

Глава 6. Характеристики кибернетической революции. Проявление ведущих тенденций на разных ее фазах

6.1. ХАРАКТЕРИСТИКИ И ТРЕНДЫ КИБЕРНЕТИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ

Характеристики. Теперь мы можем сформулировать более строго и в системе основные характеристики и тренды кибернетической революции, которые, как мы предполагаем, обретут зрелые формы и широкое распространение на завершающей ее фазе. Дополнительно мы обобщили основные характеристики технологий кибернетической революции (как уже проявивших себя, так и тех, что, как мы предполагаем, проявятся позже). Обе группы характеристик, конечно, в значительной степени перекликаются, но в них есть некоторые моменты, которые дополнительно проясняют сформулированные черты. Далее эти краткие формулировки будут развернуты, к ним будут даны пояснения (как в настоящей главе, так и в третьей части книги).

Важнейшие черты и тренды кибернетической революции

1. Рост объемов информации и усложнение систем ее анализа (включая способность систем к коммуникации и интерактивности);
2. Постоянное развитие систем управления и самоуправления;
3. Массовое использование искусственных материалов с новыми свойствами;
4. Рост степени управляемости: а) процессами разной природы (включая живое вещество; б) новыми уровнями организации материи (молекулярный, атомный и субатомный);
5. Миниатюризация и микроминиатюризация¹;
6. Экономия ресурсов, энергии и труда в любой области;
7. Индивидуализация/персонализация (все больший учет особенностей индивида в технологиях и бизнес-стратегии);
8. Использование все более «умных» технологий и тенденция к очеловечению их функционала (использование обычного языка, голоса и т. п.);
9. Использование самоуправляемых систем для контроля над индивидом, его поведением и социальными процессами².

Характеристики технологий кибернетической революции

1. Преобразование и анализ информации как неотъемлемая часть технологий;

¹ То есть постоянное уменьшение размеров деталей, приборов, машин, искусственных органов, имплантатов и т. п. О микроминиатюризации см.: <http://www.igi-global.com/dictionary/microtization/18587>.

² В том числе для предотвращения аварий и катастроф, связанных с так называемым человеческим фактором и нарушением инструкций (например, когда система не позволит человеку в состоянии опьянения или болезни садиться за руль, хотя параллельно, конечно, будут развиваться и беспилотные автомобили и другой транспорт).

2. Рост взаимодействия технологических систем с окружающей средой;
3. Тенденция к автономизации и автоматизации управления, рост управляемости и самоуправляемости систем;
4. Рост возможностей технической «памяти» и антиэнтропийности (уменьшения потери информации).
5. Способность материалов и технологий адаптироваться к задачам и условиям («умные» технологии и материалы), а также их способность выбирать оптимальный режим в контексте поставленных целей и задач.
6. Масштабный синтез материалов и характеристик систем разной природы (например, живой и неживой).
7. Объединение в одной системе техники (машин и оборудования) и технологии (знаний о процессе, ноу-хау) в единую технико-технологическую систему³.
8. Самоуправляемые системы станут ведущим звеном технологического процесса и использования различных вещей.

Очевидно, что эти черты и характеристики действуют в комплексе, усиливая и поддерживая друг друга. Но, разумеется, в одной технологии или системе никогда не бывает представлен весь спектр характеристик. Он в совокупности составляет ядро системного кластера инноваций новой технологической эпохи.

Ниже мы даем более или менее развернутые пояснения к сформулированным характеристикам. Дополнительно примеры и пояснения будут даваться в следующих параграфах и главах.

Информация, связь с внешней средой, управление и антиэнтропийность.

Как нетрудно заметить, ряд характеристик теснейшим образом связан с базовыми понятиями кибернетики как науки об информации в управлении сложными системами при взаимодействии последних с внешней средой. Как было сказано в *Главе 5*, уже на начальной фазе кибернетической революции произошел переход к технологиям, в которых работа с информацией играет все более важную (или даже одну из главных) роль. Но, добавим, что такой переход начался еще в XIX – начале XX в., когда появились технологии, передающие информацию в чистом виде (такие как телеграф, телефон, радио, аудиоаппаратура, телевидение). Однако это не была ведущая в смысле создания объемов производства техника. С появлением информации в чистом виде, которая смогла отделиться от своей прежде неразрывной связи с материалом (то есть информации на небумажных носителях, когда появилась возможность запасать и хранить огромные объемы информации), и вместе с мощным развитием ИКТ сектор информационных услуг стал играть исключительно важную роль.

Однако для кибернетической революции в целом речь идет не только о специализированных информационных технологиях, которые выделились в особый сектор уже на ее начальной фазе. Теперь мы видим, как ИКТ становятся почти обязательной частью многих технологий и технических систем, а информационные узлы играют подчиненную роль, будучи призваны обеспечивать весьма разнообразный функционал. *Информация, подобно энергии, становится инте-*

³ В течение индустриальной революции эти элементы существовали отдельно друг от друга: технологии либо были овеществлены на бумаге, либо вовсе существовали в нематериальной форме, в виде фантазий инженеров.

гравной частью работы любой эксплуатируемой системы. При этом, как и энергия, информация существует в разных видах. Очевидно, что генетическая информация, информация, идущая от мозга в виде электронов, передача информации в компьютерах с помощью электронов, или вербальная информация, представляют существенно разные ее формы. Но технологический процесс идет в направлении, позволяющем трансформировать одни виды информации в другие без потери смысла через ее универсальные промежуточные формы. Можно надеяться, что в процессе завершающей фазы кибернетической революции мы существенно продвинемся на этом пути трансформации (хотя, конечно, и не так, как предполагают последователи Курцвейля, чтобы напрямую подсоединять компьютер к мозгу).

Итак, получение, перевод в более удобные или универсальные формы, анализ, трансформация, дальнейшая передача и использование информации для управления – это функция не только специализированных информационных систем, но и в принципе практически всех технологий научно-кибернетического принципа производства (подобно тому как электротехнологии стали использоваться в абсолютном большинстве современных приборов). Соответственно, в отношении самоуправляемых систем мы ведем речь о роли информации как компонента технологий на всех стадиях процесса, что в целом и позволит использовать системы разной природы в качестве подсистем более сложных самоуправляемых систем.

Отметим, что такой путь развития: сначала создание специализированных технологий, затем их усовершенствование до состояния, когда они могут широко использоваться и в других отраслях, в итоге – превращение тех или иных технологий в универсальные, являющиеся частью более сложных технологий, – очень распространен в истории. Мы предполагаем, что и развитие самоуправляемых систем пойдет таким же паттерном: сначала путем создания специализированных самоуправляемых систем, затем будут созданы универсальные самоуправляемые системы, которые в дальнейшем могут стать узлами для множества систем.

Постоянно растет важность (и технологическая составляющая) связи технологий с внешней средой. Увеличиваются уровень, плотность и сложность обратных связей с окружающей средой. У приборов, машин и т. п. все большую роль играют прежде периферийные устройства⁴. Поскольку информация и реакция на нее являются центральной характеристикой, технологии и вещи становятся «умными» (об этом далее), у них появляется реакция, обратная связь. В итоге наблюдается рост числа и уровня техники, которая обладает «органами чувств» и анализаторами информации. Подобная техника и технология в ходе завершающей фазы кибернетической революции станут ведущей частью производства и жизни. Мы ожидаем, что в дальнейшем возрастут число параметров связей с внешней средой и уровень и виды анализа, которые будут доступны технологиям. Взять, например, роботов. Одно дело – роботы-манипуляторы. Другое – полнофункциональные устройства, способные ориентироваться в пространстве, двигаться и т. п.

⁴ «Устройства ввода и вывода, игравшие ранее вспомогательную роль, приобретают характеристики важнейших составных частей машины», – писал, например академик В. М. Глушков (1986: 49). Но теперь число и значимость самых разных периферийных устройств значительно возрастают.

При этом растет часть информации, которую можно назвать *управляющей удаленной информацией* (непосредственно удаленные команды и сигналы). Одновременно можно сказать, что вектор развития направлен в сторону создания *антиэнтропийной* техники, в которой потери информации предустановленного порядка сокращаются (это также одна из характеристик экономии, о которой мы еще скажем ниже).

«Умные» системы и их характеристики. Сегодня имеется множество так называемых «умных» технологий и вещей, которые соответствующим и иногда достаточно гибким образом реагируют на внешние воздействия. Простым, но наглядным примером могут быть матрас или подушка, которые принимают (или запоминают) форму тела (головы) пользователя. Другой пример – очки-хамелеоны, стекла которых меняют силу солнцезащиты в зависимости от яркости солнечного света. Чем такие вещи отличаются от самоуправляемых систем? В них, как и в автоматических системах типа самостоятельно открывающихся и закрывающихся дверей, включающих и выключающих свет электроприборов и т. п., используются только элементы саморегуляции (или в более сложных вещах – самоуправляемости). «Умные» технологии с элементами саморегуляции имеют довольно ограниченную амплитуду реакций в рамках заданного спектра. Даже в такой системе, как регулятор температуры, который за определенное время запоминает климатические привычки владельца, амплитуда предпочтений не слишком велика.

В то же время в самоуправляемых системах процессы распознавания, запоминания и выбора режима должны происходить в гораздо более широкой амплитуде, часто это будет выбор в рамках неопределенных возможностей. Для самоуправляемых систем число вариаций гораздо больше (точнее говоря, это число не определено), такие системы способны выбирать правильную модель действий в любой комбинации в рамках ее возможностей. Так, если рассматривать навигатор, то число вариантов достижения заданного пункта с учетом того, что после каждого изменения выбранного маршрута появляются модифицированные варианты, велико или потенциально даже не ограничено (чем чаще водитель отклоняется от маршрута, тем больше вариантов). Однако для понимания характеристик самоуправляемости крайне важно, что в любой ситуации навигатор должен вывести водителя в правильный пункт из любой исходной точки. Поэтому степень самоуправляемости здесь можно рассматривать как более высокую, чем у пылесоса, хотя сам прибор не слишком сложен.

