
Федеральный закон от 26.07.2006 г. № 135-ФЗ «О защите конкуренции» (с изменениями и дополнениями).

Хэй Д., Моррис Д. Теория организации промышленности: в 2 т. СПб: Экономическая школа; СПГУЭиФ; ВШЭ, 1999.

Baumol W.J., Panzar J.C., Willig R.D. Contestable markets and the theory of industry structure. N.Y.: NBJ, 1982.

Gasmi F., Laffont J.-J., Sharkey W. The natural monopoly test reconsidered: An engineering process – based approach to empirical analysis in telecommunications // International Journal of Industrial Organization. 2002. № 20. P. 435–459.

Рукопись поступила в редакцию 27.06.2016 г.

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ НА ОСНОВЕ СИСТЕМНО- СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА

*В.Л. Заковоротный, М.Б. Флек,
Е.А. Угнич*

В статье раскрываются особенности системно-синергетического подхода к формированию модели управления предприятием в условиях рынка. Показаны возможности применения синергетического подхода к исследованиям экономических систем. На основе теоретического анализа сложных динамических систем выявлены правила, которые необходимо соблюдать в исследованиях предприятия как системы, где присутствуют процессы самоорганизации. Представлена обобщенная динамическая модель предприятия в рыночной среде. Проанализированы установившиеся состояния предприятия как системы и устойчивость его стационарного состояния.

Ключевые слова: система, системно-синергетический подход, самоорганизация, управление предприятием.

ВВЕДЕНИЕ

Особое значение для любого предприятия имеют обоснованные и эффективные управленческие решения, обеспечивающие его целенаправленное развитие. В условиях современной финансово-экономической нестабильности большинство предприятий сталкиваются с трудностями в повышении эффективности своей деятельности. В первую

© Заковоротный В.Л., Флек М.Б., Угнич Е.А.,
2016 г.

очередь это предприятия, которые не могут по разным причинам максимально использовать имеющийся потенциал для получения наилучшего результата. Решению данного комплекса проблем во многом способствуют исследование хозяйственной деятельности предприятия с позиций системного анализа и трактовка предприятия как экономической системы, участвующей в четырех известных общеэкономических процессах: производство, потребление, распределение и обмен (Клейнер, 2012). Концепция экономических систем, изложенная в трудах Е.А. Ерохиной (Ерохина, 1999), Г.Б. Клейнера (Клейнер, 2002) и др., базируется на системной парадигме, предложенной Я. Корнаи (Корнаи, 2002). Так, дополняя классический системный подход Н. Винера (Винер, 1983), У. Эшби (Эшби, 2005) и других основателей этого направления, «новая» системная парадигма делает акцент не на элементах системы и взаимосвязях между ними, а на ее функциональной и пространственно-временной характеристике. Таким образом, при анализе экономики предприятия важным становится исследование не просто содержания и свойств взаимосвязей между элементами системы, а свойств системы в целом с учетом изменения ее свойств в пространстве и времени. Во многом методологическое обоснование решений этих задач возможно благодаря кибернетике (Винер, 1983; Эшби, 2005), синергетике и одного из ее направлений – синергетической теории управления (Заковоротный, Флек, 2006; Заковоротный, Лукьянов и др., 2008; Заковоротный, Флек, Фам, 2011; Заковоротный, Лапшин, Туркин, 2014; Колесников, 1994; Ляпунов, 1950; Синергетика и проблемы..., 2004; Zakovorotny, Lukyanov, 2014; Zakovorotny, 2015).

Использование логики и принципов синергетического подхода к исследованию деятельности предприятий во многом способствовало бы повышению их эффективности. Главное отличие динамично развивающегося в последнее десятилетие синергетического подхода к анализу и синтезу заключается не только в рассмотрении системы в целом, но и

в раскрытии взаимодействий подсистем с различными средами. Именно динамика взаимодействия подсистем через среду описывается стохастическими нелинейными дифференциальными уравнениями, которые, как показал когда-то на примере неравновесной термодинамики И. Пригожин, приводят к самостоятельным эволюционным преобразованиям системы.

Понятие «синергетика» и методологические основы синергетического анализа были разработаны Г. Хакеном, профессором Штутгартского института теоретической физики и синергетики (Хакен, 1985). Важно подчеркнуть, что именно на основе синергетического анализа были раскрыты многие аспекты саморазвития природных систем. Обобщение этих положений для искусственных управляемых технических систем выполнено А.А. Колесниковым (Колесников, 1994). В частности, синергетическая парадигма построения систем управления конкретными процессами обработки на предприятиях развита в ранее опубликованных работах авторов (Заковоротный, Флек, 2006; Заковоротный, Лукьянов и др., 2008; Заковоротный, Флек, Фам, 2011; Заковоротный, Лапшин, Туркин, 2014; Zakovorotny, Lukyanov, 2014; Zakovorotny, 2015).

Основные положения синергетики естественно использовать для анализа и синтеза управляемой и саморазвивающейся экономической системы, что было выполнено позже В.-Б. Зангом (Занг, 1999). Использование междисциплинарного потенциала синергетики для исследования социально-экономических систем дает возможность их целостного описания, получения новой интерпретации результатов, выявления новых аспектов изучения экономических процессов и явлений и главное – обеспечения эффективного управления системой. Синергетическая теория управления предлагает понятийный и математический аппарат для введения дополнительных связей в естественно существующую систему, который позволяет обеспечивать изменение характеристик системы в соответствии с некоторой целью ее функционирования и

проектировать асимптотически устойчивую траекторию развития системы путем изменения ее характеристик. Подчеркнем, что рассматривается *траектория* эволюции, а не *точка* равновесия в пространстве состояний экономической системы. При этом вводимые дополнительные связи должны формировать градиенты по направлениям изменения характеристик системы согласно спроектированной траектории. В отличие от существующей при управлении экономической системы традиционной парадигмы, основанной на принципе подчинения, синергетическая теория управления опирается на принцип согласования. Именно согласование взаимодействий отдельных подсистем при одновременном формировании градиентов по спроектированному направлению развития принципиально отличает синергетический подход от традиционного. В этом заключается когерентность (согласованность) действия всех вводимых или естественно существующих связей. Если Г. Хакен назвал синергетику наукой о взаимодействии (Хакен, 1985), то синергетическая теория управления решает задачи взаимосодействия для достижения единой цели. Взаимосодействие представляет собой взаимное действие, взаимоотношение компонентов системы, когда их функциональные возможности направлены в конкретную «точку» к определенному конечному результату (Анохин, 1973).

Цель данного исследования – обосновать модель управления хозяйственной деятельностью предприятия на основе системно-синергетического анализа и синтеза механизма функционирования. В работе описан процесс построения системно-синергетической модели управления предприятием. С точки зрения синергетической концепции представленная в работе модель не является исчерпывающей, поэтому ее разработка должна быть продолжена с учетом описания взаимодействия как с рынком, так и внутренних подсистем предприятия.

ПРИМЕНЕНИЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ИССЛЕДОВАНИЮ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Поиск путей наиболее эффективного использования имеющихся ресурсов, особенно в период экономического кризиса, требует исследования системного взаимодействия различных ресурсов экономики, которое может не только способствовать, но и тормозить ее развитие. Наряду с основными ресурсами в развитии экономики мощно участвуют также и *силы взаимодействия* между ними (Клейнер, 2011).

