

## СПОСОБЫ АДАПТИВНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СИСТЕМ ЕСТЕСТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Основными проблемами в современной науке и прикладной деятельности являются задачи исследования законов формирования, развития, устойчивого функционирования и превращения элементов и структур как материальных, так и идеальных форм существования объектов на различных уровнях бытия — от элементарных частиц в физике микромира до социальных организаций и мировоззренческих, духовных основ личности. Эти законы лежат в основе функционирования технических и природных систем. Они определяют также формы деятельности человека в процессе преобразования систем, их конструирования и управления ими. Повышение качества результатов труда и его производительности, т. е. увеличение количества и ценности вырабатываемых продуктов при непрерывно сокращаемых затратах — главная стратегия производственной деятельности человека. Успешная реализация этой стратегии предполагает овладение законами динамики, структуры и организации управляющих и исполнительных систем, а также законами их формирования и функционирования с учетом человеческого фактора.

Современное производство базируется на высокой степени дифференциации и специализации технологических процессов и операций. Именно в этом направлении оказались возможными механизация и автоматизация человеческого труда, которые привели к резкому повышению эффективности и интенсификации производства. Автоматизация следующего уровня, базирующаяся на результатах предыдущей ступени, выдвигает повышенные требования к устойчивости характеристик этих результатов, к управляемости и надежности функционирования каждого из взаимосвязанных технологических процессов, согласованию и координации функционирования элементов и подсистем в целостном производственном комплексе. В современном виде последний является многомерным по своей природе, состоит из ряда взаимосвязанных циклов и, следовательно, требует новых, системных методов и средств анализа и синтеза, управления и оценок результатов функционирования.

Интенсификация производства и расширение его масштабов, применение высокодифференцированных и высокоспециализированных технологических процессов и операций повлекли за собой проявление новых особенностей их характеристик как объектов управления и автоматизации. На первый план стали выступать нестационарность и нелинейность системных компонентов и, как следствие, непредсказуемость их поведения в условиях изменяющейся среды и целей функционирования. Поэтому на-

строенная однажды на эффективное функционирование сложная система со временем будет только ухудшать свои характеристики из-за старения своих элементов, их отказов, изменения в грузок, условий вещественно-энергетического обмена с другими объектами или со средой.

На современном этапе научно-технических достижений трудности автоматизации многомерных нестационарных и взаимосвязанных процессов и систем преодолеваются на путях внедрения новой идеологии автоматизации, связанной с адаптивными, самоприспосабливающимися, самоусовершенствующимися устройствами управления. Высокую живучесть и эффективность подобной «стратегии» демонстрируют организованные системы естественного происхождения и прежде всего — биологические.

В последнее время утвердилось стремление к взаимопроисхождению наук. Она выражает не только стремление к формированию целостных и непротиворечивых концепций о различных формах движения материи, но обогащает одни науки и практическую деятельность общими абстрактными формами, моделями и методами других. Наиболее выраженной в этом отношении является кибернетическая концепция и, в частности, ее биологическое направление.

В рамках этой концепции возрастает эффективность разработок новых способов и средств автоматизации, в том числе адаптивных, за счет сужения поля априорного объема возможных направлений исследований в связи с учетом эволюционных «достижений» организованных систем в процессе «решения» ими аналогичных проблем адаптации, переработки информации и управления сложными многосвязными системами.

Ближайшее рассмотрение реального функционирования приспособляющихся естественных самоорганизующихся систем (ЕСС) свидетельствует о наличии бесчисленного разнообразия элементов, богатства их свойств, динамических характеристик и неопределенности состояний, не поддающихся однозначному соотношению друг с другом в процессе функционирования целостной системы. Существующие методы исследования сложных систем в настоящее время не позволяют установить адекватные законы функционирования адаптивных ЕСС. Накопленные данные об организации функционирования одного организма и его подсистем, как правило, являются индивидуальными и малопригодными для предсказания функционирования не только другого организма, но и данного через определенный промежуток времени.

