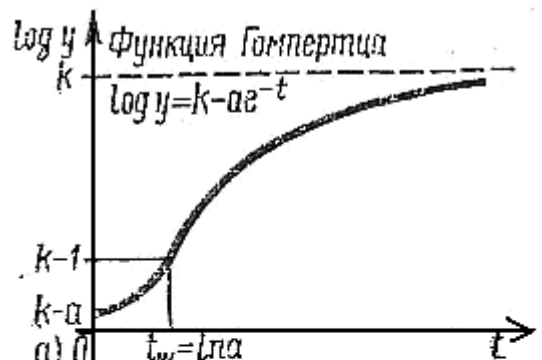


Рис. 110—113 (а, с)

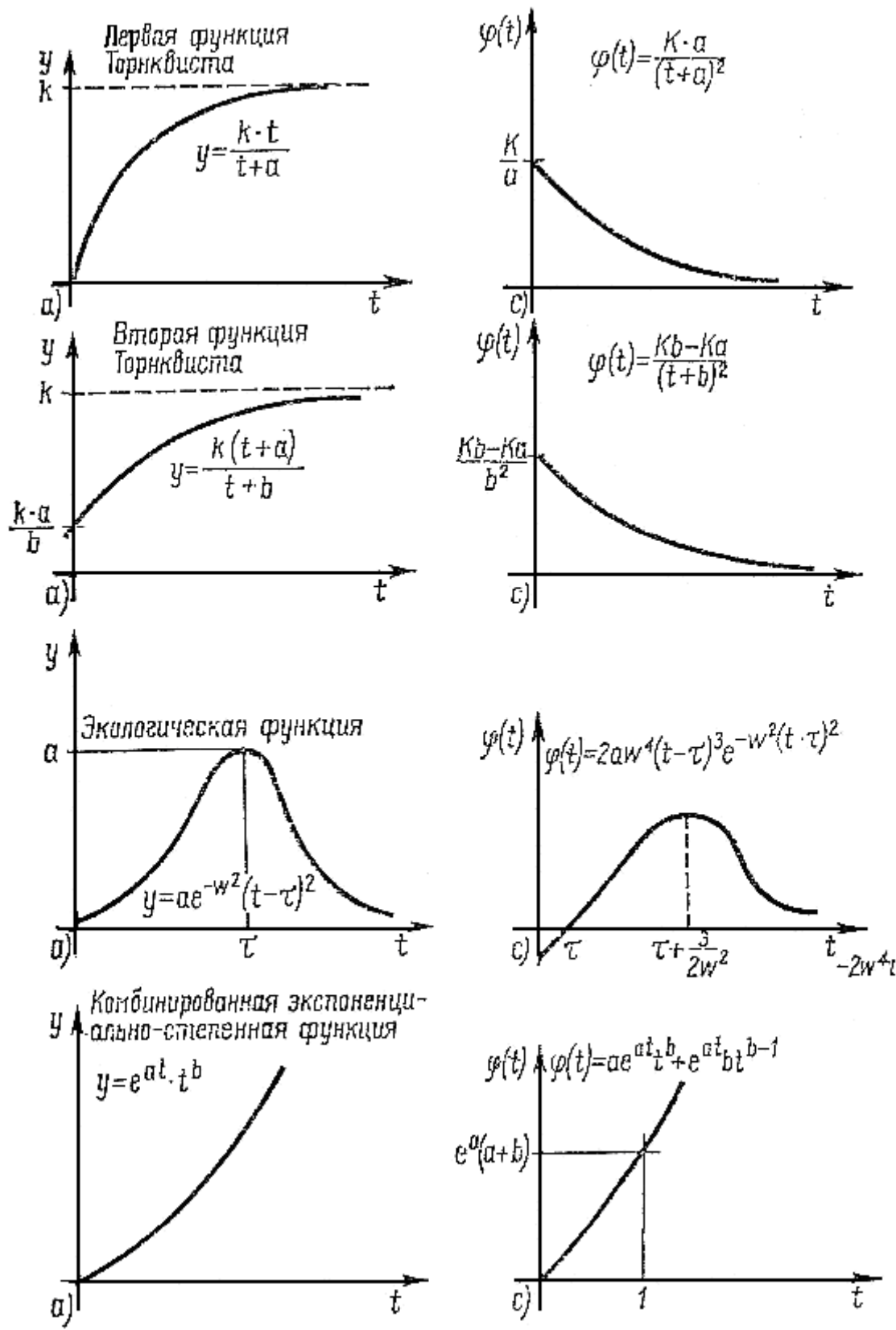
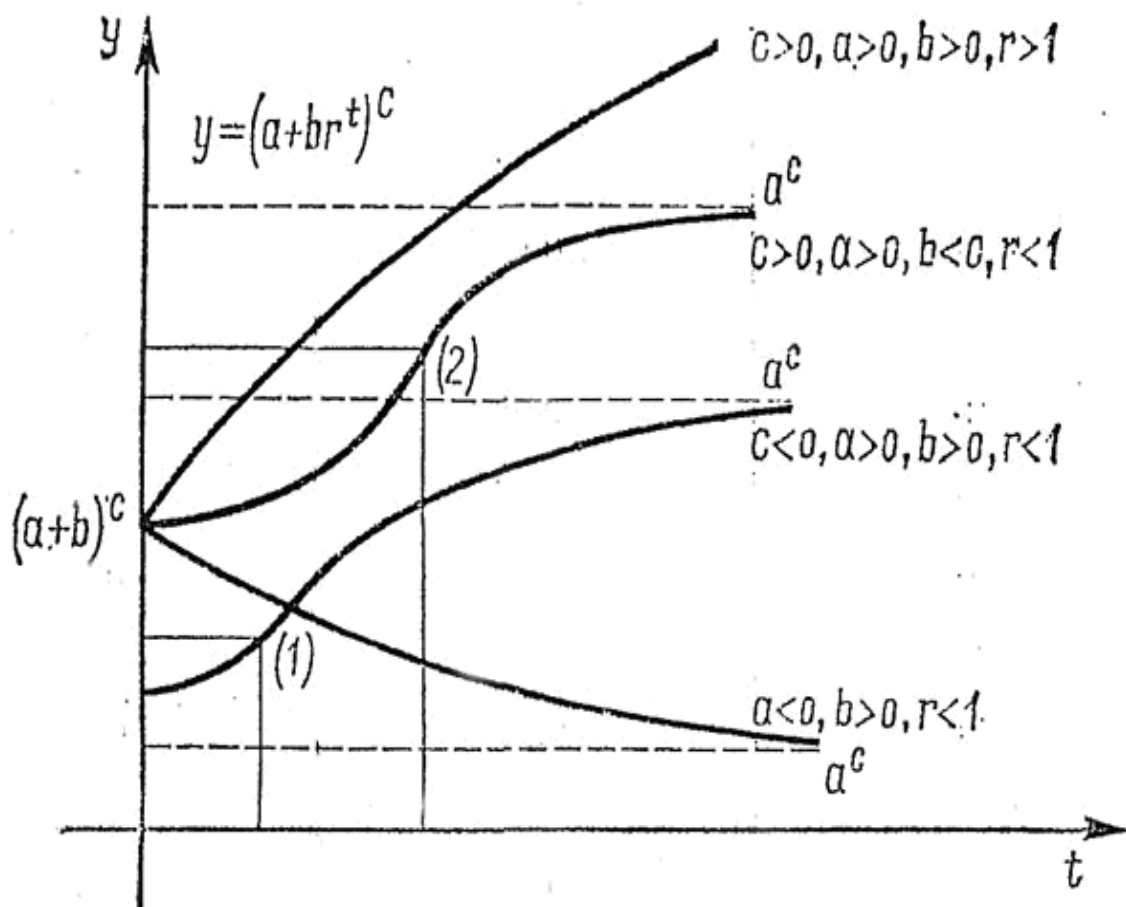


Рис. 114—117 (а, с)



Кривая имеет точку перегиба, если один из параметров a , b или c отрицательный

1. $c < 0$

$$t_w = \frac{\log\left(\frac{-a}{cb}\right)}{\log r}$$

2. $b < 0$

$$t_w = \frac{\log\left(\frac{-a}{b}\right)}{\log r}$$

Рис. 118.