Пренебрежение принципами системного взаимодействия в практике управления предприятиями является одной из основных причин, тормозящих экономическое развитие России. Например, характерные для большинства современных производственных предприятий разнонаправленные интересы и несбалансированные права и обязанности его участников (собственников, менеджеров, специалистов, рядовых работников), не способствуют повышению эффективности производства. Необходима радикальная трансформация системы управления предприятиями. Именно системное взаимодействие может обеспечить последовательное развитие предприятия, учитывая влияние внешней среды. Наряду с эндогенным подходом, основанным на исследовании влияния внутренних факторов на управление предприятием, принципы системного анализа требуют также экзогенного подхода (Клейнер, 2015), в основе которого лежит изучение влияния внешней среды. Таким образом, предприятие необходимо рассматривать как подсистему в более объемной системе, например в рыночной. В рамках системной парадигмы рассмотрение совокупности экономических систем дополняется их пространственно-временными характеристиками. Развитие и активное применение системной парадигмы в теории менеджмента позволит сформировать концептуальную базу для интеграции отдельных научных направле-

ний (Клейнер, 2008) и расширить возможности применения их на практике.

Синергетический подход к исследованию экономических систем является одним из направлений развития системного подхода, который расширяет возможности управленческой деятельности. В основе синергетики лежит системный анализ сложных открытых нелинейных систем, для которых характерны неравновесность, необратимость, бифуркация, самоорганизация и эволюция. Методологический инструментарий синергетики позволяет охарактеризовать предприятие не только как самостоятельный объект, но и как процесс взаимодействия со средой (рынком). При этом с рынком взаимодействуют также и другие предприятия, и именно эти взаимодействия относительно самостоятельных подсистем предприятий объединяют их в единую систему. Свойства этой новой подсистемы принципиально отличаются от свойств каждого предприятия. В результате деятельности этого предприятия, а также других предприятий, взаимодействующих внутри рассматриваемого сегмента рынка, изменяются также свойства этого рынка.

Так, синергетический подход позволяет анализировать особенности функционирования предприятия с точки зрения взаимодействия со средой. Через это взаимодействие проходит поток энергии, за счет преобразования которого формируются процессы нелинейной самоорганизации. Синергетический подход позволяет сформировать градиенты движения по направлению к проектируемой траектории развития системы. Однако реализация данного подхода целесообразна, если рассматривать предприятие с точки зрения его деятельности, которая в каждый момент времени направлена на реализацию проекта. В основе описания процесса функционирования предприятия с точки зрения синергетики лежит исследование его динамики координат состояния как системы. Под координатами состояния системы понимаются характеристики ее состояния, изменение которых служит признаком наличия определенного взаимодей-

ствия. В качестве примера координат состояния предприятия (системы) могут выступать объем затраченных ресурсов, формируемых самостоятельно и приобретаемых у других предприятий, объем произведенного продукта и реализация его на рынке, прибыль и ее распределение и др. Систему можно представить путем математического моделирования взаимодействия между координатами ее состояния. Синергетическая теория управления опирается на принцип расширения–сжатия пространства состояний системы. Расширение размерности пространства состояний заключается в представлении всех воздействий, влияющих на эффективность работы системы в координатах ее состояния. Здесь главное значение имеет взаимодействие предприятия с рынком, которое предоставляет возможность предприятию получать прибыль и влияет на его эффективность.

Принцип сжатия, как известно, всегда реализуемый в диссипативных системах, заключается в притяжении всех координат состояния к некоторому притягивающему множеству – аттрактору (Колесников, 2006). Синергетический синтез в этом случае заключается в формировании желаемого достижимого аттрактора на основе введения дополнительных связей и выбора параметров преобразующей системы (организационной и материальной структуры предприятия).

Следуя синергетической парадигме, для описания взаимодействия между системой и средой необходимо рассматривать обмен энергией, веществом, информацией и др. Для анализа таких систем И. Пригожин (Пригожин, Стенгерс, 1986, 2003; Пригожин, 1965) ввел понятие «открытые системы», т.е. такие физические системы, через которые могут протекать потоки энергии и происходить энтропия (необратимое рассеивание энергии). Открытые системы взаимодействуют со средой (средами). Предприятие является открытой системой, поскольку реализация его назначения – удовлетворение потребительского спроса населения и (или) некоторых общественных институтов – возможна только при

взаимодействии со средой, которая образуется рынком (Флек, 2014; Флек, Богуславский, Угнич, 2014).

Свойства нелинейности, неравновесности и необратимости справедливы для любой открытой системы. При достаточно больших потоках в открытых системах может возникнуть явление нелинейной самоорганизации. Самоорганизация характеризует способность сложных систем упорядочивать свои внутренние структуры за счет притяжения всех координат состояния к своему аттрактору. При этом за счет нелинейности связей при взаимодействии системы со средой формируется множество таких различных аттракторов движения, как некоторая стационарная асимптотически устойчивая траектория. В окрестности этой траектории образуются некоторые притягивающие множества (предельные циклы, инвариантные торы, хаотические аттракторы). В качестве иллюстрации процессов нелинейной самоорганизации в социально-экономических системах можно привести возникновение кризисов и экономических бумов, развитие непредсказуемых изменений курсовой стоимости валюты и пр.

Экономическая система по своей природе является неустойчивой, если ее рассматривать по направлению эволюции. Именно неравновесное в термодинамическом плане состояние вызывает приток энергии в области взаимодействия система–среда. Действительно, например, у предприятия потребность в ресурсах всегда выше их наличия, иначе прекратился бы их поиск и отпала бы необходимость в рациональности их использования.

Важно отметить, что при выходе на движение по новым притягивающим множествам система забывает свою предысторию. Такие системы являются необратимыми. Это означает, что за счет необратимого преобразования энергии, ресурсов и пр. восстановление траектории в обратном направлении невозможно. Причем эволюционирует система, как правило, в направлении рационального взаимодействия со средой, например, в направлении минимизации энергетических

потерь в области взаимодействия (Моисеев, 1998, 2001). В экономических системах роль энергетических потерь играют ресурсы, в том числе финансовые. Необратимость является обычным явлением и в экономической деятельности. Например, в результате процесса производства ресурсы превращаются в определенную готовую продукцию, но не существует процесса, который мог бы совершить обратное действие. Материальные производственные процессы не являются обратимыми. Именно необратимость в таких системах является источником изменения, в том числе связанного с уменьшением вероятности хаотизации их траектории (энтропии состояния).

Анализ эволюционных преобразований в открытых системах позволил выявить их особые свойства. Во-первых, развитие системы существует в окрестности некоторого аттрактора – траектории притяжения для определенного пути развития, область которой ограничена. Эта траектория характеризует некоторую кривую, представляющую состояние динамической системы в последовательные моменты времени (Моисеев, 1998). Таких аттракторов (траектории притяжения, к которым стремится система) может быть множество. Во-вторых, в таких системах, динамика которых описывается детерминированными уравнениями, возможно образование «странных» (хаотических/случайных) аттракторов. Эти аттракторы обладают такими удивительными свойствами, как особая размерность, монотонное удаление друг от друга двух траекторий с близкими начальными условиями и одновременной ограниченностью их расположения в фазовом пространстве и пр. (Магницкий, Сидоров, 2004).