Спектр сложности «умных» систем весьма велик. Есть «умные» системы, в определенной мере подходящие под определение самоуправляемых. Так, например, имеется концепт «умного» цветочного горшка, который умеет самостоятельно регулировать влажность, освещенность, поддерживать различные режимы для растений (Innovative... 2015). Робот-пылесос или тем более робот для очистки бассейнов может сам выбирать режим и легко обходить препятствия. Так, для удаления листьев пылесос способен использовать щетку и помпу. Такой робот уже приближается к самоуправляемым системам. Тем более к понятию самоуправляемой системы подходит «умный дом», в рамках которого система будет следить за всеми жизненно важными параметрами внутри жилища и регулировать их в соответствии со вкусами его обитателей.

В этой главе мы еще вернемся к характеристикам «умных» систем и машин, поскольку их разнообразие, развитие и усложнение обеспечивают подготовку перехода к завершающей фазе самоуправляемых систем кибернетической революции. А сейчас поговорим об «умных» системах в связи с такой характеристикой кибернетической революции, как гибкость систем в отношении поставленных перед ними задач.

Гибкость систем в отношении выбора оптимальных режимов для разнообразных целей и задач, рост «умных» технологий и вещей. В результате значительного прогресса в технологиях управления, саморегуляции и самоуправления, роста возможностей подбора материалов с заданными свойствами, а также в ответ на такие тренды, как индивидуализация, развилась гибкость систем, то есть способность перенастраиваться под различные требования и задачи. Например, такие технологии, как 3D-печать, в принципе созданы, чтобы производить продукцию по индивидуальным проектам или небольшими сериями, выпускать продукты самого разного назначения – от копий археологических экспонатов, сложных геометрических поверхностей до медицинских протезов (Канесса и др. 2013). Но и в целом масса «умных» технологий настраивается именно под изменение условий (например, уже упомянутые очки-хамелеоны или «умное» наностекло, которое меняет способность пропускать солнечные лучи в зависимости от степени освещенности комнаты и температуры в ней) либо вовсе под индивидуальные требования.

Вот яркий пример создания простой, но нужной биотехнологической системы, который показывает безграничность возможностей использования принципов адаптации материалов. С недавних пор хирурги стали использовать для сшивания ран пластиковую нить, обладающую памятью. Эта нить способна принимать форму узла. В холодном состоянии нить стягивают узлом. Специальные фрагменты, добавленные в молекулярные цепи химическим путем, «запоминают» форму узла. Потом нить распрямляют и нагревают до 40 °С, практически до температуры человеческого тела. Химические метки немедленно реагируют на повышение температуры: в течение двадцати секунд нить сворачивается в узел, принимая прежнюю форму. Таким образом еще до операции хирург подбирает форму узла, которая наилучшим образом подходит для пациента и не вредит прилегающей ткани (Мир нефти б. г.).

В *Главе 9* мы также приводим пример «умной» технологии, созданной 3D-биопринтером: участок трахеи, который обеспечивает ее изменение в течение роста больного ребенка таким образом, чтобы тот развивался нормально.

Таким образом, уже намечается путь все большего выбора индивидуальных стратегий и программ для решения конкретных задач, для особых целей индивидов, для конкретных территорий, сельхозугодий и т. п.

Тенденция к автономизации и автоматизации управления. Рост сложности связей с внешней средой выражается и в том, что техника и технология становятся почти неразрывными, очень сложно отделить материальную часть от знаний о процессе, они взаимодействуют друг с другом, что дает возможность для развития функций управления (см. далее). Рост управляемости и самоуправления систем стал ведущим трендом не только в технических, но и в иных системах и материалах. В каждой технологии есть своя управляющая часть (либо элементы, либо подсистемы, либо отдельные системы управления).

Эта управляющая часть становится обязательным посредником между человеком и технологией. Общий тренд ведет к тому, что все больше функций управления автоматизируется. Все чаще эти системы управления пространственно отделяются от объекта управления, то есть становятся как бы автономными. При этом фактически появляются подсистемы внутреннего и внешнего управления. (Самый обычный пример – пульты управления телевизором, сплит-системой и т. п., которые запускают основную систему управления.) *Автоматизация и автономизация управления могут быть рассмотрены как высшая ступень управления.*

Стоит отметить увеличение расстояний, на которых действует управление (управляющие сигналы) благодаря стремительно развивающимся беспроводным технологиям, и его удобство, за счет чего функция управления техникой становится массовой.

Все большая автономизация систем управления, появление в них новых уровней и функций неизбежно приведут к тому, что в ходе кибернетической революции начнут широко использоваться принципы самоуправляемости разного типа систем: технических, биологических, экологических, бионических, биосоциальных и т. п. – путем создания соответствующих технологий регулирования.

Искусственные материалы, синтез различной природы материалов и характеристик, расширение сфер воздействия. Выше мы уже говорили о том, что развитие химии в начале кибернетической революции было неразрывно связано с созданием новых материалов с заданными свойствами. В настоящее время наблюдается процесс создания искусственных биологических и биотехнических материалов, а также органов человеческого организма и т. д. Этот процесс в дальнейшем приобретет большой размах. Кроме того, создаются наноматериалы, обладающие совершенно особыми свойствами (см. ниже). Таким образом, важнейший тренд кибернетической революции заключается в том, что количество искусственных материалов будет расти, равно как и области науки, с помощью которых они будут создаваться. Надо отметить, что налицо все большая фундаментальность исходного сырья (так, в химии и биологии исходным сырьем все чаще становится уже модифицированное или искусственно созданное вещество; в нанотехнологиях – молекулы и атомы). Это качественно увеличивает возможности в области синтеза новых материалов.

В настоящее время очевиден выход за пределы работы с техническими системами, в частности в область биологических и природных (живых и неживых) систем, а также обозначился новый тренд – синтез материалов, характеристик и принципов функционирования систем разной природы. Наглядно это видно, например, в применении в медицине искусственных (химических, металлических и биологических) материалов и органов в процессе лечения и адаптации человеческого организма⁵.

Как уже было сказано, налицо качественный рост уровня управляемости процессами разной природы, масштаба и уровня сложности. Отметим переход к управлению процессами на уровне фундаментальных частиц (от молекул к атомам и ниже, к субатомным частицам), движение к наноуровню от микроуровня, а также к работе на клеточном и субклеточном уровнях.

⁵ Высказываются даже идеи, хотя, возможно, и нереалистичные, о замене телец крови нанороботами.

Использование самоуправляемых систем для контроля над индивидом и социальными процессами. Возможно, это направление, поскольку оно связано с личной жизнью людей, является наиболее противоречивым. Оно может нести как много удобств и увеличивать безопасность, так и массу неудобств и проблем, которые вполне ощущаются и сегодня. Персонализация с помощью ИКТ-технологий (см. ниже) уже привела к тому, что с помощью как законных, так и незаконных методов (компьютерных вирусов, программ-шпионов, слежки за индивидом) происходит сбор персональных данных и использование личной информации в коммерческих, идеологических и политических целях. Эти компьютерные программы уже имеют некоторые признаки самоуправляемых систем. Но в будущем использование самоуправляемых систем для контроля над индивидом проявится в гораздо более широком плане, если представить, что вся социальная и физиологическая жизнедеятельность индивида может быть зафиксирована, оцифрована и использоваться в различных целях.

Можно предположить, что наибольшую роль станет играть контроль над человеком для исключения негативного влияния так называемого человеческого фактора в ситуации повышенных рисков⁶. Это может быть всесторонний контроль: в отношении недостаточной сосредоточенности и внимания человека как оператора; в отношении требований соблюдать технологию, недопущения опасности для оборудования; препятствия созданию опасной ситуации для других (в том же автомобиле), а также и в отношении нарушения определенных правил поведения. Конечно, это создает большую угрозу приватности, свободе воли человека, способности кардинально изменить модели поведения. Соответственно этот риск необходимо учитывать и минимизировать⁷. Хотя общее развитие будет идти в направлении максимального исключения (сокращения присутствия) человека из системы контроля, однако ситуации, в которых человеческий фактор может проявляться негативно, всегда будут иметь место (предполагаем, что это будет проявляться в контроле с помощью особых систем за соблюдением определенного режима большими людьми, а также специалистами и служащими, деятельность которых должна находиться под контролем, например полицейскими или врачами)⁸. В том числе такие системы могут быть очень востребованными в отноше-

⁶ Например, современная гражданская авиация уже достигла того уровня развития технологий, при котором самым ненадежным звеном системы становится человек. Подтверждением этому может служить статистика причин возникновения авиакатастроф и нестандартных ситуаций в авиации (Баженов б. г.). Авиакатастрофа аэробуса A320 24 марта 2015 г. в Альпах, в которой был виноват немецкий пилот, имеющий психическое отклонение, весьма показательна в этом плане.