Таблица 2.

Характеристики прогностических кривых оснопа

Рисунки кривой	Наименование прогностической функции и ее характеристика	Параметры кривой		Аналитика прогностической кривой
		Измеряемый	Аргумент R	
1	2	3	4	5
102, 5.5	Приведенная к линейной P(R)* P(R) — прямая совокупность функций: постоянной P ₁ (R) и прямой пропорциональности P ₂ (R). Графиком монотонно убывающей функции P(R) является прямая с уменьшающейся ординатой (b < 0). График функции P ₁ (R) — прямая с постоянной ординатой a (b = 0). А график функции P ₂ (R) — прямая с уменьшающейся ординатой (b < 0), проходящая через начало координат. Область определения функции P [R] [O;K].	P ₀ = K = 1	R ₀ = 0	Совокупная функция P(R) равна сумме функций P ₁ (R) и P ₂ (R) P(R) = P ₁ (R) + P ₂ (R). P ₁ (R) = α; P ₂ (R) = bR; α — постоянная ордината; b — коэффициент пропорциональности. Прямые функций P(R) и P ₂ (R) — параллельны. Тригонометрическая функция tgα — нечетная tg(-α) = -tgα, где α — угол между прямой и лучом оси абсцисс. Область значений функций P(R) K;O]
		P _k = 0	R _k = K = 1	
		1 ≥ P(R) ≥ 0	0 ≤ R ≤ 1	
		a = K = 1	0 ≤ R ≤ 1	
		α = 45°	0 ≤ R ≤ 1	
		tgα = -1	0 ≤ R ≤ 1	
		b = -1 < 0	0 ≤ R ≤ 1	
		tgα = b	0 ≤ R ≤ 1	
		∠2 = ∠1	0 ≤ R ≤ 1	
-α = -45°	0 ≤ R ≤ 1			
102, 5.5, 5.1, 5.4	* в практике научно-технического прогнозирования наибольшее распространение получили линейные и приведенные к линейным формы связи. Широкое использование линейных моделей обусловлено следующими причинами: - многие явления хорошо описываются этими формами; - линейные модели просты и требуют относительно меньшего объема вычислений, а методика их решения доступнее и разработана глубже;	(См. выше)	(См. выше)	(См. выше)

1	2	3	4	5
	<p>- графики линейных функций — прямые линии наиболее наглядны и практически удобно используются при сопоставительном анализе (подраздел 5.4).</p> <p>Приведенная к линейной функция $P(R)$, отражающая непосредственную зависимость эволюции неупорядоченности осона P от роста его организации R, проста и требует относительно меньшего объема вычислений.</p> <p>График линейной функции $P(R)$ — прямая линия, которая наиболее наглядна и практически удобна при сопоставительном анализе.</p> <p>$P(R)$</p>			
105, 4.5, 5.3	<p>Экспоненциальная $h(t)$ — показательная функция числа с положительным показателем прямой пропорциональности $Ct > 0$.</p> <p>Графиком монотонно возрастающей функции $h(t)$ является экспонента с коэффициентом пропорциональности b^{-1}.</p> <p>а графиком приведенной к линейной функции $\ln h(t)$ является прямая с увеличивающейся ординатой ($C > 0$).</p> <p>Область определения функции $h[t] [0; T]$.</p>	<p>$h_0 = b^{-1} = 0, (01)$</p> <p>$h_w = 1, \ln h_w = 0$</p> <p>$h_k = b = 99$</p> <p>$0, (01) \leq h(t) \leq 99$</p> <p>$b = \frac{K}{R_0} - 1$</p> <p>$b = 99$</p> <p>$b^{-1} = \frac{R_0}{K - R_0}$</p> <p>$b^{-1} = 0, (01)$</p> <p>$C = 0,0674 \gg 0$</p>	<p>$t_0 = 0$</p> <p>$t_w = \frac{T}{2}$</p> <p>$t_k = T$</p> <p>$0 \leq t \leq T$</p> <p>$0 \leq t \leq T$</p> <p>$0 \leq t \leq T$</p> <p>$0 \leq t \leq T$</p> <p>$0 \leq t \leq T$</p> <p>$0 \leq t \leq T$</p>	<p>Показательная функция $h(t)$ равна $h(t) = b^{-1}e^{ct}$,</p> <p>Где b — параметр способа Гуже;</p> <p>b^{-1} — обратный параметр способа Гуже;</p> <p>C — параметр крутизны кривой, краткая формула которого такова</p> <p>$C = \sum_{i=1}^n (\alpha a_i - \beta) \ln R_i$.</p> <p>Логарифм величины функции $h(t)$, большей единицы, положительен, меньшей единицы — отрицателен.</p> <p>Область значений функции $h[T] [b^{-1}; b]$.</p>

1	2	3	4	5
4.5, 5.3, 105	Деэкспоненциальная $d(t)$ $d(t)$ — показательная функция числа с ее отрицательным показателем прямой пропорциональности $Ct < 0$. Графиком монотонно убывающей функции $d(t)$ является де экспонента с коэффициентом пропорциональности b , которая вместе с кривой функции $h(t)$ составляет зеркально-осевую симметрию*[40]. А графиком приведенной к линейной функции $\ln d(t)$ является прямая с уменьшающейся ординатой ($C < 0$). Область определения функции $d(t)$	$d_0 = b = 99$	$t_0 = 0$	Показательная функция $d(t)$ равна $d(t) = be^{-ct}$, где b — параметр способа Гуже; b^{-1} — обратный параметр способа Гуже; C — параметр крутизны кривой. Логарифм величины функции $d(t)$, большей единицы, положительен, меньшей единицы — отрицателен. Область значений функции $d[t]$ [$b; b^{-1}$]. * на совместном графике функций $d[t]$ и $h[t]$ l — ось симметрии.
		$d_w = 1, \ln d_w = 0$	$t_w = T/2$	
		$d_k = b^{-1} = 0, (01)$	$t_k = T$	
		$99 \geq d(t) \geq 0, (01)$	$0 \leq t \leq T$	
		$b = \frac{P_0}{K - P_0}$	$0 \leq t \leq T$	
		$b = 99$		
		$b^{-1} = K/P_0^{-1}$	$0 \leq t \leq T$	
		$b^{-1} = 0, (01)$		
$C = -0,0674 < 0$	$0 \leq t \leq T$			
107, 5.4	Центрально-симметричная логистическая $R(t)$ $R(t)$ — обратная совокупность функций: постоянной $R_1(t)$ и де экспоненциальной $R_2(t)$. Функция $R(t)$ — обратима. Графиком монотонно возрастающей функции $R(t)$ является центрально-симметричная логистическая кривая с центром симметрии (R_w, t_w) , входящая в семейство S-образных кривых. Кривая функция $R(t)$ имеет точку перегиба, построена с использованием способа Гуже. Графиком функции $R_1(t)$ является прямая с постоянной ординатой, равной единице. А графиком функции $R_2(t)$ — де экспонента с коэффициентом пропорциональности b .	$R_0 = \frac{K}{1+b}$	$t_0 = 0$	Обратно совокупная функция $R(t)$ имеет вид $R(t) = \frac{K}{R_1(t) + R_2(t)}$, где $R_1(t)$ — постоянная функция $R_1(t) = 1$; $R_2(t)$ — где экспоненциальная функция равна $R_2(t) = be^{-ct}$; B — параметр способа Гуже; C — параметр крутизны кривой. Граничные параметры кривой функции $R(t)$: K — предельная ордината параметра R_{max} ; R_0 — начальный параметр кривой;
		$R_0 = 0,01K = 0,01$		
		$R_w = K/2$	$t_w = \frac{1}{c} \ln b = T/2$	
		$R_k = \frac{bk}{1+b}$	$t_k = T$	
		$R_k = 0,99K = 0,99$		
		$0,01K \leq R(t) \leq 0,99K$	$0 \leq t \leq T$	
		$0,01 \leq R(t) \leq 0,99$		
		$R(t)_{min} = 0$	$t = -\infty$	
		$R(t)_{max} = K = 1$	$t = \infty$	
		$R(t)_k - R(t)_0$	$T = \frac{2}{C} \ln b$	
$b = 99$	$0 \leq t \leq T$			
$C = -0,0674 < 0$	$0 \leq t \leq T$			