Приведенный выше анализ позволяет выяснить основные правила, которые необходимо использовать при рассмотрении предприятия как единой системы, в которой образуются или целенаправленно формируются процессы самоорганизации. При этом эксплуатируется принцип расширения–сжатия пространства состояний. Декомпозиция предприятия на отдельные подсистемы опирается на

метод усреднения в нелинейной динамике и асимптотические свойства решений нелинейных дифференциальных уравнений, имеющих малый параметр при старшей производной (Боголюбов, Митропольский, 1958; Винер, 1983; Демидович, 1967; Занг, 1999; Кадомцев, 1997; Колесников, 1994; Пригожин, Стенгерс, 1986; Понтрягин, 1985; Хакен, 2003).

Проиллюстрируем этот принцип на примере анализа динамики преобразования координат состояния некоторого абстрактного предприятия. Рассмотрим динамику предприятия в целом, но прежде опишем допущения и условия применения модели управления предприятием на основе системно-синергетического подхода.

УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМНО-СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА К МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Современные предприятия могут функционировать в различной конкурентной среде, что отражается непосредственно и на подходах к управлению ими. Представленная обобщенная модель управления предприятием ориентирована в большей степени на условия совершенной конкуренции, поскольку предполагается, что на рынке преобладает большое число предприятий, продающих аналогичный товар. Все виды ресурсов мобильны, информация совершенна, вход и выход из отрасли свободный. Несмотря на то что совершенная конкуренция является скорее научной абстракцией, чем реальной способностью, она наилучшим образом создает условия для формулирования исходных положений и базовых условий модели управления предприятием на основе системно-синергетического подхода. Являясь простой рыночной ситуацией, совершенная конкуренция задает исходный образец для сравнения с другими типами рынков и оценки эффективности реальных

экономических процессов. Однако применение данной модели управления предприятием в условиях совершенной конкуренции имеет ряд допущений. Во-первых, поскольку модель ориентирована на краткосрочный период, то не учитывается перераспределение ресурсов из менее прибыльных отраслей в более прибыльные, а также применение более эффективных технологий, форм организации производства и т.д. Во-вторых, в условиях совершенной конкуренции ни покупатель, ни продавец не могут повлиять на текущую цену товара. Однако данная модель предполагает, что предприятие устанавливает цену, не только исходя из законов спроса и предложения, но и ориентируясь на свои производственные возможности. Таким образом, представленная модель управления предприятием может быть применена также в условиях несовершенной конкуренции. При этом необходимо учитывать, что модель не отражает влияния неценовых факторов (например, рекламы, платежеспособности покупателей и т.п.), также не показана дифференциация продукта. Применение данной модели в условиях чистой монополии ограничено, поскольку в данном случае устанавливается стабильный спрос на товар, не зависящий от цены.

Поскольку обобщенная модель управления представлена преимущественно для промышленного предприятия, то необходимо отметить ее значимость в условиях такой формы несовершенной конкуренции, как олигополия. Предприятия-олигополисты могут осуществлять собственную ценовую политику, их продукт может быть как дифференцированным, так и однородным. Предприятия при олигополии также, как и при совершенной конкуренции, сталкиваются с ограничениями в затратах ресурсов и условиях спроса. Кроме того, они сталкиваются еще с одним ограничением – действиями предприятий-конкурентов. Однако в данной модели не учитывается такой признак олигополии, как взаимная зависимость предприятий, которая распространяется на все сферы конкуренции (цену, объем продаж, долю на рынке и т.д.). В связи с этим

данная модель предполагает дальнейшее развитие с учетом взаимного влияния предприятий на рынке.

Несмотря на то что модель управления предприятием представлена в обобщенном виде, необходимость в ней продиктована реальными потребностями предприятий. Например, проблемы повышения эффективности предприятий машиностроительного комплекса, в частности ПАО «Камаз», которые не могут быть решены в рамках классического менеджмента, привели к необходимости применить синергетический подход к управлению предприятием. На формирование синергетических эффектов в производственных системах направлены концепции синергетического реинжиниринга бизнес-процессов (Загитов, 2016), разрабатываемые и внедряемые на ПАО «Камаз» (Кузнецов, 2003; Кузнецов, Шарамко, 2006).

Синергетический подход к управлению востребован как отдельными предприятиями, так и интегрированными структурами в строительстве (Новикова, 2012), авиастроении (Флек, 2014; Флек, Богуславский, 2002) и других отраслях экономики. Именно необходимость повышения эффективности функционирования предприятий в условиях усложнения экономических отношений и процессов организации производства обозначила потребность в формировании модели управления хозяйствующим субъектом на основе системно-синергетического подхода. Представленная далее модель управления предприятием может быть усовершенствована и адаптирована к конкретным условиям.

ОБОБЩЕННАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДПРИЯТИЯ В РЫНОЧНОЙ СРЕДЕ

Экономические процессы протекают во времени, вследствие чего соответствующие математические модели являются, в принци-

пе, динамическими. *Синергетика* нацелена на выявление общих принципов эволюции и самоорганизации сложных систем в различных областях знания на основе построения и исследования *нелинейных динамических математических моделей* (Занг, 1999). Базовыми условиями построения динамической модели предприятия являются особенности его функционирования как экономической системы. В момент создания (начала производственного процесса) предприятие затрачивает средства на приобретение факторов производства (материальных, нематериальных и трудовых ресурсов), чтобы их переработать (трансформировать) и получить результат. В данном случае трансформация представляет собой собственно производство.

Для удобства формирования динамической модели предприятия назовем совокупность источников, необходимых для расширенного воспроизводства, добавочным ресурсом. Здесь возможны различные алгоритмы распределения прибыли между фондом накопления и фондом, компенсирующим издержки. На приведенной на рис. 1 схеме показан простейший алгоритм линейного пропорционального перераспределения ресурсов предприятия.

Основная проблема экономического выбора заключается в получении предприятием максимально возможной прибыли на основе удовлетворения потребностей рынка при ограниченных ресурсах развития и ограничениях на координаты состояния экономической системы.

В основе функционирования предприятия лежит выпуск некоторого продукта в виде числа изделий в единицу времени в стоимостном выражении Y_1 (см. рис. 1). В дальнейшем ресурс, выпускаемый предприятием продукт, преобразование продукта в товар и пр. удобно оценивать в стоимостном выражении. Будем считать, что на вход в единицу времени на предприятие поступает некоторый ресурс X_1 , который используется для финансирования текущей деятельности предприятия (производства продукции). Под ресурсом X_1 пони-

мается совокупность ресурсов, необходимых для производства определенного объема продукции. Ресурс X_1 будем исчислять в единицах измерения «р./мес.». Значение координаты X_1 влияет на объем выпускаемого продукта Z_1 , который продается на рынке, образуя добавочный ресурс ΔX_1 в единицу времени. Эффективное распределение ресурса является одной из основных проблем управления экономической деятельностью предприятия. В нашем случае ограничимся линейным пропорциональным распределением ресурса между ресурсом накопления $\chi_2 \Delta X_1$ и ресурсом обеспечения функционирования предприятия $\chi_1 \Delta X_1$. Предприятие имеет начальный ресурс Σ_0 , объем которого определяется величиной собственных и (или) заемных средств (кредитом). Тогда текущее значение ресурса, получаемого в результате хозяйственной деятельности, в момент t определяется как

$$\Sigma(t) = \Sigma_0 + \int_0^t (\chi_2 \Delta X_1 - X_1) dt. \quad (1)$$

Ясно, что при условии $\chi_2 \Delta X_1 < X_1$ всегда наступит момент, когда предприятие полностью исчерпает свой ресурс. Если $\chi_2 \Delta X_1 > X_1$, то мы наблюдаем увеличение накопления ресурса предприятия. Общий ресурс в единицу

времени, который направляется на обеспечение функционирования предприятия, очевидно, определяется как $\{\chi_1 \Delta X_1 + \Delta \Sigma\}$.