⁷ Уже сегодня разрабатываются различные «умные» системы для помощи водителю, например «умная» система безопасного вождения автомобиля, которая анализирует световые потоки и сигналы (<http://itechfuture.com/concept-of-system-that-is-controlled-by-the-drivers-view/>), или «умная» дорога, которая с помощью нанопокрывтия меняет цвет в зависимости от погоды и предупреждает водителей об опасности, например, скользкого полотна (<http://itechfuture.com/concept-smart-highway/#comments>). Есть даже концепции очень сложной саморегулируемой системы «умного» города, которая обеспечит безопасное движение без светофоров, комфорт для жителей, где дороги станут пространством с многофункциональными способностями, определяемыми исходя из потребностей, где будут взаимодействовать «умные» светофоры, знаки, машины и т. д. (<http://itechfuture.com/concept-urban-future/>). Это пока совершенно фантастический проект, но он хорошо иллюстрирует возможности сложных самоуправляемых систем, в данном случае техносциальных.

⁸ В качестве курьезного, но весьма показательного примера можно указать попытки разработать своего рода одежду-компьютер, который будет подпитываться энергией тела человека и представлять собой целый информационный комплекс, включающий в себя мобильный телефон, выход в Интернет, видеочамеры, записывающие устройства. Такая «одежда» способна следить за состоянием организма владельца и даже при необходимости позвонить в скорую помощь (Черняк 2006: 472–473).

нии контроля над детьми и недееспособными людьми, а также животными. Здесь, кстати сказать, возможности создания техно-социальных самоуправляемых систем будут очень значимыми.

Индивидуализация. Индивидуализация/персонализация превратилась в одну из ведущих производственных и бизнес-стратегий, что во многом связано с экономическим трендом, который опирается на потребление домохозяйств и индивидов (как известно, именно это потребление, по мнению многих экономистов, является важнейшим для роста ВВП). Соответственно, в таких условиях выигрывают те производители и технологии, которые лучше учитывают индивидуальные запросы⁹. Собственно движение к индивидуализации подкрепляется общим вектором информационных технологий, которые все более ведут к тому, чтобы пользователь имел возможность быть уникальным в сети Интернет, чтобы компьютер, телефон или иной гаджет, равно как и его содержание, были сугубо личными. Все более разнообразные технические системы стремятся запомнить потребности, вкусы и пристрастия владельцев. В будущем самоуправляемые системы будут подстраиваться под изменяющиеся условия или поставленные пользователем задачи. Индивидуализация активно проявится в возрастающем спросе на коррекционную медицину и пластику, и в следующих главах мы также расскажем о формах индивидуализации/персонализации в отношении фармакологии и медицины.

Индивидуализация становится одновременно и технологией, и способом идентификации человека через его уникальные биометрические и иные биологические характеристики. В дальнейшем в связи с ростом новых биомедицинских технологий роль индивидуализации в них будет колоссально возрастать, а общее движение пойдет от массового производства вещей к подстройке их к индивидуальному пользованию. Спектр таких услуг может невероятно расширяться. От массовой моды, например, смогут перейти к моде в узкой среде или даже к индивидуальной моде, что будет вполне по силам, к примеру, при создании технологий искусственного модельера и портного с использованием 3D-технологий (это, кстати, один из множества примеров профессий, которые могут измениться или исчезнуть, о чем мы еще будем говорить). Соответственно профессия консультанта станет очень востребованной, но одновременно этот процесс будет развиваться по пути создания технологий, заменяющих консультантов.

Экономия ресурсов, энергии и труда во всех сферах. Экономия труда была лейтмотивом предшествующей индустриальной революции. Кибернетическая революция продолжает это направление. Только теперь вместо простого механического труда начинается широкомасштабная экономия сложного и интеллектуального труда, которая охватывает сферу за сферой. ИКТ и «умные» машины совершают массу операций, ранее требовавших огромных умственных усилий миллионов людей – от расчетов и математической обработки данных до сложных финансовых операций, от перевода иностранных слов до дистанционного обучения, от фотографий до дизайна, от взятия анализов до постановки диагно-

⁹ В течение 1950–1980-х гг. в СССР создание ЭВМ шло по старой траектории, то есть их рассматривали именно как машины, которые должны использоваться в соответствующих учреждениях или на производстве. В то же время в США траектория информатики уже с 1970-х гг. пошла по другому пути – создания персонального компьютера (как ранее персонального автомобиля), что сразу колоссально расширило рынок и одновременно увеличило мощность новой информационной техники, которую стали использовать десятки миллионов людей вместо десятков тысяч специалистов.

за. Миниатюризация, создание новых материалов и экономных источников питания, прогресс в системах управления, повышенная точность технологии (например, локализация области воздействия с помощью лазерных или нанотехнологий) и многое другое обеспечили общий курс на экономию ресурсов и энергии во многих процессах (чему также значительно способствовал рост цен на сырье и энергию, а также экологическая политика [Вайцеккер и др. 1999]). Стоит напомнить, что необходимость экономить ресурсы, проблема их исчерпания ставилась едва ли не с самого начала кибернетической революции (и даже много раньше). Но в качестве научно обоснованного, широко распространенного (хотя и слишком пессимистичного, опровергнутого жизнью) моделированного прогноза о такой постановке можно говорить с первых докладов Римскому клубу в начале 1970-х гг. ([см., например: Meadows *et al.* 1972; Mesarović, Pestel 1974; Tinbergen, Dolman 1976; Laszlo 1977; Пестель 1988; см. также: Римский клуб... 1997; Медоуз и др. 1991; 1999]; в настоящее время имеет некоторое распространение концепция устойчивого развития [см., например: Барлыбаев 2007]). В целом в абсолютных цифрах потребление энергии и материалов в мире пока растет. Но в пересчете на отдельную машину или лампочку потребление сокращается довольно заметно. Рост управляемости и самоуправляемости, возможность выбора гибких режимов, работы по индивидуальным программам, перехода к нанотехнологиям и прочему позволит, как мы полагаем, усилить эту тенденцию.

Миниатюризация и микроминиатюризация. Миниатюризация, то есть постоянное уменьшение размеров деталей, приборов, машин, искусственных органов и т. п., наблюдается с самого начала кибернетической революции (и была заметна даже до нее). Однако особенно активно она начала развиваться после появления транзисторов. А изобретение интегральных схем стало своего рода рубежом, после которого миниатюризация перешла в микроминиатюризацию¹⁰. Последняя была также связана с радикальным расширением возможностей управления в микромире, в частности с использованием все новых видов энергии для воздействия на микрочастицы (а также клетки и гены), причем этот уровень может стать базовым в технологиях¹¹. Нано- и биотехнологии – быстрорастущие отрасли с большим будущим, которые работают на указанном уровне.

Движение в сторону возникновения системного кластера инноваций. Различные направления уже развиваются в сторону создания системного кластера инноваций. В дальнейшем, как это всегда бывает в инновационных фазах производственных революций, эффект такой кластеризации станет колоссальным. Все указанные направления уже тесно связаны, их дальнейшее развитие приведет к тому, что они будут взаимно поддерживать друг друга. Так, например, экономия ресурсов и энергии может осуществляться в результате выбора автономными системами оптимальных режимов в рамках конкретных целей и задач, и наоборот, выбор оптимального режима будет зависеть от уровня потребления энергии и материалов, а также бюджета потребителя. Усиление самоуправляемости систем приводит к тому, что объединяются системы разной при-

¹⁰ О некоторых аспектах обоих направлений см.: Danko *et al.* 1959; Peercy 2000.

¹¹ Одними из интересных примеров являются так называемая лазерная химия (см. гл. 5) и биохимия (Летохов 1978; Тарасов 1988: 183–187).

роды (например, технические и биологические, социальные и биологические, технические и социальные и т. п.). А создание таких симбиотических систем повышает уровень и масштаб управляемости. Миниатюризация усиливает индивидуализацию и экономию ресурсов, а курс на индивидуализацию и экономию требует еще большей миниатюризации. И такого рода положительные обратные связи можно проследить в большом количестве.

Секторальные изменения. В связи с некоторыми из вышеуказанных изменений вероятны крупные изменения в секторальной структуре экономики. Первичными секторами считаются аграрный и добывающей промышленности, вторичным – обрабатывающей промышленности; третичным – сектор услуг; четвертичным – сектор сложных услуг (информационных, образовательных, финансовых и других, ныне важнейший сектор экономики в ряде стран). Уже существует термин «пятеричный сектор» (*quinary sector*), к которому относят предприятия, оказывающие услуги в области здравоохранения, культуры и научных исследований. (В *Приложении 2* мы еще остановимся на истории возникновения секторов экономики.) Таким образом, с началом кибернетической революции 1950-х гг. сектор услуг становится ведущим (по числу занятых, опережая промышленность), далее в этом секторе происходит дифференциация, при этом основной тренд ведет к росту сложных услуг, в том числе медицинских. Обратим внимание, что при этом выделение секторов стимулирует появление для них новых технологий, связанных с обработкой информации и частичным регулированием (оптимизацией) этой деятельности. Вместе с ростом сектора услуг и его дифференциацией происходит и рост значимости потребителей, для которых также создается огромное число различных приборов, машин (систем), услуг, где реализуются новые черты производства.

Постоянное развитие систем управления, саморегуляции и самоуправления дает нам основание предположить, что в будущем может сформироваться сектор управляющих услуг¹². Должен появиться, по сути, новый уровень производства, который станет в некотором смысле ведущим, – это контрольно-регулирующие и управляющие системы (управляющие другими системами или процессами или самоуправляемые). Как над добывающей промышленностью «наросла» обрабатывающая, а над ней уже машиностроительная, так и здесь появится новый огромный сектор экономики – *управляющих услуг*.