1	2	3	4	5
	Область определения функции $R(t)$ $[0; T]$.			R_w — параметр R в точке перегиба кривой; R_k — конечный параметр кривой; T — основной период вариации динамического ряда. Область значений функции $R[t]$ $[0,01K; 0,99K]$.
5.2, 5.4	<p>Делогистическая $P(t)$</p> <p>$P(t)$ — обратная совокупность функций: постоянной $P_1(t)$ и экспоненциальной $P_2(t)$. Функция $P(t)$ — обратима.</p> <p>Графиком монотонно убывающей функции $P(t)$ является центрально-симметричная делогистическая кривая с центром симметрии (P_w, t_w), входящая в семейство S-образных кривых.</p> <p>Кривая функция $P(t)$ имеет точку перегиба, построена с использованием способа Гуве, зеркально-симметрична графику $R(t)$.</p> <p>Графиком функции $P_1(t)$ является прямая с постоянной ординатой, равной единице.</p> <p>А графиком $P_2(t)$ — экспонента с коэффициентом пропорциональности b^{-1}.</p> <p>Область определения функции $P(t)$ $[0; T]$.</p>	$P_0 = \frac{bk}{1+b}$ $P_0 = 0,99K = 0,99$ $P_w = \frac{K}{2}$ $P_k = \frac{K}{1+b}$ $P_k = 0,01K = 0,01$ $0,99K \geq P(t) \geq 0,01K$ $0,99 \geq P(t) \geq 0,01$ $P(t)_{\max} = K = 1$ $P(t)_{\min} = 0$ $P(t)_k - P(t)_0$ $b^{-1} = 0, (01)$ $C = 0,0674 > 0$	$t_0 = 0$ $t_w = \frac{1}{C} \ln b = T/2$ $t_k = T$ $0 \leq t \leq T$ $t = -\infty$ $t = \infty$ $T = \frac{2}{C} \ln b$ $0 \leq t \leq T$ $0 \leq t \leq T$	<p>Обратно совокупная функция $P(t)$ имеет вид</p> $P(t) = \frac{K}{P_1(t) + P_2(t)},$ <p>где $P_1(t)$ — постоянная функция $P_1(t) = 1$;</p> <p>$P_2(t)$ — экспоненциальная функция равна $P_2(t) = b^{-1} e^{ct}$;</p> <p>b^{-1} — обратный параметр способа Гуве;</p> <p>C — параметр крутизны кривой.</p> <p>Граничные параметры кривой функции $P(t)$:</p> <p>K — предельная ордината параметра P_{\max};</p> <p>P_0 — начальный параметр кривой;</p> <p>R_w — параметр P в точке перегиба кривой;</p> <p>R_k — конечный параметр кривой;</p> <p>T — основной период вариации динамического ряда.</p> <p>Область значений функции $P[t]$ $[0,99; 0,01K]$.</p>

РЕЦЕНЗИЯ

На рукопись «Прогнозирование параметров» (автор Назаров Н. И.)

Рукопись имеет 195 страниц и состоит из введения и 5 разделов. В нее входят 20 таблиц, 18 иллюстраций и 36 названий библиографии.

Предмет рукописи очерчен границами организованной неорганической природы, а знания о биологических системах принимаются к сведению. В ней предлагается подтверждающая практическим расчетом методика определения конкретной части технологических параметров производства и теоретически обоснованное прогнозирование их величины на большом промежутке времени.

Во введении отмечается специфика организованной природы и рассматриваются результаты развития неорганической части ее. Показана необходимость разработки критерия взаимодействия биологических систем с организованными неорганическими системами.

В разделе 2 разработана структурная схема комплексной автоматизации производственного объекта (кустовых баз сжиженного газа), представляющая собой из методов эвристического прогнозирования. Впервые разработан критерий взаимодействия организованной органической и неорганической природы — количественная оценка уровня автоматизации технологических процессов на промышленном объекте. Подсчет количества информации, произведенный по имеющимся типовым проектам кустовых баз сжиженного газа, осуществлен по количеству контролируемых технологических параметров, что исключает субъективность понятия количества информации.

В разделе 3 произведен анализ опубликованных наблюдений и исследований, который показал, что рост во времени количественных характеристик происходит в основном по, так называемым, логистическим кривым (кривым роста). Этой закономерности подчинены взаимозависимые в своем развитии организованные неорганические и органические, в том числе высоко интеллектуальные, системы. На основании этого анализа определены параметры формулы логистической кривой и по ней спрогнозирован рост оценки уровня автоматизации технологических процессов на кустовых базах сжиженного газа.

В разделе 4 отмечено, что количество параметров автоматического управления определяет разнообразие состояний технологической системы, чем непосредственно обуславливаются режимы ее работы. Важность этой части информации позволило спрогнозировать ее, в том числе предельное значение, по формуле логистической кривой. Обнаружено и определенно смещение времени пропорционального между собой роста количества параметров автоматического управления и оценки уровня автоматизации. Из имеющихся зависимостей получена формула роста количества параметров

автоматического контроля производственных процессов и формула общего количества информации, по которым спрогнозировано их развитие во времени. Также получена формула и спрогнозирован рост характерного отношения количеств параметров автоматического управления и автоматического контроля.

В разделе 5 аналитически получена формула роста относительной организации неорганических систем, которая по сути дела является выражением логистической кривой, принятой в рукописи для расчета оценки уровня автоматизации технологических процессов на кустовых базах сжиженного газа. Из имеющихся зависимостей определена аналитическая формула эволюции относительной неупорядоченности организованной неорганической материи, график которой по своей форме представляет, как бы, де логистическую кривую. Определены характерные показатели функционального взаимодействия между организованными неорганическими и биологическими эргономическими системами и найдена взаимосвязь между ними.

Разработанный критерий функционального взаимодействия организованной органической природы и его характерные показатели дают возможность производить сопоставительный технико-экономический анализ. А научно-технически обоснованное прогнозирование их величины при проектировании производственных процессов позволяет оптимизировать принимаемые решения. Подсчет количества информации по количеству контролируемых технологических параметров делает его конкретным и вместе с подсчетом материальных и других затрат на автоматическое управление и автоматический контроль дает возможность определять стоимость единицы, информации, которая в свою очередь позволяет производить сопоставительный анализ.

Рукопись вносит новое в теорию и практику прогнозирования, повышает его роль и технико-экономическую эффективность. Опубликование ее, кроме перечисленного, способствует популяризации самого прогнозирования, поэтому оно необходимо. Исходя из этого, рекомендую опубликовать рукопись в печати.

Профессор кафедры АСУ
института ДПИ, д. т. н.