Если в результате выпуска продукта он не реализуется на рынке, т.е. не преобразуется в приращение ресурса ΔX_1 , то для текущей деятельности у предприятия остается только начальный ресурс $\int_0^T X_1(t) dt = \Sigma_0$. Тогда через время T ресурс предприятия будет исчерпан, и дальнейшее существование предприятия при неизменном начальном ресурсе невозможно. Поэтому для продолжения функционирования предприятия важнейшее значение имеют реализация продукта на рынке и распределение добавочного ресурса с помощью коэффициентов $\{\chi_1 + \chi_2\} = 1$.

На обобщенной структурной схеме предприятия (см. рис. 1) выделены три подсистемы: подсистема производства продукта и преобразования его в товар (подсистемы производства и продаж), рынок, в котором товар преобразуется в добавочный ресурс, и подсистема распределения ресурса предприятия (подсистема экономического управления предприятием). Используя синергетический принцип расширения пространства состояний, можно выделить дополнительные подсистемы, с которыми взаимодействует

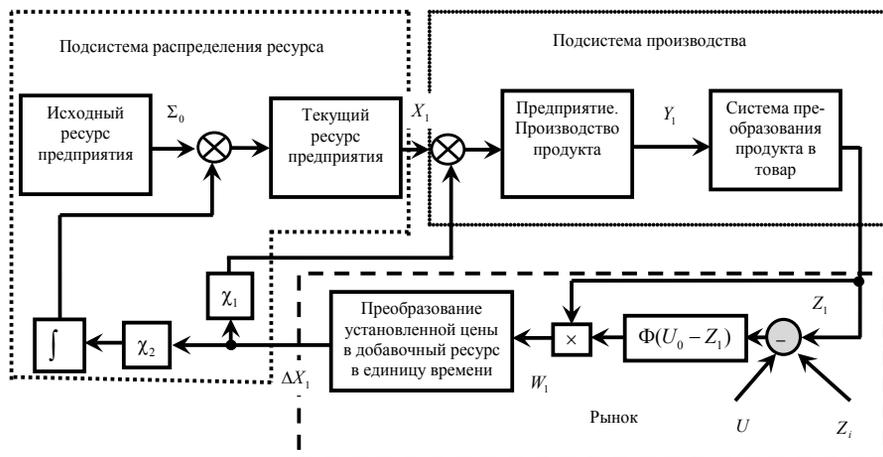


Рис. 1. Обобщенная структура функционирования предприятия

предприятие (подсистемы поставщиков сырья и комплектующих и пр.). Однако наибольшее значение здесь имеет рынок, с которым взаимодействуют и другие предприятия, выпускающие тот же продукт. Тогда система существенно усложнится и будет обладать уже другими свойствами. В данной статье мы ограничимся только анализом одного предприятия, взаимодействующего с рынком. Однако и в этом случае свойства системы «предприятие–рынок» будут принципиально отличаться от свойств подсистемы изолированного предприятия. Влияние других предприятий на схеме рис. 1 показано как воздействие Z_i , свойства и структура которого не раскрываются. Поэтому свойства рынка, влияющие на формирование цены, будем оценивать обобщенной координатой ($U_0 = U - Z_i$).

Взаимодействие нескольких предприятий с рынком на основе моделей этих предприятий будет показано в наших следующих публикациях.

Пусть время ΔT – рассматриваемый период, за который прогнозируется функционирование предприятия. Здесь возможны три варианта:

$$\left\{ \int_0^{\Delta T} [\Delta X_1(t)] dt > \Sigma_0; \right. \quad (2a)$$

$$\left\{ \int_0^{\Delta T} [\Delta X_1(t)] dt = \Sigma_0; \right. \quad (2b)$$

$$\left\{ \int_0^{\Delta T} [\Delta X_1(t)] dt < \Sigma_0. \right. \quad (2c)$$

В случае (2a) предприятие получает прибыль и удовлетворяет потребности рынка. Происходит приращение ресурса, т.е. в результате хозяйственной деятельности предприятия поступающий в его распоряжение ресурс (т.е. большие затраты) с течением времени расходуется на производстве. В случае (2b) предприятие не получает прибыли, но удовлетворяет потребности рынка (приращения ресурса не происходит). Наконец в случае (2c) предприятие за некоторое время исчерпает весь ресурс и становится убыточ-

ным; более того, в рассматриваемое время оно даже не может существовать. Таким образом, можно сформулировать следующий достаточно общий критерий рационального функционирования предприятия: в результате производства и реализации продукта поступающий добавочный ресурс должен не только превосходить затраты, но и быть максимальным, что можно представить в следующем виде:

$$\int_0^{\Delta T} [\Delta X_1(t)] dt = \Delta \Sigma = \max, \quad \Delta \Sigma > \Sigma_0. \quad (3)$$

Предварительно на координату X_1 наложим ограничения вида

$$X_1^{(\max)} \geq X_1 \geq X_1^{(\min)}. \quad (4)$$

Ограничения имеют двойной смысл. Во-первых, они определяются отсутствием социальной напряженности на предприятии (условие $X_1 \geq X_1^{(\min)}$). А это означает, что поступление ресурса в единицу времени ограничено снизу оплатой труда работников, обеспечивающих функционирование предприятия и финансирование их социальных гарантий. Эти ограничения связаны с поддержанием технологического и прочего оборудования на необходимом функциональном уровне. Во-вторых, X_1 не может превышать ресурса всего предприятия (условие $X_1^{(\max)} \geq X_1$). Мы видим, что в качестве управления в данном случае рассматривается функция X_1 , и на нее наложены ограничения (2a).

Если следовать синергетической концепции анализа и синтеза, то прежде всего необходимо выполнить процедуру расширения размерности пространства состояний системы. Первый этап расширения размерности пространства состояний заключается в определении взаимодействия предприятия со средой, т.е. с рынком. Хозяйственные ресурсы предприятия, совершая кругооборот, последовательно проходят заготовительную, производственную и реализационную стадии. Поэтому кроме продукта, выпускаемого в единицу времени Y_1 , необходимо рассмотреть процессы преобразования произведенного

продукта в товар Z_1 , способный обмениваться на рынке, а также формирования цены товара W и добавочной стоимости, которая после интегрирования по времени дает приращение ресурса $\Delta\Sigma$. При этом желательно обеспечить выполнение условия (3). Все координаты рассматриваются как производные функции по отношению к времени. Объем реализованной продукции при определенной цене является источником финансовых ресурсов предприятия, а цены выступают результирующей производств и рыночных продаж. Здесь также необходимо отметить, что время преобразования цены в добавочный ресурс зависит от установленной на рынке цены W . При ее снижении сокращается и время реализации.

