

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ (С ПОЗИЦИЙ ТЕОРИИ КАТАСТРОФ)

Копосов Г.А., Шмулевич П.В.

У статті розглянуто екологічну систему в економічному розумінні. Досліджено її ефективність з позицій теорій катастроф і хаосу.

Постановка проблеми. Современный процесс производства затрагивает все сферы жизни человека, а также среду его обитания, извлекая из нее ресурсы. Эти сложные взаимосвязи составляют экологическую систему. В традиционном понимании экологическая система – это биологическая система, состоящая из сообщества живых организмов, среды их обитания, системы связей, осуществляющей обмен веществом и энергией между ними. С позиций экономики понятие «экологическая система» должно иметь несколько иное значение. Экологическую систему можно представлять как некую дихотомию физической (природа) и человеческой (экономика) составляющих. Сложные взаимосвязи, которые образуются между ними, нужно рассматривать качественно по-новому, учитывая нелинейное развитие всей системы. Для этого можно использовать инструментарий теории катастроф.

Анализ достижений. Одним из основополагающих трудов в сфере теории катастроф можно считать работу В.И. Арнольда [1]. Тем не менее, многие выводы данной работы малоприменимы к экономике, и возможность применения к ней вышеупомянутой теории в монографии лишь упомянута.

Постановка задания. В данной работе предлагается рассмотреть экологическую систему в экономическом понимании. Поскольку она нелинейна, для анализа использованы методы теории катастроф как новейшего и наиболее перспективного аппарата научных исследований. С позиций этой теории становится возможным фундаментально оценить диалектические связи между предприятием и экологической системой. Причем критерием оценки выбрана эффективность как основной производственный показатель.

Основная часть. Очевидное и принципиальное отличие человеческой составляющей в экологических системах состоит в том, что в экономике действуют субъекты, наделенные сознанием, каждый из которых желает реализовать целый комплекс собственных интересов. Т.е., с точки зрения сугубо экологической, отличительным признаком

живых организмов является обмен веществ – способность потреблять извне одни природные вещества и отдавать другие. В экономико-экологической системе этот признак трансформируется так: отличительным признаком экономических субъектов является потребление одних веществ из природы (природных ресурсов) и возвращение других (отходов производства), причем этот процесс становится осознанным и контролируемым в определенных масштабах. В таком понимании предприятие, как основная производственная единица, получает возможность косвенно регулировать параметры данной экологической системы, становясь, с другой стороны, заложником динамики уровня ее устойчивости.

Эффективность понимается как отношение эффекта к затратам. Под эффектом экологической системы мы будем подразумевать прибыль, а под затратами – уменьшение природных ресурсов определенной экологической системы (а не просто использованные в производстве природные ресурсы). В этом случае потери системы вследствие экологических катастроф должны восприниматься как производственный брак, который относится на издержки.

Повысить эффективность можно двумя способами: максимизировать эффект либо минимизировать затраты.

Для второго способа – минимизации затрат – экономика должна использовать инновации и научно-технические достижения для уменьшения использования невозобновляемых природных ресурсов для производства товаров и услуг. Следовательно, эффективность экологической системы будет тем выше, чем выше в структуре производства конкретной страны доля наукоемкой продукции и, соответственно, меньше доля материало- и энергоемкой.

В принципе, с позиций современной парадигмы науки на этом могла бы закончиться краткая характеристика эффективности экологической системы. Однако, с позиций теории катастроф этого явно недостаточно. Как было упомянуто, затраты экологической системы – это не только те природные ресурсы, которые были использованы в производстве, но и те, которые данная система потеряла вследствие экологических катастроф. Лесные пожары в России, разлив нефти в Мексиканском заливе в США, техногенная катастрофа в Венгрии, землетрясения в Японии с последующим загрязнением окружающей среды и т.д. – все эти события привели к уничтожению или порче природных ресурсов, и при подсчете эффективности экологической системы они должны учитываться в затратах системы на производство некоего совокупного продукта.

При всем этом, одной из главных наших задач является нахождение возможности прогнозирования развития экологической системы и, следовательно, определения уровня ее эффективности в

будущем с учетом синергетического эффекта.

Для того, чтобы это учесть, статистическое прогнозирование явно не подходит. Экологическая система нелинейна. Исходя из предположения, что нелинейная система стремится к устойчивости, можно описать с позиций теории катастроф основные этапы процесса развития экологической системы любого уровня: региональной, национальной, континентальной и т.д.

Нужно отметить, что главная особенность теории катастроф – это ее построение на основе экспериментальных данных при отсутствии убедительного объяснения наблюдаемых процессов. Поэтому при «слепом» применении данной теории как метода исследования мы автоматически оставляем место для ошибок. Т.е. исключительно важны теоретические обоснования закономерностей, описанных теорией катастроф, так как некоторыми учеными считается, что в момент бифуркации принципиально невозможно предсказать, в каком направлении будет происходить дальнейшее развитие [2]. Очевидно, категоричность данного утверждения следует отнести к относительной «молодости» теории катастроф и поставить его под сомнение.

Зная основные закономерности, можно попытаться объяснить наблюдаемые процессы. Дело в том, что при определенном значении некоторого параметра A система выходит из равновесия и начинает непрерывно делиться. Смежная с теорией катастроф теория хаоса говорит, что сложные нелинейные системы являются наследственно непредсказуемыми, но, в то же время, теория хаоса утверждает, что способ выражения таких непредсказуемых систем оказывается верным не в точных равенствах, а в представлениях поведения системы – в графиках странных аттракторов или во фракталах. Таким образом, теория хаоса, о которой многие думают как о непредсказуемости, оказывается, в то же время, наукой о предсказуемости даже в наиболее нестабильных системах.