Б. А. Верклов

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов Б. Г. Современная наука и философия: Пути фундаментальных исследований и перспективы философии. — М.: Политиздат, 1981. — 183 с.
2. Браславец М. Е., Гуревич Т. Ф. Кибернетика. — К.: Вища школа, 1977. — 328 с.
3. Глушков В. М., Брановицкий В. И., Довгялло А. М., Рабинович З. Л., Стогний А. А. Человек и вычислительная техника. — К.: Наукова думка, 1971. — 294 с.
4. Глушков В. М. Кибернетика и умственный труд. — М.: Знание, 1965. — 46 с.
5. Кузин Л. Т. Основы кибернетики: т. 2, Основы кибернетических моделей. — М.: Энергия, 1979. — 584 с.
6. Хант Э. Искусственный интеллект. — М.: Мир, 1978. — 558 с.
7. Красовский А. А. и Поспелов Г. С. Основы автоматизации и технической кибернетики. — М. — Л.: Госэнергоиздат, 1962. — 600 с.
8. Шеридан Т. Б., Феррелл У. Р. Системы человек-машина: Модели обработки информации, управления и принятия решений человеком-оператором. — М.: Машиностроение, 1980. — 399 с.
9. Буяновский Л. А., Зельцер С. П. Прогнозирование эффективности автоматизации. — М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1968. — 29 с.
10. Рай ниш К. Кибернетические основы и описание непрерывных систем. — М.: Энергия, 1978. — 456 с.
11. Назаров Н. И., Коган К. П. Автоматизация технологических процессов на объектах транспорта, хранения и распределения сжиженных углеводородных газов. — М.: ВНИИЭгазпром, 1973. — 41 с.
12. Большая Советская Энциклопедия. — М.: Советская Энциклопедия, 1981. — 30 т.
13. Леонов А. Л., Резин Ф. Я. Автоматизация химических производств и пути ее развития. — М.: Химия, 1967. — 300 с.
14. Методика составления схем комплексной механизации строительства наземных сооружений и определение их экономической эффективности. — М.: ВНИИСТ, 1968. — 130 с.
15. Методика укрупненного определения уровня механизации и автоматизации производственных процессов машиностроения. — М.: ЦБНТИ, 1963. — 194 с.
16. Левин А. А. Будущее приборостроение для автоматизации управления производством. «Приборы и системы управления». — Мин прибор и ЦП НТО, 1974 №2, с. 1—4.
17. Трапезников В. А. Автоматическое управление и экономика. «Автоматика и телемеханика». — М.: Недра, 1966, №1, с. 5—22.
18. Мотузишин Г. М., Медведев Ю. Л., Назаров Н. И. Аппаратура межцеховой двусторонней сигнализации загрузки приемных бункеров. — Сб.:

Вопросы взрывобезопасности. — электропривод и автоматика. — Применение изотопов: Разработка и исследование. — М.: Недра, 1964. — с. 196—200.

19. Лисичкин В. А. Отраслевое научно-техническое прогнозирование: Вопросы теории и практики. — М.: Экономика, 1971. — 231 с.

20. Мартино Дж. Технологическое прогнозирование. — М.: Прогресс, 1977. — 591 с.

21. Лисичкин В. А. Прогнозирование в науке и технике. — М.: ЦНТИИ-ТЭИприборостроения, 1968. — 106 с.

22. Теория прогнозирования и принятия решений. Под ред. С. А. Саркисяна. — М.: Высшая школа, 1977. — 352 с.

23. Амосов Н. М. Искусственный разум. — К.: Наукова думка, 1969. — 154 с.

24. Амосов Н. М. Алгоритмы разума. — К.: Наукова думка, 1979. — 223 с.

25. Амосов Н. М., Касатки А. М., Касатки на Л. М., Галаев С. А. Автоматы и разумное поведение. — К.: Наукова думка, 1973. — 375 с.

26. Чуев Ю. В., Михайлив Ю. Б., Кузьмин В. И. Прогнозирование количественных характеристик процессов. — М.: Советское радио, 1975. — 398 с.

27. Корн Г. А., Корн Т. М. Справочник по математике для научных работников и инженеров: Определения, теоремы, формулы. — М.: Наука, 1984. — 831 с.

28. Четыркин Е. М. Статистические методы прогнозирования. — М.: Статистика, 1977. — 200 с.

29. Хауштейн Г. Методы прогнозирования в социалистической экономике. — М.: Прогресс, 1971. — 398 с.

30. Кронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике: Для инженеров и учащихся вузов. — М.: Наука, 1986. — 544 с.

31. Яворский Б. М., Детлаф А. А. Справочник по физике. — М.: Наука, 1990. — 622 с.

32. Лисичкин В. А. Теория и практика прогностики: Методологические аспекты. — М.: Наука, 1972. — 224 с.

33. Трапезников В. А. Управление и научно-технический прогресс. — М.: Наука, 1983. — 223 с.

34. Китайгородский А. И. Введение в физику. — М.: Наука, 1973. — 688 с.

35. Зайцев И. Л. Элементы высшей математики: Для техникумов. — М.: Наука, 1974. — 416 с.

36. Выготский М. Н. Справочник по высшей математике. — М.: Наука, 1977. — 871 с.

37. В. В. Пак, Ю. Л. Носенко. Высшая математика: Учебник. — Д.: Сталкер, 1997. — 560 с.

38. А. Г. Цыпкин. Справочник по математике для средних учебных заведений. — М.: Наука. 1988. — 432 с.

39. В. А. Гусев, А. Г. Мордкович. Математика: Справ. материалы: Кн. для учащихся. — М.: Просвещение, 1988. — 416 с.

40. М. Я. Выготский. Справочник по элементарной математике. — С.— П.: Санкт-Петербург оркестр, 1994. — 416 с.

7. ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДБОРКА

Разомкнутая система управления производством

Открытые системы, термодинамические системы, которые обмениваются с окружающей средой веществом (а также энергией и импульсом) [1], [БСЭ, т. 18]. К наиболее важному типу открытых систем относятся химические системы, в которых непрерывно протекают химические реакции, происходит поступление реагирующих веществ извне, а продукт реакций отводится.

Биологические системы, живые организмы можно также рассматривать как открытые химические системы. Такой подход к живым организмам позволяет исследовать процессы их развития и жизнедеятельности на основе законов термодинамики неравновесных процессов, физической и химической кинетики.

Наиболее простыми являются свойства открытых систем вблизи состояния термодинамического равновесия. Если отклонения открытой системы от термодинамического равновесия мало, и ее состояние изменяется медленно, то неравновесное состояние можно охарактеризовать теми же параметрами, что и равновесное: температурой, химическими потенциалами компонентов системы и другим (но не с постоянными для всей системы значениями, а с зависящими от координат и времени).

Степень неупорядоченности таких открытых систем, как и систем в равновесном состоянии, характеризуется энтропией. Энтропия открытых систем в неравновесном (локально-равновесном) состоянии определяется, в силу аддитивности энтропии, как сумма значений энтропии отдельных малых элементов системы, находящихся в локальном равновесии.

Отклонения термодинамических параметров от их равновесных значений (термодинамические силы) вызывают в системе потоки энергии и вещества (см. Переноса явления). Происходящие процессы переноса приводят к росту энтропии системы. Приращение энтропии системы в единицу времени называется производством энтропии.

Согласно второму началу термодинамики, в замкнутой изолированной системе энтропия, возрастая, стремится к своему равновесному максимальному значению, а производство энтропии — к нулю. В отличие от замкнутой системы, в открытых системах возможны стационарные состояния с постоянным производством энтропии, которая должна при этом отводиться от системы.

Такое стационарное состояние характеризуется постоянством скоростей химических реакций и переноса реагирующих веществ и энергии. При таком «проточном равновесии» производство энтропии в открытых системах минимально (Пригожина теорема).

Стационарное неравновесное состояние играет в термодинамике открытых систем такую же роль, какую играет термодинамическое равновесие для изолированных систем в термодинамике равновесных процессов. Энтропия открытых систем в этом состоянии удерживается постоянной, так как ее производство компенсируется отводом от системы, но это стационарное значение энтропии не соответствует ее максимуму, как в изолированной системе.

Наиболее интересные свойства открытых систем выявляются при нелинейных процессах. При таких процессах в открытых системах возможно осуществление термодинамически устойчивых неравновесных (в частом случае стационарных) состояний, далеких от состояния термодинамического равновесия и характеризующихся определенной пространственной или временной упорядоченностью (структурной), которую называют диссипативной, так как ее существование требует непрерывного обмена веществом и энергией с окружающей средой.