Математическое моделирование преобразования координат состояния в системе (см. рис. 1) – сложная проблема. Однако общие закономерности их преобразования, во-первых, должны учитывать запаздывание вариаций выходных координат по отношению к входным координатам каждого блока. Во-вторых, в ходе преобразования (т.е. в процесс производства) необходимо принимать во внимание ограниченный частотный диапазон вариации входных координат (ресурсов), в котором наблюдаются реакции выходных координат (объема реализации).

Иными словами, результат производственной деятельности предприятия выражается в реализации товара и получении дохода и прибыли, которые в свою очередь влияют на формирование необходимых ресурсов для осуществления процесса производства. На формирование цены продукта с учетом его реализации также влияет множество факторов. Среди них принципиальное значение имеет потребность рынка в продукте. Такую потребность также можно представить в виде потенциального объема продаж в единицу времени $U(t)$. Во многих случаях потенциальную интенсивность продаж за длительный промежуток времени можно считать постоянной величиной, т.е. $U - Z_i = U_0 = \text{const}$. На данном этапе мы будем считать, что за планируемое время ΔT выполняется условие $U_0 = \text{const}$.

Однако, строго говоря, $U_0(t)$, так как $Z_i(t)$ (объем продукта, поступающего на рынок) – неясная для рассматриваемого предприятия функция. Изменяется во времени и U .

Формирование цены товара в рассматриваемой схеме зависит, с одной стороны, от потребности рынка ($U_0 - Z_1$) и его покупательной способности, а с другой – от желания предприятия получить максимально возможное приращение ресурса. Разность между потенциальным объемом продаж и объемом товара для реализации предприятием ($U_0 - Z_1$) представляет собой величину, количественно характеризующую удовлетворение потребности рынка. Под воздействием рыночного спроса и предложения предприятия – производителя товара формируется цена W . Качественная характеристика зависимости цены от потребности рынка $W = \Phi(U_0 - Z_1)$ представлена на рис. 2. Здесь необходимо отметить, что длительное функционирование системы в затемненной области нецелесообразно, поскольку предложение (объем товара, поступающего на рынок для реализации) здесь будет больше рыночного спроса (потенциально необходимого рыноку объема продаж). Следовательно, цена W будет ниже равновесной цены ($W_{0, \text{крит}}$). Равновесная цена ($W_{0, \text{крит}}$) устанавливается на рынке, когда объем реализации удовлетворяет рыночный спрос и не превосходит его $U_0 = Z_1$.

Полученный в результате реализации товара добавочный ресурс частично поступа-

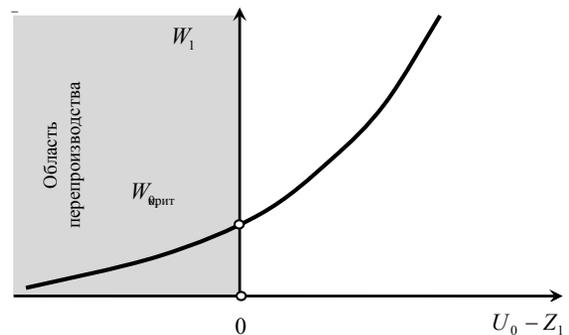


Рис. 2. Качественная характеристика зависимости цены от потребности рынка ($U_0 = Z_1$)

ет в общий (денежный) ресурс предприятия (фонд накопления), а частично – в ресурс, который используется для функционирования предприятия (фонд потребления). Для этого на блок-схеме указаны коэффициенты χ_1 и χ_2 . На первом этапе исследований эти коэффициенты будем считать постоянными. Рассмотрение структуры системы на рис. 1 показывает, что главные динамические свойства системы определяются блоками, выделенными точечной областью. В этой области X_1 есть управление, определяемое частью ресурса всего предприятия, которая поступает на предприятие для обеспечения его функционирования.

Приведенные выше представления позволяют в самом обобщенном виде представить систему уравнений динамики предприятия, взаимодействующего с рынком:

$$\begin{cases} T_1 \frac{dY_1}{dt} = k_1 (X_1 + \chi_1 \Delta X_1) - Y_1; \\ T_2 \frac{dZ_1}{dt} = k_2 Y_1 - Z_1; \\ W_1 = \Phi(U_0 - Z_1) Z_1; \\ T_3 (W_1) \frac{d\Delta X_1}{dt} = k_3 W_1 - \Delta X_1, \end{cases} \quad (5)$$

где X_1 , Y_1 , Z_1 , W_1 , ΔX_1 – координаты состояния системы; X_1 – величина расходуемого в единицу времени ресурса, поставляемого в производство (это управление системой); Y_1 – величина произведенного продукта в единицу времени; Z_1 – величина продукта, представленного в виде товара на рынке; W_1 – денежное выражение стоимости произведенного продукта и представленного на рынок; ΔX_1 – приращение полученного ресурса за счет реализации продукта в единицу времени; T_1 , T_2 , $T_3(W)$ – постоянные времена, характеризующие запаздывание изменения выходных координат (здесь принято во внимание, что время продажи зависит от цены); k_1 , k_2 , k_3 – коэффициенты, характеризующие связь между координатами в установившемся состоянии.

Параметры модели (5) могут быть определены, например, на основе использования методов экспертных оценок алгоритмов параметрической идентификации, наименьших квадратов. Первое уравнение системы характеризует преобразование ресурса в продукт в результате процесса производства в течение определенного периода времени и показывает зависимость произведенного продукта от задействованного ресурса предприятия. Второе уравнение – преобразование произведенного продукта в товар, готовый к реализации на рынке. Третье – качественная характеристика зависимости цены от потребности рынка. Четвертое характеризует формирование добавочной стоимости и приращение ресурса предприятия. Систему (5) необходимо дополнить условиями формирования суммарного ресурса предприятия (2) за планируемое время, т.е. в результате хозяйственной деятельности предприятия должны хотя бы покрываться затраты, связанные с ее осуществлением:

$$\left\{ \Sigma_0 - \int_0^{\Delta T} [X_1(t) - \Delta X_1(t)] dt \right\} \geq 0, \quad (6)$$

а также ограничениями (4). Причем условия (4) и (6) должны выполняться на отрезке $t \in (0, \Delta T)$, например, за определенный производственный цикл.

Выполним предварительный анализ системы (6). В этой системе имеются два управляющих воздействия. Координата X_1 может интерпретироваться как управляющее воздействие. На нее наложены ограничения

$$\left\{ \int_0^{T_0} \{X_1(\xi) + \chi_2 \Delta X_1(\xi)\} d\xi \right\} \geq 0$$

(здесь T_0 – время, в течение которого рассматривается функционирование системы). Таким образом, приращение ресурса в результате хозяйственной деятельности предприятия должно превосходить (или быть не меньше) требуемые средства на пополнение фонда потребления предприятия:

$$\int_0^{T_0} \chi_2 \Delta X_1(\xi) d\xi \geq X_{0,1}, \quad (7)$$

где $X_{0,1}$ – планируемый остаточный ресурс за период производства и выпуска продукции T_0 . Второе воздействие определяется потребностями рынка U_0 с учетом их изменения в результате деятельности других предприятий, взаимодействующих с рассматриваемым сегментом рынка. Таким образом, все изменения координат состояния предприятия при заданной его динамической структуре определяются управлением X_1 и потребностями рынка U_0 . Система (5) является нелинейной. Здесь принципиальное значение имеют следующие две нелинейные функции: $W_1 = Z_1 \Phi(U_0 - Z_1)$ и $T_3(W)$. Первая функция влияет на точку равновесия системы при прочих неизменных параметрах. Кроме того, она позволяет учесть трансформацию динамических свойств системы, которые зависят от колебаний рыночной конъюнктуры и изменений объемов товара, представленного на рынок. Вторая характеризует изменение динамики системы в зависимости от отклонения координат от стационарного состояния системы. Наконец ограничение (4) характеризует третью нелинейную функцию, которая фактически отражает ограниченность вариаций координат состояний системы. Поэтому, например, при потере устойчивости системы в ней координаты состояния не могут уходить в бесконечность. Тогда ограничения (4) наряду с отмеченными выше нелинейными функциями приводят к образованию многих типов притягивающих множеств, формируемых в окрестностях равновесия.