Вместе с ростом всевозможных услуг одновременно развивается противоположный тренд депрофессионализации многих видов услуг, в результате развития техники они становятся доступными для любителей и просто для каждого. Поскольку труд профессионалов очень дорог, здесь происходит и его экономия. Этот процесс напоминает перевод цехового (профессионального) ремесла в домашнее и мануфактурное. Напомним, этот процесс означал, что ремеслом, для занятий которым ранее требовались долгая регламентация и специальные экзамены, начинают заниматься непрофессионалы. Соответственно объемы производства резко возрастают, а цены снижаются (но и качество может ухудшаться). В ре-

¹² Возможно, что появятся в большом количестве фирмы, которые будут с помощью новейших управляющих и самоуправляющих технологий «подгонять» управление таких систем, как дома, под особенности хозяев (подобно тому как дизайнер «подгоняет» интерьер), а также брать на себя значительные функции управления (уже сегодня есть примеры различного рода «умных» управляющих систем в фирме: диспетчер, управление персоналом и т. п.).

зультате увеличения объемов подготовка и доставка сырья и механизмов для такой домашней переработки начинают составлять достаточно большой сектор.

Индивидуализация вкупе с появлением соответствующей техники, нужного объема информационных библиотек и технологий, уже запустили, а в ходе завершающей фазы кибернетической революции сделают абсолютно массовым процесс, благодаря которому производство услуг и вещей в значительной мере перейдет от крупных предприятий к мелким и к домашнему производству¹³. Уже сейчас имеется, например, несколько сотен тысяч (а скоро будут миллионы) доступных для скачивания 3D-моделей. Соответственно растет число людей, которые могут делать множество вещей (а в скором времени еще больше) в собственных мастерских, на своем 3D-принтере. Как пишут редакторы книги о таких принтерах, возможно, мы на пороге нового информационного неравенства между теми, кто хочет и может делать на них все, что им нравится, и теми, кто не может этого делать (Канесса и др. 2013: 33). Огромное число услуг, включая весьма дорогостоящие, таким образом, перейдет в руки индивидов, что серьезно трансформирует количество и компетенции многих профессий, а ряд секторов экономики сосредоточится на обеспечении людей средствами для домашнего производства и сектора услуг в виде все более «умных» вещей и самоуправляемых систем.

6.2. НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КИБЕРНЕТИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ НА ЕЕ НАЧАЛЬНОЙ И МОДЕРНИЗАЦИОННОЙ ФАЗАХ

К настоящему моменту создано не только огромное количество автономно действующих «умных» устройств, но также множество саморегулируемых и самоуправляемых систем в технике и производстве – от разнообразных охранных систем до регулирования сложнейших процессов на АЭС или космической станции. Но путь к созданию таких совершенных систем обычно был довольно долгим. В этом параграфе мы покажем на некоторых примерах, каким образом такие характеристики кибернетической революции, как самоуправляемость, миниатюризация, экономия ресурсов, индивидуализация и др., проявлялись накануне кибернетической революции, в ее ранних фазах, и как они реализуются в настоящем времени. Но все это показано штрихами, мы не стремились дать здесь систематическое и подробное изложение процессов.

Самоуправляемость. В работе автономных, саморегулируемых и самоуправляемых систем в течение XX в. (и особенно второй его половины) стали объединяться важнейшие достижения науки и техники [Шейпак 2009: 101]: различные системы автоматизации (реле, переключатели и т. п.), контроль за подачей и регулированием мощности сигналов и энергии (принципы транзисторов и т. п.), использование фотоэффекта, радио- и других сигналов, компьютерные программы, телекамеры и прочие способы контроля на расстоянии, обнаружение объектов и определение их параметров (световые, лазерные, ультразвуковые и инфракрасные контроллеры и т. п.) и ряд других.

¹³ Вероятно, эти многочисленные производства и мастерские будут объединены в разнообразные сети и структуры.

Еще в начале XX в. были использованы некоторые формы связей, которые напоминали поведение животных. В частности, заслуживала внимания способность кибернетических устройств «по свистку» (то есть под воздействием звука) находить источник его возникновения. Уже во время Первой мировой войны немцы применяли против кораблей английского военного флота звуковую торпеду, действовавшую по этому принципу. В торпеду были вмонтированы два микрофона, с помощью которых плавучий снаряд, ориентируясь по гулу винтов, преследовал судно и таким образом всегда достигал его с кормы. В технике широко используется также и «фототропизм» искусственных животных, то есть их способность двигаться на источник света. В частности, это явление применяется в метеорологических ракетах, которые направляют в сторону Солнца (Черняк 2006: 445).

Постепенно функционал умных вещей и устройств, включая различные бытовые приборы, возрастал¹⁴. Целые технологии сегодня могут уместиться в автоматизированных новейших комплексах, где деятельности человека требуется все меньше и меньше. Так, можно шаг за шагом рассмотреть процесс автоматизации в полиграфии, где она стала внедряться довольно рано. В итоге сегодня распространены технологии, которые изготавливают книги от начала до конца в любом количестве, начиная с 1 экземпляра (так называемое изготовление по требованию, print-in-demand).

Важным было создание машин автономного действия, к которым относятся и роботы. Быстрое совершенствование машин автономного действия определило характерные особенности трех последовательных поколений данных машин. К первому поколению принадлежали роботы, которые были снабжены циклической системой, ко второму – роботы с рефлексным принципом управления, к третьему – роботы с адаптивной системой управления, основанной на принципах самоорганизации и самоусовершенствования. Создание третьего поколения роботов выдвинуло необходимость введения в систему управления элементов искусственного интеллекта, для чего потребовались и «органы чувств». Были созданы устройства с элементами машинного зрения. Они могли находить некоторые объекты, а также собирать определенные простейшие механизмы. Таким образом, в промышленных роботах объединены две тенденции: с одной стороны, рост их экономичности, с другой – автономности (Там же: 436, 434; подробнее историю робототехники см. в *Главе 11*).

Развитие «органов чувств» имеет немалую историю, так же как и способы передачи информации с помощью техники и для контроля над техникой. По мере того как создавался арсенал приборов, которые могли быть использованы в качестве «органов чувств» сложных систем (то есть с их помощью можно было получать и передавать информацию от окружающей среды), возникла возможность их объединять. У создания таких приборов длительная история. Так, оптические приборы («глаза») создавались и совершенствовались в течение столетий, их специализация и возможности все возрастали (телескоп, микроскоп, пе-

¹⁴ Обычный холодильник, который появился в 1920-е гг., может быть примером того, как число функций, которые он может выполнять самостоятельно (например, разморозку, выбор температурного режима, яркости освещения и т. п.), а также функций контроля за безопасностью работы (например, сигнал о незакрытой двери), растет. Другой пример – обычный лифт. Изобретенный давно, постепенно он приобретал все больше функций, приближаясь к полной автоматизации. Автоматы по продаже различной продукции постоянно увеличивают свои функции и возможности.

рископ, фотообъектив, телеэкран и т. п.). Фотография имеет исключительно интересную историю, насчитывающую уже два века. Фотография, далее кино и телекамеры стали зрением и памятью техники. Память значительно расширилась за счет звукозаписывающих устройств, объединившихся с кино- и телекамерами. Особого рода «ушами» выступают приборы типа эхолота, способные определять расстояние до препятствия, чтобы изменить скорость или параметры движения. То же касается и приборов, улавливающих различные волны (как в плане чистой информации, связанной со звуками и шумами – «уши», так и температурной – например, инфракрасные лучи и «осязание»). Это микрофоны, телефоны, радары, радиоприемники и т. п. Наконец, созданы и анализаторы, способные улавливать «запахи», то есть «обоняние» (вероятно, недалеко и до создания «органа вкуса», что будет вполне реально при роботизации поварского дела, о чем уже было сказано выше). Создание таких «органов чувств» позволило объединять их путем управления через особый интеллектуальный орган, «нервную систему» или «мозг» технического устройства или автоматизированной системы.

Это был путь восприятия, так сказать, чистой природной информации подобно той, которую получают живые организмы через свои органы чувств (в том числе и такие, которые недоступны человеку, имеется в виду эхолокация, восприятие инфракрасных и ультразвуковых сигналов). Он мог быть возможен только в тесной связи с наукой, научными открытиями, которые позволяли разложить внешне очень разнообразную информацию таким образом, чтобы найти ее общие основы (например, в виде теории волн).

Другой путь, также возникший достаточно давно, – это способ передачи закодированной, «символьной» информации, в ряде случаев более «понятной» технике. Таким, например, был телеграфный код Морзе. История вычислительных машин сейчас достаточно хорошо известна, и мы не станем повторять ее, но в ней было много попыток создать особый язык. Во всяком случае, двоичный код был создан задолго до изобретения компьютера (возможно, история его создания начинается с Г. Лейбница, который, кстати, даже составил на этой базе проект счетной машины). Так или иначе, здесь технология основывалась на математике. Первым механизмом, имевшим «программное управление» с помощью перфокарт, был ткацкий станок французского изобретателя Ж. М. Жаккарда. Двоичным кодом была набрана перфокарта (есть отверстие – нет отверстия), благодаря чему можно было выткать рисунок. Количество перфокарт было большим¹⁵. Этот станок вообще являлся одним из самых оригинальных изобретений: он был, по сути, автоматом, намного сложнее прялки «Дженни» (но его роль в истории механизации оказалась менее значительной)¹⁶. Одним из пионеров создания автоматических счетных машин с использованием перфокарт был англичанин Чарльз Бэббидж, без рассказа о котором теперь не обходится ни одна история вычислительных машин. Но в итоге первый прорыв к вычислительным машинам, то есть к началу кибернетической революции, произошел в этом

¹⁵ Поскольку для создания даже небольшого узора требовалось около 100 и более точных нитей и еще большее количество нитей основы, создавалось огромное количество перфорированных карт, которые связывались в единую ленту. Прокручиваясь, она могла занимать два этажа. Одной перфокарте соответствовал один прокид челнока. Переходя к новому рисунку, оператор просто заменял одну колоду перфокарт другой.

