

Ускорение внедрения инноваций на основе синергетического подхода

Объектом исследования является обновляемая система, поведение которой во времени моделируется активным би-стабильным элементом.

На базе математического аппарата теории случайных процессов и информационно-энтропийного критерия разработана теоретическая модель и предложен практический метод сокращения времени замещения устаревших технологий инновационными.

Метод основан на синергетическом подходе, анализе времени прохождения точек бифуркации на траекториях технологического развития, а также на управлении входными потоками обновляемой системы.

Получены аналитические и графические зависимости, описывающие динамику изменения во времени информационной энтропии и скорости ее приращения для трех характерных режимов существования обновляемой системы: старавации, бифуркации и инновации.

Выявлены зависимости режима существования обновляемой системы, а также времени прохождения системой через точку бифуркации от функции распределения случайного процесса внешних воздействий на систему.

Ускорение внедрения инноваций может достигаться путем сокращения времени прохождения обновляемой системой точек бифуркации за счет рационального управления входными инвестиционными и информационными потоками.

Приведены примеры некоторых из типовых траекторий развития инноваций и сценариев приближения обновляемой системы к аттракторам технологического развития.

Ключевые слова: бережливая инновация, точка бифуркации, информационная энтропия, аттрактор технологического развития, синергетика, технологическое замещение, ускорение внедрения.

Как показывает многолетний опыт работы автора на кафедре инновационных технологий, конкретные результаты инновационной деятельности в современной России не всегда соответствуют ожиданиям из-за недооценки важности научного управления инновационно-инвестиционными процессами, замалчивания реальных проблем, возникающих при внедрении инноваций. Довольно редко используются перспективные и современные методы теории инноваций и других наук, в частности нелинейной динамики и теории самоорганизующихся систем (синергетики). В реальной практике, к сожалению, в основном преобладает метод проб и ошибок. Такие действия методом проб и ошибок, попытки управлять сложными переходными инновационными процессами и обновляемыми системами, не зная и/или не учитывая их свойств и не вполне понимая, в каком состоянии эти системы находятся в конкретный момент времени, не позволяют принимать эффективные управленческие решения и стабильно получать желаемые результаты.

В то же время в результате ускорения развития и усложнения социально-экономических систем в разных странах мира приходит понимание того, что сложившиеся традиционные формы и методы



Р. И. Зайнетдинов,
д. т. н., профессор,
действительный член
Академии проблем качества РФ
zri7755@gmail.com

управления не могут справиться со стремительно нарастающими проблемами, кризисными ситуациями и требуют значительной корректировки и обновления. В современном быстро меняющемся мире методы и формы управления также должны обновляться в направлении большей гибкости, большей адаптивности, повышения способности своевременно решать задачи регулирования инвестиционных и других потоков для достижения поставленных целей технологического развития на макро-, мезо- и микроуровнях.

Новые возможности в совершенствовании инновационно-инвестиционной политики и управления открываются современными подходами, основанными на системном анализе, нелинейной динамике и синергетике. Предлагаемый синергетический подход к управлению инновационными процессами и сопряженными с ними материальным, энергетическим и информационным потоками базируется на изучении, анализе и моделировании свойств и состояний переходных инновационно-инвестиционных процессов и обновляемых технологических систем.

Сложные процессы, связанные с технологическим развитием и происходящие в ходе разработки и применения инновационных технологий, видов продукции, услуг и бизнес-моделей, носят ярко вы-

раженный нелинейный характер и сопровождаются необратимыми изменениями. Научно обоснованное управление, прогнозирование и планирование инновационных процессов должны, по нашему мнению, опираться на современные математические модели и методы нелинейной динамики и синергетики. Ряд исследователей (Д. Сахал [1], М. Хироока [2] и др.) ранее использовали подобные модели и методы для анализа инновационных процессов. В настоящей работе изучение, анализ и моделирование свойств инновационно-инвестиционных процессов основывается на использовании информационно-энтропийного и мультифрактального подходов, а также вейвлетного анализа [3]. Это позволяет глубже понять природу динамики (в том числе цикличности) технико-экономического развития инновационных систем на базе универсальных закономерностей самоорганизации и самоподобия. На этой основе нами предложен научный подход для ускорения внедрения инноваций.