В последнее время формируется представление о том, что законы развития сложных систем проще законов их функционирования [1]. В данной работе отражены некоторые результаты анализа способов адаптивного функционирования ЕСС содержанием которых являются совокупности действий и из-

нений в системе в процессе ее приспособления и жизнедеятельности.

Решение этой задачи наталкивается на трудности получения достоверных данных о способах адаптивного функционирования ЕСС. Эти трудности усугубляются еще и тем, что отсутствует единая точка зрения на методику получения этих данных. На первый взгляд представляется целесообразным воспользоваться методом черного ящика. Однако эта позиция в данном случае является логически несостоятельной, так как поведение, т. е. внешнее проявление системы как ее интегральная функция, само является результатом действия определенных приспособительных процессов. В данном случае результат адаптации принимается за сам процесс приспособления. Более того, конкретное поведение системы, как правило, случайно, не имеет определенного характера соотношения с действиями среды.

В то же время в рамках системно-структурного подхода не подвергается сомнению истинность положения об однозначной детерминации структуры, а следовательно, и ее функции составом элементов системы и связями между ними. В пределах этой позиции основной вес в исследовании способов формирования адаптивного функционирования ЕСС переносится на элементный уровень.

Рассмотрим в связи с этим поведение элементов на различных уровнях организации ЕСС в процессе онтогенеза. Заметим, что в данной работе мы будем ограничиваться анализом способов формирования адаптивного функционирования на уровне онтогенеза, когда структура средств приспособлений [2] уже отработана в процессе эволюции, филогенетически, а в онтогенезе ее содержание только конкретизируется. В принципе не имеет значения, какие элементы мы будем рассматривать конкретно в процессе анализа способов адаптации. Это могут быть любые средства приспособления [2], которые используются системой в процессе приспособления к условиям существования или к определенным целям.

Одним из таких средств для одноклеточных организмов, а также для любых клеток многоклеточных организмов является белок. Он играет роль структурного компонента протоплазмы и органелл, а также является основным структурным и функциональным элементом ферментов и гормонов [3], выполняет ведущую роль в физиологических функциях — транспорт веществ через мембрану, сократительная функция и др.

Биосинтез белка осуществляется в клетке на специализированных органеллах — рибосомах под управлением генетических структур ДНК и РНК. В зависимости от этого управления может быть синтезировано в принципе бесчисленное количество типов белков. Каждый из них представляет собой своего рода текст, напечатанный двадцатибуквенным алфавитом, где роль букв играют аминокислотные остатки.

В клетке существуют хорошо отлаженные механизмы регуляции синтеза белка. Это структурные генетические механизмы выбора типа белка, регуляции уровня активности соответствующих генов (гены-операторы), ответственные за скорость синтеза белка, механизмы регуляции последовательности аминокислот в белке (гены-регуляторы). Количество синтезируемого белка контролируется также через механизм индукции, т. е. через влияние концентрации готового белка на генетические механизмы регуляции синтеза.

Механизмы синтеза поставляют белок в клетку в виде линейной полипептидной цепочки. Эта первичная структура под действием различных компонентов протоплазмы поступает в окружение клеточных подструктур, находящихся на различных стадиях жизнедеятельности и функциональных возможностей.

В зависимости от характера взаимодействия первичной структуры с этим окружением и от аминокислотного состава белка он подвергается ряду пространственных трансформаций: образуя вторичную, третичную и четвертичную структуры. Пространственная конфигурация этих структур белка непрерывно изменяется (флуктуирует) под воздействием различных факторов среды. Эти изменения определяют функциональную специфичность белка [3], обеспечивая определенные приспособительные реакции клетки во внешних условиях.

По истечении определенного времени существования белка также при определенных критических состояниях среды могут наступать необратимые изменения в его структуре, приводящие к деструкции, распаду и последующему выводу его из клетки.