Нелинейные процессы в открытых системах и возможность образований структур исследуется на основе уравнений кинетики химической: баланса скоростей химических реакций в системе со скоростями подачи реагирующих веществ и от рода продуктов реакции. Накопление в открытых системах активных продуктов реакций или теплоты может привести к автоколебательному (самоподдерживающемуся) режиму реакций.

Для этого необходимо, чтобы в системе реализовалась положительная обратная связь: ускорение реакции под воздействием либо ее продукта (химический автокатализ), либо теплоты, выделяющейся при реакции. Подобно тому, как в колебательном контуре с положительной обратной связью возникают устойчивые саморегулирующиеся незатухающие колебания (автоколебания), в химических открытых системах с положительной обратной связью возникают незатухающие саморегулирующиеся химические реакции.

Автоматические реакции могут привести к неустойчивости химических процессов в однородной среде и к появлению у открытых систем стационарных состояний с упорядоченным пространственным неоднородным распределением концентраций (диссипативных структур с упорядоченностью на макроскопическом уровне). Характер структур определяется конкретным типом химических реакций. В открытых системах возможны также концентрационные волны сложного нелинейного характера.

Теория открытых систем важна для понимания физико-химических процессов, лежащих в основе жизни, так как живой организм представляет собой устойчивую саморегулирующуюся открытую систему, обладающую высокой организацией как на молекулярном, так на макроскопическом уровне. Подход к живым системам как к открытым системам, в которых протекают нелинейные химические реакции, открывает новые возможности для исследования процессов молекулярной самоорганизации на ранних этапах возникновения жизни.

Теория открытых систем является частным случаем общей теории систем, к которым относятся, например, рассматриваемые в кибернетике системы переработки информации, транспортные узлы, системы электроснабжения и другое. Подобные системы, хотя и не являются термодинамическими, но описываются системой уравнений баланса, в общем случае нелинейных, аналогичных рассматриваемым для физико-химических и биологических открытых систем. Для всех систем существуют общие проблемы регулирования и оптимального функционирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шредингер Э. Что такое жизнь? С точки зрения физика, пер. с англ. 2 изд., М., 1972.
2. Грог С., Мазур П. Неравновесная термодинамика, пер. с англ., М., 1964.
3. Франк-Каменский Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике, 2 изд., М., 1967.
4. Гленефорд П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций, пер. с англ., М., 1973.
5. Панченков Г.М., Лебедев В. П. Химическая кинетика и катализ, М., 1961.
6. Пасынский А. Г. Биофизическая химия, М., 1963.
7. Волькенштейн М. В. Биология и физика, «Успехи физических наук», 1973, т. 109, в 3.
8. Пригожин И., Николис Ж. Биологический порядок, структура и неустойчивости, «Успехи Физических наук», 1973, т. 109, в 3.
9. Эйген М. Самоорганизации материи и эволюция биологических макромолекул, пер. с англ., 1973.

Д. Н. Зубарев

Организованные системы — объекты неорганической природы, сокращенно осонопы, которые известны как производства, являются частным случаем описанных выше открытых систем. Следовательно, на них в полной мере распространяется теория открытых систем с их микро и макросостояниями.

Жизнедеятельность открытых систем производств, как и самих открытых систем в целом, обеспечивается равновесным в пространстве и времени обменом веществ и энергии систем с внешней средой, протекающим в «потоках».

Разомкнутая система управления, система с разомкнутым контуром управления, система с разомкнутой цепью воздействий, система автоматического управления, в которой либо вырабатывающие воздействия вырабатываются по жесткой программе, без использования количественной информа-

ции о текущем состоянии объекта управления, то есть без контрольных воздействий, либо измеряются и компенсируются главные из возмущений [1], (БСЭ, т.21). В разомкнутой системе управления входными воздействиями управляющего устройства являются лишь внешние воздействия.

Разомкнутая система управления производством, это конкретная в каждом конкретном случае система управления с внешним входным контролем человеческого фактора, вносящим свои уточнения и коррективы в работу управляющих устройств и объекта управления в целом. Проектируется разомкнутая система управления оснопом при проектировании объекта управления.

Критерием совершенства разомкнутой системы управления производством как и самого производства в целом, является его организация R

$$R = \frac{M}{\Phi + M},$$

где R — организация объекта управления;

M — самоуправляемость объекта управления;

Φ — контролируемость объекта управления.

Самоуправляемость объекта управления M характеризуется количеством автоматически управляемых технологических параметров рассматриваемого производства. В то же время его контролируемость Φ характеризуется количеством параметров, контролируемых человеческим фактором.

Наличие ретроспективной проектной статистики параметров организации M и Φ конкретно взятого объекта управления позволило и, соответственно уже по аналогии позволяет по определенной методике спрогнозировать во времени перспективу развития организации R и других объектов управления, что является важным положительным фактором в практической деятельности каждого производства.

Первичным источником энергии в живых организмах является Солнце. Энергия, приносимая световыми квантами (фотонами), поглощается пигментом хлорофиллом, содержащимся в хлоропластах зеленых листьев, и накапливается в виде химической энергии в различных питательных веществах [2].

Все клетки и организмы можно разделить на два основных класса в зависимости от того, каким источником энергии они пользуются. У первых, называемых аутотрофными (зеленые растения), CO_2 и H_2O превращаются в процессе фотосинтеза в элементарные органические молекулы глюкозы, из которых и строятся затем более сложные молекулы.

Клетки второго класса, называемые гетеротрофными (животные клетки), получают энергию из различных питательных веществ (углеводов, жиров и белков), синтезируемых аутотрофными организмами. Энергия, содер-

жающаяся в этих органических молекулах, освобождается главным образом в результате соединения с кислородом воздуха (то есть окисления) в процессе, называемом аэробным дыханием. Этот энергетический цикл у гетеротрофных организмов завершается выделением CO_2 и H_2O .

Клеточное дыхание — это окисление органических веществ, приводящее к получению химической энергии (АТФ). Большинство клеток используют в первую очередь углеводы.

Жиры составляют «первый взрыв» и пускаются в дело главным образом тогда, когда запас углеводов исчерпан. Однако в клетках скелетных мышц при наличии глюкозы и жирных кислот предпочтение отдается жирным кислотам.

Поскольку белки выполняют ряд других важных функций, они используются лишь после того, как будут израсходованы все запасы углеводов и жиров, например, при длительном голодании.

Хлорофилл (зеленый лист), зеленый пигмент растений, с помощью которого они улавливают энергию солнечного света и осуществляют фотосинтез [3], (БСЭ, т. 28).

Пригожина теорема, теорема термодинамики неравновесных процессов; согласно Пригожина теореме, стационарному состоянию системы (в условиях, препятствующих достижению равновесного состояния) соответствует минимальное производство энтропии [3], (БСЭ, т. 20). Если таких препятствий нет, то производство энтропии достигает своего абсолютного минимума. Доказана И. Р. Пригожиным в 1947 году из соотношений взаимности Онсагера (см. Онсагера теорема).

Пригожина теорема справедливо, если кинетические коэффициенты в соотношениях Онсагера постоянны; для реальных систем Пригожина теорема справедливо лишь приближенно, поэтому минимальность производства энтропии для стационарного состояния не является столь общим принципом, как максимальность энтропии для равномерного состояния (см. Второе начало термодинамики) [4].

Онсагера теорема, одна из основных теорем термодинамики неравновесных процессов, установлена в 1931 году Л. Онсагером [5], (БСЭ, т. 18). В термодинамических системах, в которых имеются градиенты температуры, концентрации компонентов, химических потенциалов, возникают необратимые процессы теплопроводности, диффузии, химических реакций. Эти процессы характеризуются тепловыми и диффузионными потоками, скоростями химических реакций и т. д.

Они называются общим термином «потоки» и обозначаются I_i , а вызывающие их причины (отклонения термодинамических параметров от равновесных значений) термодинамическими силами (X_k). Связь между I_i и X_k , если термодинамические силы малы, записывается в виде линейных уравнений

$$I_i = \sum_{k=1}^m L_{ik} X_k \quad (i = 1, 2, \dots, m),$$

где кинетические коэффициенты L_{ik} определяют вклад различных термодинамических сил X_k в создание потока I_i .