Рассмотрим первую функцию. Она характеризует мультипликативную форму образования дополнительного ресурса. Источником дополнительного ресурса является объем реализованного товара в стоимостном выражении. Исходя из рыночного закона спроса-предложения, увеличение объема товара, поступающего на рынок, способствует снижению его цены. Следовательно,

$$W_1 = W_0 Z_1 \exp[\alpha_W (U_0 - Z_1)], \quad (8)$$

где $W_0 Z_1$ – равновесная цена товара, т.е. цена при условии равенства потребности рынка и предложения (поступающего от предприятия объема товара на рынок), $U_0 = Z_1$; α_W – коэффициент, определяющий крутизну (скорость) изменения цены в зависимости от разности $U_0 - Z_1$, измеряемый в $(p.)^{-1}$.

Использование обобщенной экспоненциальной функции в (8) хорошо моделирует зависимость цены W_1 от уровня удовлетворения рыночного спроса ($U_0 - Z_1$). Эту функцию удобно анализировать. Система (5) является простейшей и динамической. Однако она моделирует главные свойства динамики экономики предприятия. В такой системе, особенно если раскрыть взаимодействие через рынок двух и более предприятий, возможно формирование множества притягивающих множеств, характерных для нелинейной динамики (предельных циклов, инвариантных торов и хаотических аттракторов) (Колесников, 2006; Хакен, 1985).

При построении уравнений динамики (5) используется структура управления, представленная на рис. 1. Здесь принято, что часть прибыли за счет реализации продукта на рынке остается непосредственно в подсистеме производства предприятия. Такая структура определяется желанием сформировать градиенты по направлению развития и совершенствования предприятия. Если вся прибыль передается на начальный ресурс, то нет стимулов сокращать издержки в производственной подсистеме. Для анализа системы (5) необходимо рассмотреть свойства стационарных траекторий и их асимптотическую устойчивость. Будем следовать классическим положениям теории устойчивости (Демидович, 1967; Ляпунов, 1950; Малкин, 1996). Так как траектории являются медленными функциями времени, то при анализе можно считать $X_1 = X_1^* = \text{const}$, $U_0 = \text{const}$ и рассматривать свойства системы в вариациях относительно точки равновесия.

АНАЛИЗ УСТАНОВИВШЕГОСЯ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ

Из (5) вычисляем точку равновесия Y_1^* , Z_1^* , W_1^* , ΔX_1^* . Она в пространстве состояния определяется на основе решения следующей системы:

$$\begin{cases} Y_1^* = k_1(X_1^* + \chi_1 \Delta X_1^*); \\ Z_1^* = k_2 Y_1^*; \\ W_1^*(Z_1^*) = W_\Sigma Z_1^* e^{-\alpha_W Z_1^*}; \\ \Delta X_1^* = k_3 W_1^*, \end{cases} \quad (9)$$

где $W_\Sigma = W_0 \exp[\alpha_W(U_0)]$.

Таким образом, при заданных значениях X_1^* и U_0 из (9) определяем установившееся значение суммарного выпуска продукции в единицу времени, приведенную к денежному исчислению Z_1^* , которое задает все координаты состояния системы Y_1^* , Z_1^* , W_1^* , ΔX_1^* в точке равновесия. Для нас наиболее важно определить связь между X_1^* и ΔX_1^* при заданном U_0 . В этом случае необходимо решить нелинейное уравнение

$$\Delta X_1^* = A(X_1^* + \chi_1 \Delta X_1^*) \times \exp[-\alpha_W(X_1^* + \chi_1 \Delta X_1^*)], \quad (10)$$

где $A = k_1 k_2 k_3 W_0 \exp[\alpha_W(U_0)]$ – постоянный параметр системы (в данном анализе). В частности, если отсутствует стимулирование производства, то мы имеем простую зависимость, имеющую максимум ΔX_1^* в точке $(\alpha_W)^{-1}$, так как он определяется из условия

$$\frac{\partial (W_\Sigma X_1^* e^{-\alpha_W X_1^*})}{\partial X_1^*} = 0.$$

Следовательно (рис. 3),

$$W_\Sigma \exp(-\alpha_W X_1^*) [1 - \alpha_W X_1^*] = 0. \quad (11)$$

При введении связи $\chi_1 \neq 0$ определение зависимости $\Delta X_1^* = \Phi(X_1^*)$ удобно выполнить на основе определения точки

пересечения кривой $\Delta X_1^*(X_1^* + \chi_1 \Delta X_1^*)^{-1}$ с экспонентой $A_\Sigma(X_1^*) \exp[-\alpha_W \chi_1 \Delta X_1^*]$ для каждого заданного значения X_1^* управления. Здесь $A_\Sigma(X_1^*) = A \exp[-\alpha_W X_1^*]$. В этом случае максимальное значение ΔX_1^* смещается, как показано на рис. 3, из точки $\Delta X_{0,1}^*$ в точку $\Delta X_{1,1}^*$. Имеет место и смещение оптимального значения ресурса, поступающего на вход предприятия, из точки $X_{0,1}^*$ в точку $X_{1,1}^*$. Причем смещение рассматриваемых точек зависит практически от всех параметров системы.

Важно подчеркнуть, что по мере увеличения объема ресурсов, поступающих на вход предприятия, его приращение не возрастает пропорционально, более того, начиная с некоторой точки, которой соответствует максимум, приращение ресурса начинает уменьшаться. Это определяется изменениями соотношения потребительского спроса и предложения на рынке. Если ΔX_1^* определено, то его величина задает следующую эволюционную траекторию приращения ресурса $\mathfrak{R}(t)$ предприятия во времени:

$$\mathfrak{R}(t) = \Sigma_0 + \int_0^t \{\chi_2 \Delta X_1^* - X_1^*\} dt. \quad (12)$$

Это монотонно нарастающая функция, при условии что $\{\chi_2 \Delta X_1^* - X_1^*\} > 0$. Если точка равновесия приращения ресурса в единицу

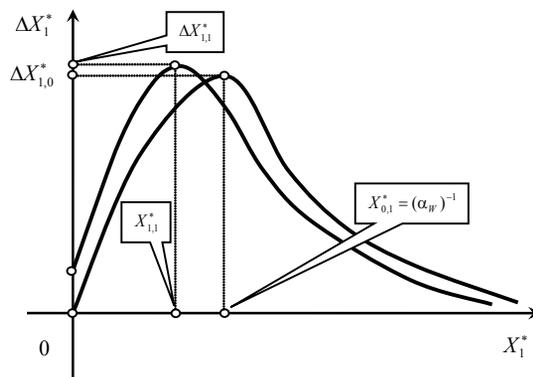


Рис. 3. Общий вид зависимости приращения суммарного ресурса от ресурса, поступающего на вход предприятия

времени является асимптотически устойчивой, то $\mathfrak{R}(t)$ есть притягивающее множество, т.е. аттрактор. Она есть отличная от прямой функция времени, если $X_1(t) \neq \text{const}$ и $U_0(t) \neq \text{const} \sqrt{b^2 - 4ac}$. Удивительным является то, что на точку экстремума не влияет емкость рынка (U_0). Она определяется только зависимостью цены продукта от разницы ($U_0 - Z_1$).