Таким образом, состав, тип и свойства белкового компонента клетки, которые обеспечивают соответствующие приспособительные функции ее, определяются механизмами выбора и рождения некоторых первичных структур, а также скорости синтеза и величины концентрации, организацией взаимодействия этих структур со средой клетки, развитием вторичной, третичной и четвертичной структур белка, т. е. формированием таких свойств, которых эти элементы не имели в результате синтеза, а приобрели, находясь в системе конкретного окружения других функционирующих элементов и факторов среды. Приобретенные таким образом свойства в процессе развития элемента в системе мы будем называть системными и связывать их с обеспечением специфики функционирования. Отработанный и подвергшийся денатурации белок распадается и выводится механизмами выделительной системы клетки.

Другими важнейшими клеточными компонентами органической и неорганической природы являются нуклеиновые кислоты, вода, ионы различных веществ и др. По отношению к ним можно осуществить аналогичный анализ с соответствующей их природе спецификой. Так же, как и в случае белка, для каждого из них можно выделить несколько качественно различных с

дий — порождение некоторой системой элементов с первичными характеристиками или поиск и вовлечение их в клетку в результате ее взаимодействия со средой, организация и размещение в клетке первичных элементов, развитие системных свойств в результате их взаимодействия с клеточными компонентами и факторами среды, деструкция по истечении времени жизни или в результате предельных воздействий и элиминация.

В любой момент времени каждый элемент клетки по всему множеству их типов находится на одной из стадий своего жизненного цикла — порождение, первичная организация, развитие и созревание, деструкция, разрушение и элиминация. Сочетание активности этих стадий в различных вариантах и степенях проявления по всем компонентам определяет содержание реакции целостной системы на внешнее воздействие. Формирование этих стадий в сочетаниях с факторами среды и клетки является основным содержанием способов адаптации в процессе жизнедеятельности целостного клеточного организма.

На уровне многоклеточного организма важнейшими структурно-функциональными компонентами являются клетки и межклеточная среда, образованная растворами органических и неорганических веществ. Адаптивное функционирование организма определяется составом, организацией клеток и продуктами их жизнедеятельности. Начальная структура организма обеспечивает порождение новых элементов, клеток и взаимодействие со средой в процессе соответствующего обмена веществом, энергией и информацией.

Новые клетки в организме появляются в результате самовоспроизведения путем митоза существующих. После деления новые клетки взаимодействуют с компонентами организма и благодаря этому занимают определенные положения по отношению к функционирующим клеткам, испытывая соответствующие организующие и упорядочивающие воздействия со стороны существующей структуры организма и факторов среды.

Под влиянием этих воздействий каждая клетка развивается в некоторый специализированный вещественно-энергетический или информационный преобразователь. Благодаря этому одни клетки развиваются в клетки крови, другие — в мышечные, третьи — в нервные и т. д. Совокупность однотипных клеток, получивших одинаковую специализацию, образует ткани, а последние являются основой для формирования органов. В процессе развития клетки некоторые ее свойства могут получить гипертрофированные изменения (например, форма мембранной оболочки у нейронов), а другие компоненты могут элиминировать полностью (например, ядро у клетки гемоглобина и т. д.). В процессе индивидуального развития системных свойств клетки слабо выраженные вначале некоторые ее свойства могут усилиться и взять на себя основную ее функциональную нагрузку в соответствующем органе. Таким образом, процессы диффе-

ренциации и структурно-функциональной специализации порождаемых в организме клеток лежат в основе адаптивного функционирования целостного организма.

В процессе функционирования клетка в организме может исчерпать свои возможности к обновлению и поддержанию собственной структурно-функциональной специфичности, подвергнуться деградации, разложению и удалению из организма по механизмам обмена с окружающей средой.