¹⁶ История создания станка связана с большими потребностями наполеоновской армии. Французский изобретатель Жозеф Мари Жаккард, сын лионского ткача, решил автоматизировать работу ткацкого станка. Он построил станок, который даже был отмечен медалью Парижской выставки. Вскоре только во Франции работало более десяти тысяч таких станков. В процессе индустриальной революции станок Жаккарда не сыграл достойной его сложности роли. Но зато сегодня Жаккарда всегда указывают как одного из предшественников, способствующих наступлению информационного века и информационных технологий (см.: Essinger 2004).

направлении. Однако он был бы немыслим без вековых достижений полиграфической техники, так как результаты нужно было напечатать. А дальнейшее развитие информационных самоуправляемых технологий шло по пути объединения указанных двух и некоторых иных направлений (в частности, новейшей технологии копирования), что и создало современную информационную систему, которая обладает многими элементами и полным комплектом самоуправляемости.

Тенденцию возрастающего функционала техники к самоуправляемости мы можем видеть не только в производстве, но и в обращении, сфере услуг, где перешли к автономным платежам в финансовой сфере, в которой постоянно растет масштаб различных платежных систем. Огромное количество самонастраиваемых и самообучающихся систем создано в копировании и передаче сигнала (от автоответчика, факса, автоматического печатания фотографий до АТС и т. д.).

Рост масштабов управляемости. Мы видим не только постоянное усовершенствование управляемых и самоуправляемых систем, но и движение к созданию все более сложных систем, а также их комплексов. Высокого уровня достигло управление информационными системами на уровне крупных серверов, действующих в национальном и интернациональном масштабах. Как уже было сказано, на начальной и средней фазах кибернетической революции произошел переход в возможностях управления технологическими системами на уровне предприятий, группы связанных предприятий и даже выше, в некоторых отраслях – до национального и международного уровня. Таковы, например, единые энергосистемы (в том числе в Евросоюзе) или общенациональные системы связи (через космос). Процесс укрупнения идет даже в робототехнике, где уже можно одновременно управлять целыми линиями роботов.

Применение самоуправляемых систем в особых областях деятельности. Особенно наглядно переход к самоуправляемым системам происходил в тех сферах деятельности, где было сложно, опасно или очень дорого использовать труд людей. В частности, первые манипуляторы (прообразы роботов) были созданы для работы на атомных объектах в 1940-е гг. Наука, как мы отмечали, была одной из первых областей, где создание управляемых и самоуправляемых систем стало ведущим направлением. В самом деле, возьмите наблюдение за космическими объектами. С появлением фотографии, развитием оптики, автоматизацией изменения угла обзора телескопа, появлением вычислительных машин и т. п. удалось передать не только основную часть очень тяжелой работы по наблюдению за звездами и другими объектами приборам и машинам, но и автоматизировать саму обработку данных. То же самое можно сказать и о микроскопах. Современные системы компьютерной диагностики – также яркий пример роста управляемости систем. Другими областями мощного развития самоуправляемых систем являются высокотехнологичная военная деятельность, космос, освоение высот, глубин, опасные производства, спасательные работы. Военная область и космонавтика позволяют увидеть внедрение и совершенствование подобных систем. Самонаводящиеся ракеты с отделяющимися боеголовками, которые самостоятельно находят цель и могут уклоняться от ракет противника – поразительный по совершенству (хотя и ужасный по назначению) пример. Беспилотные самолеты – другой прекрасный образец, равно как и работа космиче-

ских спутников, которые не только сами по себе сложные самоуправляемые системы, но также являются интегральным звеном многих других самоуправляемых систем, например навигационных, доступных сегодня любому человеку. Мы также наблюдаем использование роботов и других самоуправляемых систем при полетах в космос и исследовании космических объектов.

Качественный рост типов самоуправляемости систем. Как уже было сказано, сегодня есть немало самоуправляемых техносоциальных систем. Наглядными примерами являются системы слежения за нарушением правил дорожного движения с помощью видеокамер, откуда сигнал поступает на компьютеры, печатающие квитанции о штрафе для нарушителей; системы слежения за порядком в общественных местах и др., интерактивное обучение.

В настоящее время очень активно развиваются IT-технологии менеджмента и администрирования, сокращающие затраты фирм на административный и контрольный аппарат. А в будущем там, где сегодня управление и регулирование поведения людей в различных ситуациях осуществляется обычным путем (с помощью организации людей и контроля администрированием, полицией, наблюдателей и т. п.), будут созданы разнообразные самоуправляющиеся системы, обеспечивающие автономный контроль. С учетом, например, тенденции все большего освобождения водителя от его функций вполне возможны полуавтономные или автономные системы регулирования движения в городе и даже в большем масштабе, а модели самоуправляемого автомобиля в последнее время стали появляться в большом количестве (см. об этом также в следующей главе). Также, собственно, как и вождения каких-то видов транспорта (не забудем также, что управляемый беспилотный самолет давно создан, испытывались также и поезда без машинистов). Вполне вероятен постоянный мониторинг состояния организма с рекомендациями, как поступать в случае отклонений от нормы (см. Главу 8), и т. п.

Социально-экономические системы. Постепенно и незаметно стали возникать социально-производственные системы, которые экономят труд администраторов. Взяв, скажем, систему контроля рабочего времени, которая сегодня может самостоятельно контролировать посещение, опоздания, общее рабочее время и определять начисление зарплаты и вычеты из нее. Системы продажи и регистрации билетов с накоплением баллов и миль также могут служить примером различных социальных систем.

В сравнительно недавний период ярким примером развития самоуправляемых коммерческих систем стали компьютерные торговые системы, с помощью которых все больше игроков и финансовых компаний осуществляют торги на бирже. Электронная торговля стала распространяться с 1980-х гг. (но получила широкое распространение позже), а вместе с ней стала развиваться и компьютерная (или алгоритмическая) торговля. При этом на фирмах трудятся десятки специалистов, разрабатывающих торговые программы. Последние устроены так, что они способны отслеживать очень незначительные, порой даже микроскопические, колебания курсов и стоимостей и осуществлять огромное количество малоприбыльных операций за короткое время (недаром оно учитывается в миллисекундах), что в итоге дает высокие прибыли. Налицо значительная конкуренция этих систем, порой побеждает не искусство биржевого маклера, а мощная

техника, поскольку она более быстродействующая (то есть проделывает больше операций, чем способен конкурент с менее быстрыми компьютерами). О росте алгоритмической торговли свидетельствует тот факт, что в 2011–2012 гг. на нее приходился 51 % оборота на биржах и электронных площадках США против 35 % в 2007 г., в Европе – около трети, в России – 15 % акций. А по количеству заявок ситуация и вовсе необычная: компьютерные роботы осуществляют до 90 % всех заявок (Оверченко 2012). Необходимо учитывать, что по сравнению с обычной системой при такой торговле совершается на порядок больше покупок и продаж. В то же время из-за сбоев в программах иногда происходят масштабные и дорогостоящие провалы, оцениваемые в сотни миллионов долларов. Считается, что знаменитый биржевой крах 1987 г. был связан с первым сбоем такого рода. Что характерно, даже при сбое программа действует самостоятельно, отключить или изменить ее невозможно. Поэтому значительное число участников рынка скептически и с недоверием относятся к такого рода системам. Но путем дополнительного регулирования биржевых правил и усовершенствования программ подобная система постепенно становится более безопасной. В то же время она позволяет вовлекать в торговлю дополнительные ресурсы (денежные и людские) и расширять географию участия, формирует единую систему торгов на множестве площадок, становится инструментом уменьшения монополизма некоторых финансовых центров, что в дальнейшем может значительно повлиять на географию последних. Вероятно, все же будущее бирж именно за такой торговлей. В этом случае облик биржевого игрока будет существенно изменяться (а их число сократится). Этот пример показывает, что внедрение самоуправляемых систем – не фантазия, а реальность. Как было сказано одним футурологом, будущее уже началось (Стерлинг 2005).

Мы указывали на контроль над человеком как направление развития самоуправляемости. В отношении нарушения определенных правил поведения, которое может быть опасным или вызывать беспокойство у окружающих, это станет важным моментом в направлении развития социальных систем. Уже сегодня, например, детекторы дыма в туалете самолета, которые при его обнаружении начинают требовать от нарушителя прекратить свои действия, способны показать, в каком направлении это может развиваться. Мы верим, что завершающая фаза кибернетической революции резко увеличит количество и типологию таких саморегулируемых систем, включая биологические, экологические, некоторые социальные, а также комплексные (биотехнологические, техносциальные и др.), изменит масштабы, в рамках которых можно будет поддерживать самоуправляемость.

Индивидуализация/персонализация наиболее отчетливо стала проявляться, пожалуй, с момента создания персональных компьютеров и соответственно программ для них, которые стали учитывать потребности индивидов. С самого начала это направление оказалось весьма востребованным. Так, в 1981 г. в первый же месяц продаж «персоналок» IBM реализовала их 250 тысяч (огромная цифра с учетом высокой цены). Индивидуализация развивалась вместе с миниатюризацией и созданием персональных и простых в управлении приборов (фотоаппарата, телекамеры, пейджера, телефона и т. п.). Особенно эта тенденция усилилась с развитием Интернета. Индивидуализируется и подбор товаров, например в интернет-магазине, где с помощью программных средств для каждо-

го покупателя на основе полученных при обработке данных его личных характеристик рекомендуется тот или иной товар персонально.