Соотношения (I) иногда называют феноменологическими уравнениями, а L_{ik} рассчитывают или находят опытным путем. Термодинамические потоки и силы могут быть скалярами (случай объемной вязкости), векторами (теплопроводность, диффузия) и тензорами (сдвиговая вязкость).

В современной термодинамике Второе начало термодинамики формулируется единым и самым общим образом как закон возрастания особой функции состояния системы, которую Клаузиус назвал энтропией (обозначается S) [5], (БСЭ, т. 5). Согласно этому закону, в замкнутой системе энтропия S при любом реальном процессе либо возрастает, либо остается неизменной, то есть изменение энтропии

$$\delta S \geq 0;$$

знак равенства имеет место для обратимых процессов.

В состоянии равновесия энтропия замкнутой системы достигает максимума и не какие макроскопические процессы в такой системе, согласно Второго начала термодинамики, невозможно. Для замкнутой системы направлений возможных процессов, а так же условия равновесия могут быть получены из закона возрастания энтропии, примерного к составной замкнутой системе, получаемой путем присоединения всех тел, участвующих в процессе.

Это приводит в общем случае необратимых процессов к неравенствам

$$\delta Q \leq T \delta S, \quad (I)$$

$$\delta U - T \delta S - \delta A \leq 0, \quad (I')$$

где δQ — переданное системе количество теплоты,

δA — совершенная над ней работа,

δU — изменение ее внутренней энергии,

T — абсолютная температура;

знак равенства относится к обратимым процессам.

Важные следствия дает применение Второго начала термодинамики к системам, находящимся в фиксированных внешних условиях. Например, для систем с фиксированной температурой и объемом неравенство (I) приобретает вид

$$\delta F \leq 0,$$

где $F = U - TS$ — свободная энергия системы.

Таким образом, в этих условиях направление реальных процессов определяется убыванием свободной энергии, а состояние равновесия — минимумом этой величины (см. потенциалы термодинамические).

Приведенные в начале статьи формулировки Второго начала термодинамики являются частным следствием общего закона возрастания энтропии.

Второе начало термодинамики, несмотря на свою общность, не имеет абсолютного характера и отклонения от него (флуктуации) являются вполне закономерными. Примерами таких флуктуационных процессов являются броуновское движение тяжелых частиц, равновесное тепловое излучение нагретых тел (в том числе радиошумы), возникновение зародышей новой фазы при фазовых переходах, самопроизвольные флуктуации температуры и давления в равновесной системе и так далее.

Статистическая физика, построенная на анализе микроскопического механизма явлений, происходящих в макроскопических телах, выяснившая физическую сущность энтропии, позволила понять природу Второго начала термодинамики, определить пределы его применимости и устранить кажущееся противоречие между механической обратимостью любого, сколь угодно сложного микроскопического процесса и термодинамической необратимостью процессов в макротелах. Как показывает статистическая термодинамика (Л. Больцман, Дж. Гиббс) энтропия системы связана со статистическим весом P макроскопического состояния:

$$S = k \ln P,$$

где k — Больцмана постоянная;

P — статистический вес макросостояния.

Статистический вес P пропорционален числу различных микроскопических реализаций данного состояния макроскопической системы (например, различных распределений значений координат и импульсов молекул газа, отвечающих определенному значению энергии, давления и других термодинамических параметров газа), то есть характеризует как бы степень неточности микроскопического описания макросостояния.

Для замкнутой системы вероятность термодинамическая W данного макросостояния пропорциональна его статистическому весу и определяется энтропией системы:

$$W \sim \exp(S/k). \quad (2)$$

Таким образом, закон возрастания энтропии имеет статистически-вероятный характер и выражает постоянную тенденцию системы к переходу в более вероятное состояние. Максимально вероятным является состояние равновесия; за достаточно большой промежуток времени любая замкнутая система достигает этого состояния.

Энтропия является величиной аддитивной (см. Аддитивность), она пропорциональна числу частиц в системе. Поэтому для систем с большим числом частиц даже самое ничтожное относительное изменение энтропии, приходящейся на одну частицу, существенно меняет ее абсолютную величину; изменение же энтропии, стоящей в показателе экспоненты в уравнении (2) приводит к изменению вероятности данного макросостояния W в огромное число раз.

Именно этот фактор является причиной того, что для системы с большим числом частиц следствия Второго начала термодинамики практически имеют невероятный, а достоверный характер. Крайне маловероятные процессы, сопровождающие сколь-нибудь заметным уменьшением энтропии, требуют столь огромных времен ожидания, что их реализация является практически невозможной.

В то же время маленькие частицы системы, содержащие небольшое число частиц испытывают непрерывные флуктуации, сопровождающиеся лишь небольшим абсолютным изменением энтропии. Средние значения частоты и размеров этих флуктуаций таким же достоверным следствием статистической термодинамики, как и само Второе начало термодинамики.

Проиллюстрируем сказанное примером, позволяющим оценить масштабы величин, определяющих точность Второго начала термодинамики и отклонения от него. Рассмотрим флуктуационный процесс, в результате которого N частиц, первоначально занимающих объем V , равный 1 мкм^3 (то есть 10^{-18} м^3), сконцентрируется самопроизвольно в половине этого объема. Отношение статистических весов начального (1) и конечного (2) состояний:

$$P_1/P_2 = V^N / \left(\frac{V}{2}\right)^N = 2^N,$$

поэтому изменение энтропии $\Delta S/k = N \ln 2$ и отношение вероятностей

$$W_1/W_2 = 2^N.$$

Если время пролета частицы через объем V , то есть время, в течении которого сохраняется данная флуктуация, $\tau = 10^{-8}$ сек, то среднее время ожидания такой флуктуации

$$t = 2^N \cdot \tau \approx 10^{0.3N} \cdot \tau.$$

При числе частиц $N=30$, $t=10$ сек,
при $N=100$, $t \approx 10^{22}$ сек $\approx 10^{15}$ лет.

Если же учесть, что при атмосферном давлении число частиц газа в 1 мкм^3 составляет $N \sim 10^8$, то время ожидания указанного события $t \sim 10^{3 \cdot 10^7}$ лет.

Буквальное применение Второго начала термодинамики к Вселенной как целому, приведшее Клаузиуса к неправильному выводу о неизбежности «тепловой смерти Вселенной», является неправильным, так как любая сколь угодно большая часть Вселенной не является сама по себе замкнутой и ее приближение к состоянию теплового равновесия, даже не говоря о флуктуациях, не является абсолютным.

Термодинамическое же описание Вселенной как целого возможно лишь в рамках теории относительности, в которой вывод о приближении энтропии к максимуму не имеет места.

Потенциалы термодинамические, определенные функции объема (V), давления (p), температуры (T), энтропии (S), числа частиц (N) и других макроскопических параметров (x_i), характеризующих состояние термодинамической системы [5], (БСЭ, т. 20). К таким потенциалам относятся:

- внутренняя энергия $U = U(S, V, N, x_i)$;
- энтальпия $H = H(S, p, N, x_i)$;
- Гельмгольца энергия (свободная энергия, или изохорно-изотермический потенциал, обозначается A или F) $F = F(V, T, N/x_i)$;
- Гиббсова энергия (изобарно-изотермический потенциал, обозначается Φ или G) $G = G(p, T, N, x_i)$ и другие.

Зная потенциалы термодинамические как функцию указанных параметров, можно получить путем дифференцирования потенциалов термодинамических все остальные параметры, характеризующие систему, подобно тому как в механике можно определить компоненты действующих на систему сил, дифференцируя потенциальную энергию системы по соответствующим координатам. Потенциалы термодинамические связаны друг с другом следующими соотношениями:

$$F = U - TS, H = U + pV, G = F + pV.$$

Если известен количественно один из потенциалов термодинамических, то можно определить все термодинамические свойства системы, в частности получить уравнения состояния. При помощи потенциалов термодинамических выражаются условия термодинамического равновесия системы и критерии его устойчивости (см. Равновесие термодинамическое).