Таким образом, в случае клетки как организационной и структурно-функциональной основы биологической деятельности тканей, органов и организма в целом [3] можно вычлнить ряд изменений, имеющих адаптивный характер, причем в данном случае переплетаются адаптация клетки в условиях организмов и приспособление организма к среде. Приспособление организма в онтогенетическом плане начинается с порождения новой клетки. Организация ее взаимодействий с другими клетками и средой приводит к развитию системных свойств клетки, т. е. к приспособлению самой клетки в организме. Исчерпание ресурсов приспособления и репаративной функции по восстановлению поврежденных основных клеточных компонентов приводит к старению, деструкции и элиминации клетки из организма.

Рассмотрим содержание действий и изменений, относящихся к животному или человеку как к элементу некоторой экологической группы или социального коллектива в различные фиксированные периоды его развития и функционирования. Вопрос о фиксации начала отсчета собственно человеческого фактора здесь не имеет значения. Мы можем взять в качестве исходной позиции, например, рождение как бесспорно фиксированный момент его онтогенеза. Качественный скачок его развития здесь характеризуется изменением способа обмена со средой и существенным изменением самой среды. В известном смысле из организма на матери он превращается в самостоятельный организм. Внедряемая среда материнского организма заменяется качественной новой средой. Вещественно-энергетический обмен новорожденного организма со средой сопровождается развитием его органов и функциональных систем в целостную автономную биологическую структуру.

Информационный обмен организма со средой через системные гностических рецепторов и специализированных эффекторов служащих для информационного воздействия на среду, приводит к развитию соответствующих способностей восприятия, обработки и выдачи информации, а также для управления приспособительным поведением на информационной основе. На этом уровне развития под действием системы восприятия и обучения формируются упорядоченные системы поведенческих актов приспособительного взаимодействия организма со средой. Каждое из таких систем выражается в форме определенных ролевых

ор функций — семейных, производственных и других социальных отношений.

Сформировавшиеся системы ролей и навыков позволяют человеку получать определенные полезные результаты своего взаимодействия со средой, в том числе и социальной по своей природе. Через эти результаты человек автоматически включается в социальные коллективы различного назначения. Таким образом, этап фиксации определенного состава ролей является качественным скачком в онтогенезе организма, так как переводит его на следующую уровень организации системы — из системы формирующей в систему производящую. В реальности эти системы существенно пересекаются, но для данного анализа более существенна констатация факта различия.

В силу различных причин естественного порядка каждый член коллектива принимает конечное время участия в его работе с данной ролевой функцией. Через определенное время может показаться, например, что все члены первоначального коллектива были постепенно заменены новыми с такими же или трансформированными в связи с новой технологией ролевыми функциями.

Таким образом, в случае организма как элемента коллектива или биологического сообщества мы имеем несколько фиксированных уровней его онтогенеза — рождение, организацию в первичных или начальных структурах, обучение, развитие и созревание, старение и элиминация из коллектива или сообщества.

Любой социальный коллектив характеризуется прежде всего некоторым целостным результатом, получаемым как совокупный продукт деятельности его членов по преобразованию предметов труда — вещества, энергии и информации.

Приспособительные изменения в деятельности коллектива направлены, как правило, на повышение эффективности производства и качества его результатов. Эти изменения достигаются благодаря поиску, выбору, изготовлению средств и предметов производства, благодаря совершенствованию навыков, изменению технологии и организации производства. Достижение приемлемой эффективности производства и качества продукции позволяет данному коллективу вступить в социальные отношения на уровне межорганизационных связей, т. е. с другими производителями ценностей для эквивалентного обмена. Этот акт способствует дальнейшему повышению производительности труда за счет увеличения специализации уже на групповом уровне. Возникновение данного коллектива в некоторую коалицию необходимо сопровождается его перестройкой, изменениями в составе организации. В результате выполнения своей функции в обществе данный коллектив может быть распущен или трансформирован в коллектив с другим назначением.