С учетом того, что в предшествующие несколько десятков лет преобладало массовое производство (оно доминирует и сегодня), индивидуализация – это характеристика, которая появилась не сразу¹⁷; следовательно, она – порождение кибернетической революции. Постепенно создание вещей для индивидуального пользования стало приобретать личностные характеристики (особенно с помощью программирования), но этот процесс пока еще находится на ранней стадии, и он будет развиваться существенно позднее. В будущем индивидуализация приобретет огромный размах, в том числе в создании товаров на заказ или самостоятельно с помощью специального персонального оборудования, создания персональных программ развития, обучения, контроля над здоровьем и персональными лекарствами, а также индивидуальных рекомендаций для семьи, дома, участка. Следует отметить, что индивидуализация/персонализация программ неизбежно потребует управляемых систем по их созданию (иначе никаких программистов не хватит).

Миниатюризация совершила колоссальный прорыв в самых разных отраслях, в результате механизация, электрификация и прочие направления индустриализации охватили все возможные сферы жизни. Но наиболее ярко миниатюризация просматривается в области электронных устройств и прочих приборов. Первый компьютер «Марк-1» был настоящим монстром – целым предприятием. Он был собран в корпусе из нержавеющей стали и стекла, имел длину около 17 метров, высоту – более 2,5 метров, вес – около 4,5 тонн, занимал площадь в несколько десятков квадратных метров. «Марк-1» имел электромеханические переключатели, реле и прочие детали в количестве 765 тысяч штук. В первом электронном компьютере, также огромном по размерам, имелось безумное количество электронных ламп. Трудно было предположить, что относительно скоро произойдет радикальное уменьшение его размеров. Прогнозы были следующими. «В будущем компьютеры будут весить не более чем 1,5 тонны», – предполагал *Popular Mechanics* в 1949 г. «Ни у кого не может возникнуть необходимости иметь компьютер в своем доме», – считал Кен Олсон, основатель и президент корпорации Digital Equipment Corp. И действительно, в 1950–1970-е гг. это были реальные машины – ЭВМ. Однако развитие происходило очень быстро. В 1947 г. появляется транзистор Бардина, Берттейна и Шокли, который ознаменовал открытие новой эры в области компьютерных технологий. Именно эти маленькие детали стали основой для дальнейшего развития ЭВМ. В 1956 г. все трое первооткрывателей были удостоены Нобелевской премии. Через 10–15 лет вошли в строй ЭВМ второго поколения, полностью основанные на транзисторах. Результатом стало значительное уменьшение габаритов вычислительной машины. Компьютеры третьего поколения были основаны на интегральных микросхемах. В 1964 г. фирма IBM приступила к производству модели IBM-360, быстро вытеснившей конкурентов и ставшей наиболее популярной. Далее, в 1970-е гг., появились компьютеры четвертого поколения, основанные на больших интеграль-

¹⁷ Точнее, изготовление товара на заказ при господстве массового производства было признаком богатства и социального статуса, но теперь индивидуализация возвращается уже как типичная характеристика товара.

ных схемах. Стремительное развитие электроники позволило разместить на одном кристалле тысячи полупроводников. Такая миниатюризация привела к появлению относительно недорогих и небольших компьютеров. Через 10–15 лет в массовое производство вошли персональные компьютеры, затем ноутбуки, вес которых со временем также заметно уменьшился, наконец, современные гаджеты, которые стали размером с журнал, книгу или карманный телефон.

Экономия энергии, материалов и труда¹⁸. Экономия энергии не была в числе наиважнейших направлений промышленной революции, хотя повышение КПД двигателей всегда интересовало ученых. В первые десятилетия кибернетической революции экономия энергии также не была приоритетной. Однако резкое повышение цен на энергоносители в 1970-е гг. существенно изменило вектор поиска инноваций, в частности в сторону альтернативных источников энергии (об экономии энергии см., например: Вайцзеккер и др. 1999). Менее заметна в настоящее время экономия природных ресурсов. В настоящее время добываются огромные объемы полезных ископаемых. Но и в этом направлении в плане сохранения природных ресурсов сделано уже немало. Возможно, в последующем экономия ресурсов станет качественно иной. Особенное внимание будет уделяться локализации воздействия за счет создания самонастраиваемых систем и использования новых материалов (в том числе наноматериалов). В рамках анализа экономии также следует указать на рост числа предприятий, которые занимаются утилизацией отходов, а также на развитие логистики, а равно на программы, позволяющие выбрать наиболее экономичный маршрут или проект.

Получение заданных, прежде неизвестных свойств материалов и различных систем особенно проявилось в химии искусственных материалов, о чем уже шла речь в *Главе 5*. Таких материалов создано многие тысячи видов. И появляются все новые, порой с такими полезными свойствами, что это сулит огромный простор для их применения (как, например водоотталкивающее стекло).

Глаз мотылька и лист лотоса стали прообразами для изобретения американскими химиками противобликового, водоотталкивающего (то есть супергидрофобного) стеклянного покрытия, сообщает geektimes.ru. Такое стекло никогда не запотеваает и остается кристально ясным даже в туман. А попадающая на него и отлетающая влага забирает с собой все соринки и пылинки. Открытие имеет потенциал для огромного числа применений: окна, солнечные панели, сенсоры, оружейные системы, очки, объективы и многие другие продукты (Изобретено... б. г.).

В последние десятилетия появились генетически модифицированные организмы (ГМО), наноматериалы, искусственные биологические ткани, органы и другое, о чем будет сказано в главах третьей части книги.

¹⁸ Технологии, направленные на снижение энергопотребления, продолжают совершенствоваться. Имеют перспективы разные устройства на основе солнечных батарей. Солнечная энергия будет применяться очень активно в будущем, прежде всего в качестве запасного источника, а во многих устройствах даже в виде основной. Большинство устройств будет иметь возможность заряжаться от солнечной энергии: телефоны на солнечных батареях, компьютеры, автомобили (Concept of... 2015), лодки на солнечных батареях (Concept Solar...2015).

6.3. УПРАВЛЯЕМОСТЬ И САМОУПРАВЛЯЕМОСТЬ СИСТЕМ

Завершающую фазу кибернетической революции, которая начнется в 2030–2040-х гг., как уже было сказано, можно назвать **эпохой самоуправляемых систем**. Создание и применение **самоуправляемых систем** станет ведущим трендом (подобно тому как в XIX в. применение машин, широко используемых уже несколько веков до этого, стало ведущим направлением). Мало того, в конечном счете одни такие системы будут создавать, комбинировать и модифицировать многие другие.

В результате завершения кибернетической революции в целом на порядок возрастет возможность планировать и без непосредственного вмешательства человека влиять на развитие, а также управлять самыми разными природными, социальными, производственными и многими другими процессами, управление которыми в настоящий момент невозможно. А по завершении этой революции, то есть на четвертом и пятом этапах научно-кибернетического принципа производства, общее движение будет направлено на тотальное управление критически важными для человечества процессами.

Учитывая исключительную важность понятия самоуправляемых систем и самоуправляемости, мы решили посвятить настоящий параграф анализу их содержания.

Характеристики самоуправляемых систем. О различиях саморегулируемых и самоуправляемых систем. Итак, когда мы говорим о самоуправляемых системах, то имеем в виду такие технологии, которые позволяют эксплуатируемым системам разной природы: 1) работать основную часть времени без постоянного участия и контроля человека; 2) иметь возможность самостоятельно и гибко реагировать на изменения окружающей среды и поставленных задач, самостоятельно регулироваться и перенастраиваться; 3) контролировать пользователя, требуя соблюдения установленных правил и параметров.

Однако на практике очень непросто провести границу между системами с разным уровнем сложности самоуправляемости, даже между обычными «умными» и самоуправляемыми системами. Следует учитывать, что только когда самоуправляемые системы достигнут своей зрелой сложности, их черты проявятся наиболее ярко. Сейчас же в переходную эпоху между системами, которыми людям еще надо управлять (хотя и далеко не во всех их функциях), и системами, которые будут полностью самоуправляемыми, это различие еще нечетко. Вспомним, как сложно провести черту между примитивными машинами и механизмами (см. *Главу 4*). Кроме того, многие современные системы, которые приблизились к самоуправляемым, пока еще требуют участия человека (как, например, беспилотники, за которыми на большом расстоянии следит диспетчер; подробнее о них см. в *Главе 11*). То есть все более высокая степень управляемости систем постепенно переходит в самоуправляемость. Но из-за того, что еще не сделаны какие-то важные инновации, полного перехода не происходит. Здесь напрашивается аналогия с механизацией и автоматизацией. Механизация может иметь частично автоматизированные процессы, количество которых непрерывно растет, но все же не может полностью стать автоматизированной работой до тех пор, пока не накопится нужное количество инноваций.

Итак, необходимо дать определенные и важные в контексте нашего исследования терминологические пояснения и дополнительные примеры.

Прежде всего отметим, что даже термины «регуляция» и «саморегуляция» («саморегулирование»), а также «саморегулируемые системы», к сожалению, не имеют устойчивого употребления в кибернетике, употребляются разными авторами с существенными различиями. Диаметрально по-разному трактуется иногда соотношение между регулированием и управлением. Понятие же «самоуправляемые системы» – в отношении технических систем – вообще отсутствует в кибернетике, это понятие в указанном смысле введено нами¹⁹.

Хотя регулирование и управление можно употреблять в ряде случаев как синонимы, однако управление, по нашему мнению, включает в себя не только регулирование, то есть поддержание определенного режима и состояния в динамике, но и изменение режимов, осмысленный выход в другое состояние в связи с определенной ситуацией.

Саморегулирование и самоуправление могут осуществляться только в сложных системах (какими являются биологические организмы и некоторые технические системы, хотя последние в плане сложности пока существенно отстают в этом плане). В простых технических или иных используемых человеком системах могут быть элементы саморегуляции или самоуправления (это так называемые «умные» системы и материалы, о которых уже говорилось).