Совершаемая термодинамической системой в количественном процессе работа определяется убылью потенциала термодинамического, отвечающего

условиям процесса. Так, в условиях термоизоляции (адиабатический процесс S-const) элементарная работа dA равна убыли внутренней энергии:

$$dA = -dU.$$

При изотермическом процессе (T-const)

$$dA = -dF$$

(в этом процессе работа совершается не только за счет внутренней энергии, но и за счет поступающей в систему теплоты).

Часто процессы в системах, например химические реакции, идут при постоянных p и T . В этом случае элементарная работа всех термодинамических сил, кроме сил давления, равна убыли термодинамического потенциала Гиббса (G), то есть

$$dA' = -dG.$$

Равенство $dA = -dU$ выполняется как для квазистатических (обратимых) адиабатических процессов, так и нестатических (необратимых). В остальных же случаях работа убыли потенциалов термодинамических только при квазистатических процессах, при нестатических процессах совершаемая работа меньше изменения потенциалов термодинамических. Термодинамическое определение потенциалов термодинамических как функций соответствующих переменных составляет основную задачу статистической термодинамики (см. Статистическая физика).

Метод потенциалов термодинамических широко применяется для получения общих соотношений между физическими свойствами макроскопических тел и анализа термодинамических процессов и условий равновесия в физико-химических системах. Термин «Потенциалы термодинамические» ввел французский физик П. Дюген (1884), сам же основатель метода потенциалов термодинамических Дж. У Гиббс пользовался в своих работах термином «фундаментальные функции».

Аддитивность (от слова математически прибавляемый), свойство величин, состоящее в том, что значение величины, соответствующее целому объекту, равно сумме значений величин, соответствующих его частям любом разбиении объекта на части [5], (БСЭ, т. 1). Например, аддитивность объема означает, что объем целого тела равен сумме объемов составляющих его частей. Другие примеры величин, обладающих свойством аддитивности: длина линии, площадь поверхности, масса физического тела.

Флуктуации (от слова колебание), случайные отклонения наблюдаемых физических величин от их средних значений [5], (БСЭ, т. 27). Флуктуации происходят у любых величин, зависящих от случайных факторов и описы-

ваемых методами статистики (см. случайный процесс). Количественная характеристика флуктуаций основана на методах математической статистики и вероятностей теории.

Равновесие термодинамическое [5], (БСЭ, т.21), состояние термодинамической системы, в которое она самопроизвольно приходит через достаточно большой промежуток времени в условиях изоляции от окружающей среды, после чего параметры состояния системы уже не меняются со временем. Изоляция не исключает возможности определенного типа контактов со средой (например, теплового контакта с термостатом, обменом веществ и другое). Процесс перехода в равновесное состояние называется релаксацией.

При равновесии термодинамическом в системе прекращаются все необратимые процессы, связанные с диссипацией энергии, — теплопроводность, диффузия, химические реакции и так далее. Равновесное состояние системы определяется значениями ее внешних параметров (объёма, напряженности электрического или магнитного поля и другое), а так же значением температуры. Строго говоря, параметры состояния равновесной системы не являются абсолютно фиксированными — в микрообъёмах они могут испытывать малые колебания около своих средних значений (флуктуаций).

Изоляция системы осуществляется в общем случае при помощи неподвижных стенок, непроницаемых для вещества. В случае, когда изолирующие систему неподвижные стенки практически нетеплопроводны (например, в Дьюара сосудах), имеет место адиабатическая изоляция, при которой энергия системы остается неизменной. При теплопроводящих (диатермических) стенках между системой и внешней средой, пока не установилось равновесие, возможен теплообмен.

При длительном тепловом контакте такой системы с внешней средой, обладающей очень большой теплоемкостью (термостатом), температуры системы и среды выравниваются и наступает равновесие термодинамическое. При полупроницаемых для вещества стенках равновесие термодинамическое наступает в том случае, если в результате обмена веществом между системой и внешней средой выравниваются химические потенциалы среды и системы.

Одним из условий равновесия термодинамического является механическое равновесие, при котором невозможны никакие макроскопические движения частей системы, но поступательное движение и вращение системы как целого допустимы. При отсутствии внешних полей и вращения системы условием ее механического равновесия является постоянство давления во всем объёме системы. Другие необходимые условия равновесия термодинамического — постоянство температуры и химического потенциала в объёме системы.

Достаточные условия равновесия термодинамического (условия устойчивости) могут быть получены из Второго начала термодинамики (принципа максимальной энтропии); к ним, например относятся: возрастание давления

при уменьшении объёма (при постоянной температуре) и положительное значение теплоемкости при постоянном давлении.

В общем случае система находится в равновесии термодинамическом тогда, когда термодинамический потенциал системы, соответствующий независимым в условиях опыта переменным, минимален. Например, при заданных объёме и температуре должна быть минимальна свободная энергия, а при заданных давлении и температуре — термодинамический потенциал Гиббса (см. потенциалы термодинамические).

Литература Л 6. Больцман показал, что энтропия термодинамической системы определяется статистическим весом или термодинамической вероятностью W , равной числу равновесных микросостояний системы, с помощью которых может реализоваться данное макросостояние этой системы. Согласно Больцману, связь между термодинамической вероятностью W и энтропией S имеет вид:

$$S = k \ln W, \quad (4.3.22)$$

где k — постоянная Больцмана;
 W — термодинамическая вероятность.

Выражение (4.3.22) носит название формулы Больцмана.

Рассмотрим следующий пример. Пусть в некотором объёме, разделённом на два отсека (рис. 4.3.4), могут находиться четыре молекулы газа: a , b , c и d . В табл. 4.3.1 показаны возможные способы их распределения между отсеками.

Любой из этих способов определяет микросостояние системы. Каждое микросостояние равновероятно. А поскольку общее число таких равно 16, то вероятность реализации любого из них равна $1/16$. Состояние, в котором в каждом отсеке находится определенное число молекул (не важно каких), является макросостоянием данной системы.

Например, макросостояние, в котором слева находится одна молекула, а справа три, реализуется четырьмя способами, а вероятность его реализации равна $4/16$. Понятно, что наиболее вероятным макросостоянием (вероятность $6/16$) будет состояние с равномерным распределением частиц (по два в каждом отсеке).

a	a
b	b
Рис. 4.3.4. Распределение молекул по двум отсекам.	

Для системы из k отсеков и общего числа молекул N , термодинамическая вероятность рассчитывается по формуле:

$$W = \frac{N!}{N_1!N_2!\dots N_k!}, \quad (4.3.23)$$

где N_1, N_2, \dots, N_k — количество молекул в соответствующем отсеке.

Из формул (4.3.23) и (4.3.22) следует, что наиболее вероятному макросостоянию отвечает наибольшее значение энтропии. В этом состоянии частицы распределены наиболее хаотично, то есть порядок в системе минимальный. Для изолированных систем с очень малым числом частиц (как в приведенном примере) вероятность отклонения от наиболее вероятного макросостояния не так уж мала, то есть возможно самопроизвольное уменьшение энтропии. Поэтому для систем с малым числом частиц второй закон термодинамики не применим. С увеличением числа частиц вероятность случайного отклонения от наиболее вероятного макросостояния уменьшается и становится невозможной для числа частиц порядка числа Авогадро N_A . Поэтому состояние с максимальной энтропией является равновесным, так как не способно самопроизвольно изменяться во времени.