Рассмотрим инновационно-инвестиционный процесс развития открытой технологической системы. Такие системы в процессе своего обновления развиваются как открытые диссипативные устойчиво неравновесные системы, способные к самоорганизации [4]. Наличие материального, энергетического и информационного потоков (в качестве которых выступают потоки инвестиций, патентной информации, кадров, оборудования и т. д.) от внешних источников к системе и их диссипация являются предпосылками активности инновационной системы. Рассматриваемые самоорганизующиеся системы включают и профессиональные сообщества, а с психологических позиций сюда целесообразно добавить поток «мотивационной энергии», угасание которого приводит к снижению темпов роста научных знаний, истощению потока инноваций и постепенному разрушению интеллектуальной структуры, что подчеркивает диссипативный характер инновационных систем. Гомеостатические свойства профессионального сообщества определяются такими факторами, как научные школы и исторические традиции, стабильная система образования и классические учебники, которые обеспечивают преемственность и устойчивое развитие науки, техники и технологий. Эта модель открытой активной обновляемой системы вполне соответствует концепции открытых инноваций [5].

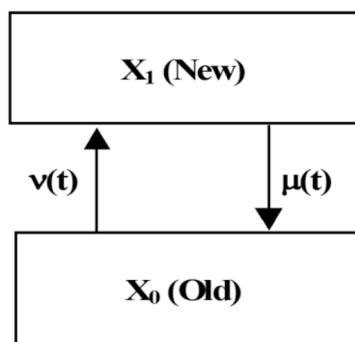


Рис. 1. Граф переходов бистабильного элемента, моделирующего поведение обновляемой системы

Важнейшей функцией состояния системы является энтропия. По И. Р. Пригожину [6], изменение энтропии dS за интервал времени dt в открытой системе можно разделить на сумму двух составляющих

$$dS = d_e S + d_i S,$$

где $d_e S$ — поток энтропии, зависящий от процессов обмена инновационной системы с окружающей средой; $d_i S$ — производство энтропии, обусловленное необратимыми процессами внутри самой инновационной системы.

Определенные стадии временной эволюции инновационной системы могут происходить при общем понижении энтропии. В соответствии с традиционной интерпретацией энтропии, как меры неупорядоченности системы, это означает, что в ходе эволюции разупорядоченность уменьшается за счет оттока энтропии, происходит самоорганизация, система эволюционирует к более сложной структуре. При этом могут возникать новые типы диссипативных структур, углубляться иерархия внутри системы и дифференциация подсистем, меняться структура и сложность. В устойчиво неравновесном состоянии положительное производство энтропии внутри системы компенсируется отрицательным потоком энтропии, т. е. притоком информации извне системы или с других иерархических уровней самой инновационной системы [7].

Отличительной особенностью инновационно-инвестиционных процессов является то, что они сопровождаются необратимыми изменениями. Все реальные процессы в той или иной степени необратимы и неравновесны. Источником развития открытой системы является асимметрия потоков вещества, энергии и информации, т. е. наличие градиентов этих величин. В качестве критического элемента обновляемой системы рассмотрена локальная зона повышенного градиента определяющего параметра X , лимитирующего режим работы всей обновляемой системы. Для анализа поведения такого критического элемента системы использована модель бистабильного элемента (рис. 1), обладающего двумя устойчивыми состояниями — старым (с параметром X_0) и новым (с параметром X_1), в каждом из которых он может находиться достаточно долго. Внешние воздействия могут приводить к переходу критического элемента из одного состояния в другое с интенсивностями ν и μ переходов критического элемента обновляемой системы из старого состояния в новое и обратно соответственно. Чтобы вызвать такой переход, интенсивность воздействия должна превысить некоторый пороговый уровень X_{th} . Вводится параметр режима $\alpha = \nu/\mu$, характеризующий режим эксплуатации (существования) обновляемой системы.

В зависимости от соотношения вероятностей P_0 и P_1 нахождения критического элемента в старом и новом состояниях соответственно, нами рассмотрены три характерных режима существования («modes of being») обновляемой системы:

а) старвация — легкий (стабильный) режим, когда $\alpha < 1$, $\nu < \mu$, $P_0 > P_1$, т. е. система большую часть

времени все еще продолжает находиться в старом состоянии;

- б) бифуркация — симметричный режим, когда $\alpha=1$; $\nu=\mu$; $P_0=P_1=0,5$;
- в) инновация — тяжелый (переходный) режим, когда $\alpha>1$; $\nu>\mu$; $P_1>P_0$, т. е. система большую часть времени уже находится в новом состоянии, инновационная технология преобладает.