Таким образом, на уровне социальных организаций их приспособление достигается за счет формирования новых производственных коллективов, их организации, развития и расформирования, роспуска в случае выполнения ими социальных функций. Порождаемые социальными организациями ценности расширяют и стабилизируют условия жизнедеятельности на различных уровнях организации самоорганизующихся систем естественного происхождения.

Итак, на каждом из рассмотренных эволюционных уровней ЕСС мы можем говорить об одной и той же по форме схеме жизнедеятельности их элементов. Порождение, поиск, выживание, размножение и т. п. элементов на различных уровнях организации ЕСС следует рассматривать как одну из форм приспособления предыдущего в эволюционном отношении уровня. Этот способ адаптации позволяет одновременно и непрерывно испытывать и осваивать все существующие условия среды. Особенно эффективен в случае нестационарных условий, когда предыдущие поколения изменяют результатами жизнедеятельности среду, в которой они развивались, и тем самым исключают возможность развития у будущих поколений системных свойств, аналогичных собственным.

Сразу же после рождения новый организм или элемент попадает в условия взаимодействия со средой. Установление системы воздействий на него со стороны среды и действий организма на элементы среды определяет содержание процесса организации. Организация как процесс и результат взаимодействия нового организма со средой определяет ту систему условий, в которой он начинает свою жизнедеятельность.

Под действием условий среды, которые он получает в результате организации, происходит развитие определенных свойств, окончательно определяющих множество возможных отношений нового организма со средой.

На систему организм — среда на всех ступенях их взаимоотношений непрерывно действуют процессы энтропийного характера, дезорганизующие, разлагающие и разрушающие. В результате этих процессов все элементы системы стремятся к равновесным состояниям, когда упорядоченные отношения переходят в хаотические. Условия, приводящие элемент к таким отношениям со средой, в том числе и с другими элементами, неизбежно приводят к исключению его из системы.

Генетически, эволюционно каждый следующий уровень выживает в результате развития предыдущих, причем первые выжили во вторые в качестве их элементной основы. Жизнеспособными оказывались такие отношения между уровнями, когда предыдущих устанавливалось по меньшей мере равновесие между процессами размножения, организации, развития и сохранения, с одной стороны, и разрушением, деградацией — с другой. Эти устойчивые соотношения и обеспечивают существование

ние следующего уровня. В свою очередь аналогичные отношения на следующем уровне, образованном элементами предыдущего, обеспечивают существование системы с более высоким уровнем организации и т. д.

Способы адаптивного функционирования ЕСС и отношения между различными уровнями их организации можно представить в виде следующей обобщенной схемы (см. рисунок): различные уровни I, II, III, IV и т. д. адаптивной ЕСС порождают (1) элементы, организуют (2) их в функционирующих структурах, где в процессе взаимодействия существующей структуры с новыми элементами у последних развиваются (3) системные свойства, что обеспечивает окончательное формирование структуры данного уровня в текущих условиях. Разрушением и устранением (4) отработанных и малоэффективных элементов достигается минимизация и экономичность структур различных уровней организации.

В реальных ЕСС эти уровни и результаты их функционирования пересекаются и интегрируются в совокупных результатах жизнедеятельности и адаптации. Последняя представляется как система параллельно действующих элементарных процессов порождения, организации, развития и элиминации. Сочетание результатов этих процессов по интенсивности, пространственным и временным характеристикам и проявлениям в процессе взаимодействия данной системы с другими и определяет общую картину адаптации целостной системы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аптер М. Кибернетика и развитие. М., «Мир», 1970. 216 с.
2. Марченко С. Ф. Бионические аспекты анализа элементов самоорганизующихся систем.— В кн.: Проблемы бионики. Вып. 17, Харьков, 1976, с. 26—40.
3. Леви А., Сикевич Ф. Структура и функция клетки. М., «Мир», 1971. 584 с.

Поступила 5 марта 1977 г.