Таблица 4.3.1

Макро- и микросостояния системы

Макросостояние		Микросостояния (способы реализации данного макросостояния)		Реализация данного макросостояния (термодинамическая вероятность W), $W = \sum n_i = 16$	
Число молекул, N		Молекулы, расположенные		Число способов, n_i	Вероятность математическая, n_i/W
Слева, N_1	Справа, N_2	слева	справа		
0	4	-	abcd	1	1/16
1	3	a	bcd	4	4/16
		b	Dcd		
		c	abd		
		d	abc		
2	2	ab	cd	6	6/16
		ac	bd		
		ad	bc		
		bc	ad		
		bd	ac		
		cd	ab		
3	1	abc	a	4	4/16
		abd	c		
		acd	b		
		bcd	a		
4	0	abcd	-	1	1/16
		Всего способов, $\sum n_i$		16	$\sum n_i/W=1$

Таким образом, энтропия является мерой неупорядоченности системы, и ее возрастание в изолированной системе указывает на стремление системы перейти из упорядоченного в хаотическое состояние. Классическая термодинамика утверждает, что самопроизвольный переход изолированной системы от хаоса к порядку невозможен.

Состояние макроскопических систем характеризуется термодинамическими параметрами. При этом в малых объемах пространства, занимаемого системой, возможно случайное увеличение или уменьшение плотности, давления, температуры и так далее по сравнению со средними величинами указанных параметров для всей системы. Такие отклонения (флуктуации) являются кратковременными и незначительными.

Клаузиус обобщил второй закон термодинамики на всю Вселенную, считая ее изолированной системой, в которой со временем должно произойти выравнивание параметров и равномерное распределение вещества. Теория Клаузиуса получила название «тепловой смерти» Вселенной. С самого начала она подверглась критике и на данный момент опровергнута. Во-первых, если Вселенная должна прийти в состояние равновесия, то возникает вопрос, почему это не произошло до сих пор. Во-вторых, Вселенная состоит из бесконечного числа частиц, и для нее невозможно указать наиболее вероятное макросостояние.

Первый и второй законы термодинамики можно объединить в основном уравнении термодинамики:

$$TdS \geq dU + \delta A. \quad (4.3.23)$$

Если работа выполняется посредством расширения газа против внешних сил, то основное уравнение термодинамики приобретает вид:

$$TdS \geq dU + pdV. \quad (4.3.24)$$

В заключение укажем, что первый закон термодинамики устанавливает количественное соотношение между теплотой, работой и изменением внутренней энергии термодинамической системы, но не определяет направление термодинамических процессов. Первый закон выполняется всегда для любых систем. Второй закон термодинамики является статистическим законом и справедлив для систем с большим, но конечным числом частиц. Этот закон указывает наиболее вероятное направление процессов, и если утверждается, что данный процесс невозможен, то следует понимать, что вероятность его совершения существует, но ничтожно мала.

Статистический вес, в квантовой механике и квантовой статистике — число различных квантовых состояний с данной энергией, то есть кратность

состояния [7], (БСЭ, т. 24, I). Если энергия принимает непрерывный ряд значений, то под статистическим весом понимают число состояний в данном интервале энергий. В классической статистике статистическим весом называют величину элемента фазового объема системы. См. Статистическая физика.

Вероятность математическая, числовая характеристика степени возможности появления количественно определенного события в тех или иных определенных, могущих повторяться неограниченное число раз условиях [7], (БСЭ, т. 4). Как категория научного показания понятие «вероятность» отражает особый тип связей между явлениями, характерных для массовых процессов. Категория вероятность лежит в основе особого класса закономерностей — вероятностных или статистических закономерностей.

Числовое значение вероятности в некоторых случаях получается из «классического» определения вероятности: вероятность равна отношению числа случаев, «благоприятствующих» данному событию, к общему числу «равновозможных» случаев. Например, если из 10 миллионов облигаций государственного займа, на которые в одном тираже должен выпасть один выигрыш максимального размера, в данном городе размещено 500 тысяч облигаций, то вероятность того, что максимальный выигрыш достанется жителю данного города, равна $500000/10000000 = 1/20$.

В других, более сложных случаях определение числового значения вероятности требует статистического подхода.

Вероятность термодинамическая, число способов, которыми может быть реализовано состояние физической системы [7], (БСЭ, т. 4). В термодинамике состояние физической системы характеризуется определенными значениями плотности, давления, температуры и другого измеряемых величин. Перечисленные величины определяют состояние системы в целом (ее макросостояние).

Однако при одной и той же плотности, температуре и так далее частицы системы могут различными способами распределяться в пространстве и иметь различные импульсы. Каждое данное распределение частиц называется микросостоянием системы. Вероятность термодинамическая (обозначается W) равна числу микросостояний, реализующих данное микросостояние. Из чего следует, что $W \geq T$. Вероятность термодинамическая связана с одной из основных макроскопических характеристик системы энтропией S соотношением Больцмана:

$$S = k \ln w,$$

где k — Больцмана постоянная;
 w — вероятность термодинамическая.

Вероятность термодинамическая не является вероятностью в математическом смысле. Она принимается в статистической физике для определения свойств системы, находящихся в термодинамическом равновесии (для них вероятность термодинамическая имеет максимальное значение). Для расчета вероятности термодинамической существенно, считаются ли частицы системы различными или неразличными. Поэтому классическая и квантовая механика приводят к разным выражениям для вероятности термодинамической.

Больцмана постоянная, одна из основных физических постоянных, равная отношению универсальной газовой постоянной R к числу Авогадро N_A (число молекул в 1 моле или 1 кмоль вещества): $k=R/N_A$ [7], (БСЭ, т. 3). Названа по имени Л. Больцмана. Больцмана постоянная входит в ряд важнейших соотношений физики: в уравнение состояния идеального газа, выражение для средней энергии теплового движения частиц (и соответственно теплоемкости), связывает энтропию физической системы с ее термодинамической вероятностью.

Больцмана постоянная $k=1,38054 \cdot 10^{-23}$ Дж/К. Это значение соответствует наиболее точным на 1964 г. данным о постоянных R и N_A . Непосредственное значение Больцмана постоянной можно определить, например, опытной проверкой законов излучения.

Авогадро число, число молекул в одном моле любого вещества или число атомов в грамм-атоме любого химически простого вещества; названо по имени итальянского физика А. Авогадро [7], (БСЭ, т. 1). Обозначается N_A . Авогадро число — число одно из важнейших универсальных физических констант (постоянных). Значение Авогадро числа существенно для определения многих других физических констант (Больцмана постоянной, Фарадея числа и другого).

Существует до 20 независимых методов определения Авогадро числа (например, на основе барометрической формулы, законов броуновского движения и так далее). Авогадро число можно также определить по формулам, связывающим его с другими физическими константами, определяемым с высокой точностью (например, Ридберга постоянной, с атомной массой протона, с магнитным моментом протона и другого). Наиболее достоверное (на 1965) значение Авогадро числа $N_A=6,02252 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ (в углеродной шкале атомных масс).

ЛИТЕРАТУРА ПОДБОРКИ

1. Большая Советская Энциклопедия (т. 18, 21) — М.: Советская Энциклопедия, 1981. — 30 т.
2. Власова З. А. Биология. Справочник абитуриента. — М.: Филол. Об-во «Слово», 1997. — 640 с.
3. Большая Советская Энциклопедия (т. 20, 28) — М.: Советская Энциклопедия, 1981. — 30 т.
4. Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов, пер. с англ., М., 1960.
5. Большая Советская Энциклопедия (т. 1, 5, 13, 20, 21, 27) — М.: Советская Энциклопедия, 1981. — 30 т.
6. Тиманюк В. А., Животова Е. Н. Биофизика: Учебник. — 2 издание. — К.: ИД «Профессионал», 2004. — 704 с.
7. Большая Советская Энциклопедия (т. 1, 3, 4, 24, I) — М.: Советская Энциклопедия, 1981. — 30 т.

Наукове видання

Назаров Микола Іванович

Прогностика упорядкування виробництв

(Російською мовою)

Видавничій дім «Норд-Прес».

Св. про в держреєстрацію ДК № 839/83112

м. Донецьк, вул. Разенкова, 6. Тел.: (062) 389-73-80, 389-73-84

Підписано до друку 16.12.2008. Формат 29,7x42 1/4. Папір офсетний
Ум.- друк. арк. 19,87. Обл.-видавн. арк. 18,6. Зам. 114. Наклад 100 прим.