Термины «саморегулируемая» и «самоуправляемая система» также могут употребляться как синонимы, так как вторая обязательно включает в себя параметры первой. Но вторая система более сложная, способная к большим модификациям для достижения поставленных целей. Таким образом, между этими понятиями нет стены, различия заключаются в сложности и гибкости реагирования на изменения, и, как показано ниже, в направленности (цели) этих изменений.

Саморегулирование – это поддержание системы в динамическом режиме в определенных параметрах, несмотря на изменения внешней среды. Саморегулируемая система – это система, которая может поддерживать параметры, необходимые для существования и решения задач, несмотря на изменяющиеся условия внешней среды за счет изменения параметров функционирования своих элементов и смены режимов функционирования.

Самоуправляемая система выполняет функции, либо поддерживая определенные параметры, либо изменяя их в зависимости того, что требуется для решения избранных задач (иногда даже при возможности изменяя и окружающую среду). Например, если температура внутри заданного пространства или системы должна быть постоянной, то в зависимости от изменения температуры окружающей среды система может вырабатывать больше или меньше энергии. Это *саморегулируемая* система. Однако если система способна не просто поддерживать температуру, но выбирать наиболее оптимальный режим с точки зрения экономии энергии, то это уже другое дело. Например, в отсутствие людей в доме температура в рамках действия автономной системы существенно понижается,

¹⁹ Но понятие управляемой системы (a control system) в отношении технических систем, близких к тому, что мы называем самоуправляемой системой, а также некий гибридный термин «саморегулируемое управление» (self-regulatory control) встречается, например, у С. Бира (Beer 1994: 447; 284). Однако эта терминология эпизодическая, неразработанная. В современной IT-терминологии встречается также термин, близкий к самоуправляемой программе (introspective program), то есть самоанализирующая программа.

в случае болезни человека – повышается; в комнатах, где люди проводят больше времени, она выше, где меньше – ниже; также меняется в зависимости от занятий и от того, насколько они одеты и т. п. Это уже соответствует примерно пятому уровню самоуправляемой системы по нашей классификации (см. ниже). Робот, который выполняет относительно простые действия, например управляется с деталями согласно своей программе, еще не самоуправляемая система в полном смысле (уровень два по нашей классификации); но робот, который способен изменять свое движение в зависимости от преград на его пути, уже ближе к такой системе. А устройство, способное перенастраивать собственные параметры для выполнения новых задач, – это уже самоуправляемая система высокого уровня. Но, повторим, жесткой границы между саморегулируемой и самоуправляемой системами нет, поэтому саморегулируемые системы фактически можно считать самоуправляемыми низких ступеней сложности. В этом аспекте описанную выше саморегулируемую систему, которая контролирует температурный режим (климат-контроль), можно рассматривать как самоуправляемую систему второй степени (см. классификацию ниже).

Различие между саморегулированием и самоуправлением также можно рассматривать через призму того, какие функции выполняет система. Здесь удобно сравнить биологические и технические системы. В отношении живых существ самосохранение есть высшая функция, при этом самосохранение чаще всего требует именно саморегуляции (хотя иногда требует и самопожертвования, и изменения). Основная деятельность живых существ – обеспечить себя энергией и поддержать жизненные функции, а также бороться со всем, что этому мешает (от температурных изменений до паразитов и болезней). Но для технологических систем ведущая функция не самосохранение (хотя это, конечно, важно), но выполнение поставленных задач. Условно говоря, технологическая система – это солдат, сохранение здоровья и даже жизни которого важно только до определенного момента, а приоритетна выполняемая задача. Поэтому режимы, состояния, поведения самоуправляемой системы должны меняться в зависимости от вложенных в нее или заданных ей функций.

Характеристики и классификация самоуправляемых систем. Итак, самоуправляемая система – это система, главная задача которой не просто поддерживать определенные параметры для сохранения способности работать, но выбирать параметры для решения задач. При этом осуществляется выбор среди целого ряда параметров, согласно их иерархии и состоянию окружающей среды, и принимается решение. *Способность принимать решения, выбирая из целого спектра возможных, является важнейшей характеристикой самоуправляемых систем. Другими характеристиками могут быть: способность к самообучению; наличие не жестких, а гибких программ, которые сами способны изменяться под воздействием изменения среды или задач.* Вероятно, степень свободы и величина спектра выбора возможных действий в процессе принятия решения, а также степень самообучаемости и модификации программ будут определять уровень сложности самоуправляемых систем. Самоуправляемые технические и биотехнические системы, подобно биологическим, имеют управляющую подсистему (своего рода мозг), периферийные подсистемы разного назначения (своего рода органы чувств и подсистемы, осуществляющие необхо-

димые перемещения и движения в сложном пространстве) и систему прямых и обратных связей между ними.

С технической точки зрения самоуправляемые системы отличаются от систем с элементами управляемости и самоуправляемости, а именно: а) сложностью управляющей подсистемы; б) количеством и чувствительностью прямых и обратных связей между управляющей подсистемой и периферийными органами; в) способностью к разнообразным движениям. То есть имеется разница как между высшим биологическим организмом, имеющим мозг и полный набор органов чувств, и низшим, имеющим только примитивную нервную систему. Сложность управления и связей резко увеличивает число комбинаций, в которых может оказаться система, и адекватность ответа на изменяющиеся условия. В настоящее время ведется огромная работа по усовершенствованию систем (в частности, роботов) в их ориентации в пространстве, выборе правильного ответа при различных препятствиях и изменениях среды, способности к выбору решения и т. п.

Ниже мы приводим нашу классификацию, которая, конечно, далека от совершенства, но все же позволяет понять, чем отличаются более сложные самоуправляемые системы от более простых.

Классификация самоуправляемых систем:

1. «Умные» системы с элементами или ограниченной программой саморегуляции и самоуправления (здесь, в свою очередь, имеется ряд уровней сложности).

2. Автоматические сложные системы с предустановленной программой и органом самостоятельного управления, но неспособные выходить за рамки вложенной программы и не предназначенные для этого. (Соответственно мало коммуницирующие с окружающей средой.) Примеры: станки с ЧПУ, промышленные роботы первого поколения.

3. Автоматические сложные системы, предполагающие ограниченный выбор действий и ограниченную коммуникацию с пользователем (автоматы по продаже большого числа продуктов), иногда являющиеся частью более сложной системы (как автоматы по обслуживанию кредитных карт; а также очень сложные системы управления).

4. Самоуправляемые системы, способные ориентироваться в окружающей среде, перестраиваться и находить решения в зависимости от обстановки (навигатор, самолет-разведчик и т. п.; системы торговли на биржах).

5. Более сложные системы, способные подстраиваться под особенности ситуации, перестраивать свой функционал, учиться в рамках вложенных в гибкую программу возможностей, контролировать поведение и состояние людей (системы постоянного мониторинга состояния здоровья в онлайн-режиме; система лечения больных клеток путем принятия самостоятельных решения о степени их отклонения; робот, способный ухаживать за лежащим больным; искусственные органы, способные в той или иной степени заменить натуральные).

6. Системы с искусственным интеллектом, позволяющим принимать решения в достаточно широких рамках (робот, способный вести домашнее хозяйство; система, самостоятельно подбирающая сорта растений для любой местности).

6.4. ПУТИ ДВИЖЕНИЯ В СТОРОНУ САМОУПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ. АНАЛОГИИ С ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕВОЛЮЦИЕЙ

Общие соображения о путях завершения кибернетической революции. Итак, в целом обозначилась тенденция к появлению все более разнообразных и сложных самоуправляемых систем. Эти системы будут весьма разнообразными по функциям и по своей природе, так как они будут не только и не столько техническими, сколько комбинированными (биотехническими и техносоциальными, см. о них в следующем параграфе), чисто биологическими или биосоциальными. И именно в силу их многообразия можно предположить, что и пути их создания будут разнообразными.

Во-первых, можно говорить об эволюционном и революционном путях. Первый сводится к тому, чтобы управляемые системы, работающие только под контролем человека, но делающие все основные операции самостоятельно, трансформировались в самоуправляемые, контроль над которыми будет гораздо меньше и может быть опосредованным, то есть осуществляться через другие самоуправляемые системы. Это нередко происходит незаметно. Проследите за историей, например, фотографии. Постепенно функция за функцией, которые прежде выполняли люди (причем квалифицированные специалисты), переходят к самой фотосистеме, так что теперь человеку нужно только щелкнуть кнопкой. А во многих случаях и сама съемка идет автоматически, равно как и обработка материалов (особенно это заметно в науке и военной области). Также развивалась линия усовершенствования прядильного и ткацкого станков в завершающей фазе промышленной революции, о чем мы рассказывали в *Главе 4*.

Однако, хотя это и кажется логичным, не исключено, что более существенно проявит себя путь революционный – созданием неожиданных систем с новыми свойствами.

Но еще более вероятно, что возникнут несколько линий, связанных с организацией использования таких самоуправляемых систем. Так, в период последней трети XVIII в. в Англии возникло две линии развития и использования техники: одна развивала условия для надомной работы с новыми механическими станками (и она оказалась тупиковой, но на первых порах позволила подготовить широкую базу для завершения промышленной революции); вторая была связана с новой – фабричной – формой организации машин. И на этом пути сразу стали появляться такие мощные изменения, что все перевернулось. Удалось превратить машину для выработки энергии (усовершенствованную паровую машину Уатта) в универсальный двигатель, создать полный цикл производства, механизировать все процессы для выработки тканей. Таким образом, возник новый инновационный сектор, который привел к завершению промышленной революции и распространению ее принципов на все остальные отрасли.