Вместо традиционных X-Y графиков, ученые теперь могут интерпретировать фазово-пространственные диаграммы, которые – вместо того, чтобы описывать точное положение какой-либо переменной в определенный момент времени – представляют общее поведение системы. Вместо того, чтобы смотреть на точные равенства, основанные на статистических данных, теперь можно взглянуть на динамические системы с поведением, похожим по своей природе на статические данные, т.е. системы с похожими аттракторами. Теория хаоса обеспечивает прочный каркас для развития научных знаний.

Очень важной в исследованиях с использованием теорий катастроф и хаоса является постоянная Фейгенбаума. Это универсальная постоянная, характеризующая бесконечный каскад бифуркаций удвоения периода при переходе к детерминированному хаосу и равная $4,669\dots$. В

соответствии с этой постоянной идет ускорение наступления катастроф, а следовательно и потерь ресурсов в результате этих катастроф. Она проявляется при исследовании логистического уравнения – одного из сценариев перехода к хаосу.

Логистическое уравнение изначально появилось при рассмотрении модели роста численности населения. Исходные предположения для вывода уравнения при рассмотрении популяционной динамики выглядят следующим образом: скорость размножения популяции (r) пропорциональна её текущей численности при прочих равных условиях; скорость размножения популяции пропорциональна количеству доступных ресурсов при прочих равных условиях. В экологии часто различают две стратегии поведения видов: r -стратегия предполагает бурное размножение и короткую продолжительность жизни особей, а K -стратегия – низкий темп размножения и долгую жизнь (где K – ёмкость среды).

Исходя из этого возникает альтернатива: либо увеличить расходы на экологические мероприятия с расчетом сохранить эффективность экологической системы хотя бы на прежнем уровне, либо замедлить развитие системы с тем, чтобы осуществить необходимые инновации.

Причина происходящего – в достижении системой критического момента, при котором ей приходится самоорганизовываться и искать лучшее состояние для нормального функционирования. Упомянутое в первом выводе худшее состояние – это и есть каскад бифуркаций, т.е. последовательные бифуркации удвоения быстро следуют одна за другой, так что на конечный отрезок изменения параметра приходится бесконечное число удвоений. Согласно определению, бифуркация происходит под действием незначительных отклонений в системе. С таких позиций, некоторое событие даже на одном предприятии способно вывести из равновесия целую экологическую систему.

На практике часто имеет место так называемая динамическая бифуркация. Параметр A проходит через некоторое бифуркационное значение, и фактически в любой момент может произойти скачок. Однако, еще некоторое время система находится в окрестностях неустойчивого равновесия (процесс «затягивания»). И лишь затем происходит первый скачок и целый каскад делений, которые можно назвать бифуркациями второго порядка, если рассматривать динамическую бифуркацию как целое. В каждой точке бифуркаций второго порядка перед системой есть две альтернативы.

Таким образом, можно сказать, что экологическая система в некоторый момент (в точке прохождения бифуркационного значения) под действием определяющего фактора должна искать возможность сменить режим, чтобы обеспечить собственную устойчивость в будущем.

Подводя итоги, опишем примерный механизм перехода

экологической системы в новый режим. В какой-то момент времени t_0 добыча некоторого ресурса (параметр A) достигает критического значения (A_0) (точка прохождения бифуркационного значения). Экологическая система больше не может обеспечивать подобный уровень развития (например, вследствие критического загрязнения окружающей среды из-за добычи/использования ресурса). Некоторый временной отрезок $[t_0; t_1]$ система «ожидает» подходящее событие в производстве (затягивание). В момент t_1 на каком-то предприятии из-за человеческого фактора происходит авария. Начинается каскад ускоряющихся бифуркаций (экологическая катастрофа): неконтролируемое загрязнение (например, разлив нефти) или уничтожение ресурса (например, пожары). Экологическая система оказывается в худшем состоянии (цель перехода – уменьшение загрязнения, на практике – его увеличение). Потеря предыдущего уровня устойчивости прямо влияет на уровень эффективности системы – увеличивается расход ресурсов на производство совокупного продукта за счет их уничтожения во время катастрофы и последствий (динамическая бифуркация). Эффективность системы резко падает. Повышаются цены на «потерянные» ресурсы. Растет себестоимость конечной продукции. Растет ее цена. Увеличивается эффективность капитала производителей данной продукции. Расширяется производство, а значит и добыча ресурса из альтернативных источников (состояние системы всё еще ухудшается). Одновременно рынок ищет товары-заменители подорожавших ресурса и конечного продукта (сопротивление системы). Активизируется инновационная деятельность: понижается материалоемкость и повышается наукоёмкость продукции. Понижается использование ресурса в пользу заменителя. Добыча стабилизируется или снижается. Система приходит в равновесие и переходит на новый уровень устойчивости.

Выводы. 1. Издержки экологической системы, а следовательно и ее эффективность зависят не только от чисто производственных затрат, но и от потерь ресурсов вследствие экологических катастроф.

2. В соответствии с теорией катастроф количество бифуркаций в системе увеличивается, следовательно увеличиваются потери ресурсов.

3. Поведение экологической системы в соответствии с логистической кривой требует либо замедления развития, либо увеличения затрат на экологические мероприятия для сохранения эффективности экологической системы на прежнем уровне.

Литература

1. Арнольд В.И. Теория катастроф. – 3-е изд.– М., 1990. – 128 с.
2. Николайкин Н.И. Экология: учеб.– 2 изд.– М.: Дрофа, 2003.– 624 с.

Abstract

Koposov G.A., Shmulevych P.V.

Efficiency of ecological system (using catastrophe theory)

Ecological system is considered from economical side. Its efficiency is researched with the use of chaos and catastrophe theories.