Приведенная математическая модель (9) равновесного состояния системы имеет практическое значение и может быть использована для характеристики деятельности любого производственного предприятия. Важно подчеркнуть, что проектирование аттрактора $\mathfrak{R}(t)$ и обеспечение его асимптотической устойчивости являются одной из фундаментальных проблем управления деятельностью любого предприятия.

УСТОЙЧИВОСТЬ СТАЦИОНАРНОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ

Для анализа устойчивости траектории $\mathfrak{R}(t)$ согласно положениям А.М. Ляпунова (Демидович, 1967; Ляпунов, 1950; Малкин, 1996) необходимо определить линеаризованное уравнение в вариациях относительно рассматриваемых точек равновесия Y_1^* , Z_1^* , W_1^* , ΔX_1^* . Для получения уравнения в вариациях относительно рассматриваемых точек сделаем замены:

$$Y_1(t) = Y_1^* + y(t), \quad Z_1(t) = Z_1^* + z(t),$$

$$W_1(t) = W_1^* + w(t), \quad \Delta X_1(t) = \Delta X_1^* + \Delta x(t).$$

Тогда с учетом (5) и (9), а также линеаризации нелинейной функции $W_1(Z_1) = W_\Sigma Z_1 e^{-\alpha_w Z_1}$ в окрестности Z_1^* получаем линеаризованное уравнение в вариациях относительно точек равновесия Y_1^* , Z_1^* , W_1^* , ΔX_1^* , которые определяют для стационарного состояния рассматриваемую траекторию $\mathfrak{R}(t)$:

$$\begin{cases} T_1 \frac{dy_1}{dt} = k_1 \chi_1 \Delta x_1 - y_1; \\ T_2 \frac{dz_1}{dt} = k_2 y_1 - z_1; \\ T_3 (W_1) \frac{d\Delta x_1}{dt} = k_3 k_w z_1 - \Delta x_1, \end{cases} \quad (13)$$

$$\text{где } k_w = \left(\partial \left\{ \Phi(U_0 - Z_1^* - z_1)(Z_1^* + z_1) - \Phi(U_0 - Z_1^*) Z_1^* \right\} / \partial z_1 \right).$$

В (13) принято во внимание, что $X_1 = \text{const}$ и $U_0 = \text{const}$. Поэтому $T_3(W_1^*) = \text{const}$ и $k_{3,\Sigma} = \text{const}$ для малых изменений координат состояния относительно точки равновесия. Здесь принципиально отметить, что коэффициент k_w зависит от точки равновесия. На рис. 4 приведена качественная зависимость k_w от Z_1^* , которая показывает, что не только k_w изменяется по модулю, но и изменяется его знак.

Из (13) после введения обозначений ($v_1(t) = y(t)$, $v_2(t) = z(t)$, $v_3(t) = \Delta x(t)$) в компактном виде имеем

$$T \frac{dv}{dt} = Av, \quad (14)$$

$$\text{где } T = \begin{bmatrix} T_1 & 0 & 0 \\ 0 & T_2 & 0 \\ 0 & 0 & T_3(W_1^*) \end{bmatrix};$$

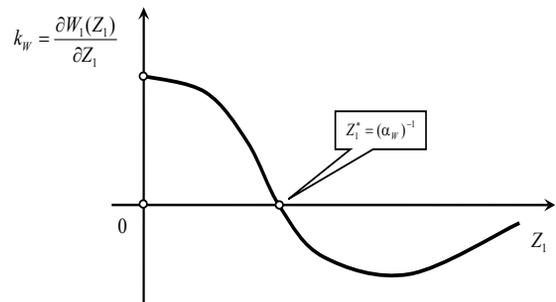


Рис. 4. Общий вид зависимости приращения суммарного ресурса от ресурса, поступающего на вход предприятия

$$A = \begin{bmatrix} \chi_1 k_1 & -1 & 0 \\ 0 & k_2 & -1 \\ -1 & 0 & k_3 k_W \end{bmatrix}.$$

Так как рассматривается случай, когда $X_1 = \text{const}$ и $U_0 = \text{const}$, то система (14) имеет постоянные параметры. Устойчивость такой системы можно определить на основе анализа корней характеристического уравнения, соответствующего (14):

$$\begin{bmatrix} -\chi_1 k_1 & 1 + T_1 p & 0 \\ 0 & -k_2 & 1 + T_2 p \\ 1 + T_3(W^*)p & 0 & -k_3 k_W \end{bmatrix} = 0. \quad (15)$$

В (15) параметры $T_3(W_1^*)$ и $k_3 k_W$ зависят от точки равновесия системы. Из (15) получаем следующее необходимое и достаточное условие устойчивости:

$$1 - \left((T_1 T_2 + T_1 T_3(W^*) + T_2 T_3(W^*)) \times \right. \\ \left. \times (T_1 + T_2 + T_3(W^*)) \right) / T_1 T_2 T_3 < k_\Sigma < 1, \quad (16)$$

где $k_\Sigma = \chi_1 k_1 k_2 k_3 k_W$.

Причем условие устойчивости зависит как от точки равновесия системы и параметров, характеризующих динамику предприятия, так и от конъюнктуры рынка. Они при неизменной структуре предприятия определяются $X_1 = \text{const}$ и $U_0 = \text{const}$. Здесь при рассмотрении устойчивости необходимо принимать во внимание компромисс между желанием увеличить стоимость продаваемого изделия, вызывающего увеличение $T_3(W^*)$, и увеличением объема продаж, вызывающим изменение k_Σ . Потеря устойчивости зависит практически от всех параметров системы (14). Однако для данного предприятия параметры T_1 , T_2 и k_1 , k_2 определены и неизменны. Обеспечивать устойчивость можно изменением соотношения между коэффициентами χ_1 , χ_2 . Например, при малых значениях χ_1 система всегда более потенциально устойчива, но в этом случае производство непосредственно не заинтересовано в совершенствовании сво-

ей структуры, влияющей на T_1 , T_2 и k_1 , k_2 . Кроме того, устойчивость зависит и от стратегии управления. Например, если в качестве стратегии выбрать стабилизацию части поступающей на предприятие прибыли, то, как не сложно показать, изменятся условия устойчивости эволюционных траекторий.