Мы полагаем, что нечто подобное случится и в процессе развития завершающей фазы кибернетической революции: одна линия будет направлена в сторону индивидуализации и роста компетенций индивидов, другая – в сторону новой и революционной комбинации возможностей и форм организации; на первых порах они будут дополнять друг друга, а потом в той или иной форме сольются. Такие вещи уже угадываются, например, в развитии 3D-принтеров. Одно направление служит для индивидуальных потребителей, а другое используется

в промышленных масштабах. То же касается и медицины: мы видим здесь и рост возможностей индивида для определения способов собственного лечения и мониторинга здоровья, и решительные изменения в области организации здравоохранения. Для развития первого направления необходим некий интегральный элемент, способный объединить разные инновации в единую систему. В последние десять-пятнадцать лет на роль такого интегрального элемента все сильнее претендует мобильный телефон, осуществляя функции приема, обработки, создания и передачи разнообразной информации (даже в отношении самоуправляемого автомобиля, например у Теслы). Считают, что на него будут поступать все данные от «умных» технологий²⁰. Нам все-таки кажется, что появится что-то иное в качестве интегрального компонента. Для развития второго (масштабного) направления, очевидно, потребуется нечто более сложное в виде объединяющего элемента.

Один из путей развития будет связан с соединением разных систем в одну более сложную, что мы видим в истории развития ЭВМ, которые теперь включают в себя множество периферийных и иных устройств (камеры, сканеры, принтеры, микрофоны и т. д.). К примеру, идея «умной» системы под названием «древо жизни», комбинирующей в себе холодильник, печь, посудомоечную машину и даже элементы шеф-повара, то есть все, что нужно для комфортного питания и обслуживания. Процесс приготовления разнообразных блюд происходит без участия человека (<http://itechfuture.com/concept-kitchen-in-a-tree-will-do-all-the-work-yourself/>). По сути, это уже полпути до робота-повара, который будет готовить нужные блюда, тем более что прообразы таких роботов уже конструируются (Franklin-Wallis 2015)²¹.

Важным новым компонентом общей системы самоуправляемых технологий может стать такое направление, которое зарождается сегодня. Мы имеем в виду так называемый «Интернет вещей», когда многие приборы, машины и различное оборудование будут напрямую подключены в систему взаимосвязи через Интернет. В результате они начнут получать разнообразную информацию и при необходимости запрашивать ее. Сначала это может быть просто обновление драйверов или программного обеспечения, но в дальнейшем это могут быть запросы на то, как реагировать в необычной ситуации, обмен «опытом», возможность обучения систем и т. п. Именно такого рода объединяющие или универсальные (подходящие для многих систем) компоненты, накопившись, смогут создать тот уровень технологической сложности, с которого начнется завершающая фаза кибернетической революции.

²⁰ Сколько человек прошел метров в день, сколько калорий съел, сколько спал, сколько денег потратил, сколько поработал, что приготовить на обед. Будет фиксироваться и передаваться на мобильный даже такая информация, как человек поиграл в баскетбол и сколько очков забросил (Concept Smart... 2015) или данные с боксерских перчаток с встроенным Bluetooth-датчиком силы удара (Concept Clever... 2015)

²¹ Как описывается в материале, робот смешал заранее приготовленные ингредиенты, добавил лук, приправы, и через двадцать с небольшим минут суп был готов, после чего робот разлил его по мискам, добавив тархун и несколько капель соуса. Пока устройство способно готовить лишь по одному рецепту, но к моменту его поступления в продажу разработчики планируют создать цифровую библиотеку из 2000 блюд, а также дать возможность пользователям добавлять собственные рецепты. Наконец, робот сможет самостоятельно мыть посуду. «Это исключительно вопрос обучения. У аппарата достаточно моторов и датчиков, чтобы приготовить все что угодно», – рассказал конструктор Марк Олейник (Franklin-Wallis 2015).

Наконец, для осуществления рывка, который даст мощный импульс завершающей фазе кибернетической революции, требуется существенно большее разнообразие, чем имеется сейчас, чтобы обеспечить нужное количество тех составных элементов, блоков, узлов и способов, с которых и начнется инновационный рывок. В настоящий момент для осуществления перехода к завершающей фазе кибернетической революции все заметнее накапливаются технологические условия и инновации; создаются готовые узлы, варианты, блоки, технологии, языки, формы использования и т. п., которые станут более крупными элементами для создания новых кибернетических (самоуправляющихся) технологий, открывающих путь к завершающей фазе кибернетической революции²²; идут разные потоки формирования будущих технологий самоуправляемых систем, при объединении которых в дальнейшем появятся более сложные и совершенные самоуправляемые системы, откроется более универсальный путь к их проектированию. Мы полагаем, что свою большую роль в деле создания необходимых блоков и элементов для сложных самоуправляемых систем сыграют «умные» системы. В этом смысле процесс представляется в виде развития *от «умных» к самоуправляемым системам*.

Диалектика создания необходимых условий. Пример промышленной революции. Для возникновения очень сложных систем нужна значительная база широко используемых более простых систем. При этом тенденция такова, что последние становятся своего рода узлами и элементами сложных систем, которые используются как универсальные элементы (с вариациями и модификациями). Рассмотрим, как это происходило в процессе промышленной революции.

Напомним, что машины состоят из механизмов, а механизмы из звеньев. Звеном называют «скелетную» часть механизма, то есть его несущую конструкцию (Среди звеньев можно выделить рычаги, кулачки, зубчатые колеса, диски, «мальтийские кресты», винты, гайки и т. п.). Число механизмов на порядки меньше числа машин, а число звеньев – на порядок меньше, чем механизмов. Но из относительно небольшого числа звеньев создается множество механизмов, а из относительно меньшего числа механизмов – огромное разнообразие машин (соответственно идее, что чем больше разнообразие на верхних уровнях, тем меньше оно на нижних [Седов 1993]). К началу XIX в. насчитывалось до 200 механизмов, но при этом половина из них была изобретена в XVIII в., особенно в последние его десятилетия (среди них такой важнейший, как суппорт Модсли). Таким образом, к началу завершающей фазы промышленной революции едва ли насчитывалось 150 механизмов. Но это уже было огромным разнообразием, поскольку к концу XV в., когда началась промышленная революция, их едва ли было 50. Основные из них представлены в разных модификациях колесными и зубчатыми механизмами, механизмами с блоками, рычажными и воротными, винтовыми и кулачковыми, спусковыми и шарнирными, пружинными и маятниковыми механизмами. И здесь очень важно заметить, что многие из этих первых механизмов (как колеса, рычаги, винты) впоследствии, когда они усложнились вместе с машинами, стали просто звеньями или даже основой звеньев механизмов (Боголюбов 1988; см. также: Кудрявцев, Конфедератов 1960:

²² Мы называли этот процесс способом эволюционной блочной сборки (Гринин, Марков, Коротаев 2008). Он характерен для поиска эволюции, но также и для развития технологий.

29). Мы полагаем, что подобный эволюционный путь пройдут и многие «умные» системы.

От «умных» к самоуправляемым системам. Подобно тому как постепенно с созданием универсальных механизмов количество всевозможных машин на базе этих механизмов и звеньев стало расти в геометрической прогрессии (хотя само число последних оставалось не слишком большим), так и по мере создания различных «узлов», то есть моделей самоуправляемости (появляющихся в различных «умных» машинах, системах и материалах), начнет расти количество самоуправляемых систем. Иными словами, количество «узлов» и «механизмов» самоуправляемости не будет слишком большим, но число комбинаций их сборки и совместного действия в системах будет неограниченным²³. Продолжим наши аналогии с промышленной революцией.

Механизм – это приспособление для передачи и преобразования движения (Боголюбов 1988: 63). Соответственно машина может состоять из одного или нескольких механизмов. По аналогии можно сказать, что «умные» системы – это приспособления для передачи особого рода информации (указаний, приказов, задач) в целях осуществления нужных реакций и действий эксплуатируемых систем в определенных ситуациях или вариациях среды без участия человека²⁴. Отметим, что такая передача «информации к действию» может осуществляться самыми разными способами в зависимости от особенностей «умной» системы: за счет интеллектуальных компонентов, использования физико-химических и биологических структурных и функциональных особенностей систем; либо комбинированно.

По аналогии связи машин-механизмов самоуправляемая система может состоять из одной, но чаще из нескольких или множества «умных» систем. Напомним, что если к началу XIX в. насчитывалось порядка 200 механизмов, то уже в конце третьей четверти XX в. было около 5 тыс. механизмов (а машин – гораздо больше), то есть с начала XIX в. произошел их рост в 25 раз. Таковы могут быть масштабы роста тех «узлов», с помощью которых в будущем станут работать самоуправляемые системы (число которых также будет очень велико).

Таким образом, чем больше появится «умных» материалов, устройств, технологий и т. п., тем быстрее среди них выделятся наиболее универсальные; чем больше будет комбинаций объединения этих «умных» вещей в более сложные системы, тем увереннее пойдет работа в направлении создания самоуправляемых систем, которые в этом аспекте будут представлять собой системы, состоящие из различных «умных» технологий, объединенных гибкой системой управления.

²³ Подобно тому как комбинации компьютера, камеры, сканера, принтера, телефона, программного обеспечения, навигации, распознавания голоса и т. д. позволяют создавать множество различных информационно-контрольных систем, используемых везде – от быта до науки.

²⁴ Сегодня нельзя говорить только о производстве, это касается регулирования социальной и индивидуальной жизни, быта, ухода за собой и многого другого, поэтому нужен особый термин, может подойти понятие *эксплуатируемые системы*.