Наконец, необходимо учитывать, что при изменении потребности рынка $U_0 = \text{const}$ требуется изменять как точку равновесия системы, определяемую U_0 , так и параметр χ_1 . Для этого необходимо построить модель рынка и прогнозировать изменение U_0 , т.е. выполнить синергетическую процедуру расширения пространства состояний системы для более детального представления рынка. Кроме того, необходимо рассмотреть взаимодействие нескольких предприятий через рынок. Ответы на эти вопросы будут даны в наших дальнейших исследованиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Задачей любого предприятия является устойчивое и гармоничное развитие, которое основано на соблюдении оптимальных пропорций в использовании ресурсов и укреплении взаимосвязей в условиях изменяющейся внешней среды. От решения данной задачи зависит эффективность управления предприятием. Возрастание значения синергетического подхода к управлению предприятием проследживается в попытке перейти на качественно новый уровень, учитывающий объективные законы и естественную логику функционирования систем. Синергетический подход к исследованию механизма функционирования предприятия позволяет сформировать модель управления его хозяйственной деятельностью, учитывая принцип нелинейной самоорганизации систем. Практическое значение системно-синергетической модели управления предприятием заключается в обосновании для менеджера выбора одного из многих объ-

ективно существующих вариантов действий, который позволил бы перейти от наблюдаемого состояния предприятия к желаемому. С точки зрения управления предприятием большое значение имеет построение математических моделей на основе синергетической теории, в основе которых лежат описание динамических свойств подсистем, входящих в систему, и условия их взаимодействия. Система уравнений динамики предприятия позволяет определить точку равновесия, провести анализ установившегося состояния системы и устойчивости стационарного состояния. Решение системы уравнений, характеризующей равновесное состояние предприятия, позволяет определить траекторию приращения его ресурса во времени, необходимого для функционирования, и определить максимальную эффективность предприятия при установленной емкости рынка. Устойчивость траектории развития предприятия также можно определить на основе анализа уравнений в вариациях относительно точки равновесия. Таким образом, математические модели, построенные на основе синергетической теории, формируют базу для оптимального управления такими экономическими системами, как предприятия.

Литература

- Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.И. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. М.: Физматгиз, 1958.
- Винер Н. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. М.: Наука, 1983.
- Анохин П.К. Принципы системной организации функций. М.: Наука, 1973
- Демидович Б.Р. Лекции по математической теории устойчивости. М.: Наука, 1967.
- Ерохина Е.А. Теория экономического развития: системно-самоорганизационный подход. Томск: ТГУ, 1999.
- Занг В.-Б. Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории. М.: Мир, 1999.
- Загитов И.Л. Модель проектного управления инновационным реинжинирингом производственных систем: дисс. ... канд. экон. наук. Екатеринбург, 2016.
- Заковоротный В.Л., Флек М.Б. Динамика процесса резания. Синергетический подход. Ростов н/Д: Терра, 2006.
- Заковоротный В.Л., Лукьянов А.Д., Нгуен Д.А., Фам Д.Т. Синергетический системный синтез управляемой динамики металлорежущих станков с учетом эволюции связей. Ростов н/Д: Изд-во ДГТУ, 2008.
- Заковоротный В.Л., Флек М.Б., Фам Д.Т. Синергетическая концепция при построении систем управления точностью изготовления деталей сложной геометрической формы // Вестник Донского гос. техн. ун-та. 2011. Т. 11. № 10 (61). С. 1785–1797.
- Заковоротный В.Л., Лапишин В.П., Туркин И.А. Управление процессом сверления глубоких отверстий спиральными сверлами на основе синергетического подхода // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Сер. Технические науки. 2014. № 3 (178). С. 33–41.
- Кадошцев Б.Б. Динамика и информация. М.: УФН, 1997.
- Клейнер Г.Б. Системная парадигма и теория предприятия // Вопросы экономики. 2002. № 10. С. 47–69.
- Клейнер Г.Б. Системная парадигма и системный менеджмент // Российский журнал менеджмента. 2008. № 3. Т. 6. С. 28.
- Клейнер Г.Б. Системный ресурс экономики // Вопросы экономики. 2011. № 1. С. 89.
- Клейнер Г.Б. Системная организация экономики и проблемы развития предприятий // Пленарные доклады Тринадцатого всероссийского симпозиума. М.: ЦЭМИ РАН, 2012.
- Клейнер Г.Б. Системный ресурс стратегической устойчивости экономики // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2015. № 4 (223). С.11.

- Корнаи Я. Системная парадигма // Вопросы экономики. 2002. № 4.
- Колесников А.А. Синергетические методы управления сложными системами: теория системного синтеза. М.: КомКнига, 2006.
- Колесников А.А. Синергетическая теория управления. М.: Энергоатомиздат, 1994.
- Кузнецов Б.Л. Синергетический менеджмент в машиностроении. Набережные Челны: КамПИ, 2003.
- Кузнецов Б.Л., Шарамко М.М. Синергетический бенчмаркинг. Набережные Челны: КамПИ, 2006.
- Ляпунов А.М. Общая задача об устойчивости движения. М.: Гостехиздат, 1950.
- Магницкий Н.А., Сидоров С.В. Новые методы хаотической динамики. М.: Эдиториал УРСС, 2004.
- Малкин И.Г. Теория устойчивости движения. М.: Наука, 1966.
- Митропольский Ю.И. Лекции по методу усреднения в нелинейной механике. Киев: Наукова думка, 1966.
- Моисеев Н.Н. Расставание с простотой (Путь к очевидности). М.: Аграф, 1998.
- Моисеев Н.Н. Универсум. Информация. Общество. М.: Устойчивый мир, 2001.
- Новикова В.И. Синергетический подход к оценке функционирования холдингов // Социосфера. 2012. № 3. С. 67–71.
- Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М.: Прогресс, 1986.
- Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. М.: Едиториал УРСС, 2003.
- Пригожин И. От существующего к возникающему. М.: Наука, 1985.
- Понтрягин Л.С. Избранные труды. М.: Наука, 1988. Т. 2. С. 95–154.
- Синергетика и проблемы теории управления / под ред. А.А. Колесникова. М.: Физматлит, 2004.
- Флек М.Б. Практическая экономика предприятия: синергетический подход: монография / М.Б. Флек, Ю.Б. Слюсарь, Е.А. Угнич, И.В. Богуславский. Ростов н/Д.: ИУИ АП ДГТУ, 2014.
- Флек М.Б., Богуславский И.В., Угнич Е.А. Управление синергетическими эффектами – основной драйвер развития предприятия в современных условиях // Вестник ДГТУ. 2014. № 4 (79). С. 203–20.
- Флек М.Б., Богуславский И.В. Синергетические особенности стратегического управления машиностроительным предприятием // Стратегическое планирование и развитие предприятий. Секция 3: Тезисы докладов и сообщений Третьего всероссийского симпозиума. Москва, 9–11 апреля 2002 г. / под ред. проф. Г.Б. Клейнера. М.: ЦЭМИ РАН, 2002.
- Хакен Г. Синергетика. Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М.: Мир, 1985.
- Хакен Г. Тайны природы. Синергетика: учение о взаимодействии. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003.
- Эшби У.Р. Введение в кибернетику. М.: КомКнига, 2005.
- Zakovorotny V.L., Lukyanov A.D. The problems of control of the evolution of the dynamic system interacting with the medium // International Journal of Mechanical Engineering and Automation. 2014. Vol. 1. № 5. P. 271–285.
- Zakovorotny V. Bifurcations in the dynamic system of the mechanic processing in metal-cutting tools // WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics. 2015. Vol. 10. P. 102–116.

Рукопись поступила в редакцию 12.02.2016 г.