Для анализа эволюции обновляемой системы в процессе перехода от старваии к инновации нами исследована динамика информационной энтропии, которая является мерой неопределенности существования системы, и равна количеству информации по Шеннону, необходимому для снятия этой неопределенности [8]:

$$H = - \sum_{j=0}^1 P_j(t) \log_2 P_j(t).$$

Иногда удобнее использовать безразмерную относительную энтропийную функцию в виде $H/H_{\max}$, где $H_{\max}$ — максимальное значение информационной энтропии. При этом минимальное значение $H/H_{\max}=0$ соответствует вырождению стохастической системы в жесткую детерминированную. Достижение максимального значения энтропийной функции $H/H_{\max}=1$ в открытой самоорганизующейся системе соответствует точке бифуркации, в которой происходит разрушение исчерпавшей свои диссипативные способности структуры, и начинается этап формирования новой структуры на ином иерархическом уровне. Эта точка соответствует качественному скачку, т. е. переходу обновляемой системы на новый уровень развития.

Аналитические зависимости для описания динамики потока информационной энтропии $H(t)$ и ее скорости dH/dt во времени t получены нами в виде [7, 9]:

$$H(t) = -\frac{\alpha}{1+\alpha} \frac{1}{\ln 2} \left\{ \frac{1+\alpha e^{-\beta t}}{\alpha} \ln \left[\frac{1}{1+\alpha} (1+\alpha e^{-\beta t}) \right] + (1-e^{-\beta t}) \ln \left[\frac{\alpha}{1+\alpha} (1-e^{-\beta t}) \right] \right\},$$

$$\frac{dH}{dt} = -\frac{\nu e^{-\beta t}}{\ln 2} \ln \left[\frac{\alpha (1-e^{-\beta t})}{1+\alpha e^{-\beta t}} \right],$$

где $\beta=\nu+\mu$; ν, μ — интенсивности переходов критического элемента обновляемой системы соответственно из старого состояния в новое и обратно.

Для переходного режима существования обновляемой системы при $\alpha>1$ наступление точки бифуркации соответствует моменту времени [7, 9]:

$$t_b^* = -\frac{1}{\beta} \ln \left(\frac{\alpha-1}{2\alpha} \right).$$

Выполнен также анализ потока информационной энтропии и скорости его изменения как отклика обновляемой системы на изменение условий существования. На рис. 2 показаны графики изменения потока информационной энтропии $H(t)$ и его скорости dH/dt для случая, когда в условный момент времени $t=1,4$ на систему оказывается воздействие, приводящее к переходу обновляемой системы от легкого режима

старваии ($\alpha<1$) к тяжелому режиму инновации ($\alpha^*>1$). Анализ полученных нами зависимостей показал, что обновляемая система реагирует на сильное воздействие, приводящее к новому режиму существования, резким возрастанием потока информационной энтропии от достигнутого в предшествующих условиях стационарного уровня H_{ST} до максимума $H_{\max}^*=1$ в момент времени t_b^* , соответствующий прохождению точки бифуркации [7, 9]:

$$t_b^* = -\frac{1}{\beta^*} \ln \left(\frac{(\alpha^*-1)(\alpha+1)}{2(\alpha^*-\alpha)} \right).$$

При этом скорость dH^*/dt^* приращения потока энтропии резко падает до нуля, становится отрицательной, проходит минимум и стремится к нулю, когда обновляемая система входит в новое стационарное состояние. После прохождения точки бифуркации t_b^* поток информационной энтропии уменьшается и стабилизируется на новом стационарном уровне H_{ST}^* , соответствующем масштабу инновации.

Дополнительный анализ показал, что в точке бифуркации, соответствующей моменту времени t_b^* , дисперсия D_x определяющего параметра X обновляемой системы также достигает максимума. В этот момент обновляемая система характеризуется наибольшей разупорядоченностью, хаотичностью, когда случайные флуктуации проявляются на макроскопическом уровне. Этот факт позволяет использовать дисперсию D_x в качестве диагностического параметра состояния обновляемой системы.

В данном исследовании автор исходит из того, что траектории технологического развития, как правило, уникальны для каждой реальной обновляемой системы. При этом можно выделить ограниченное число типовых траекторий и сценариев приближения

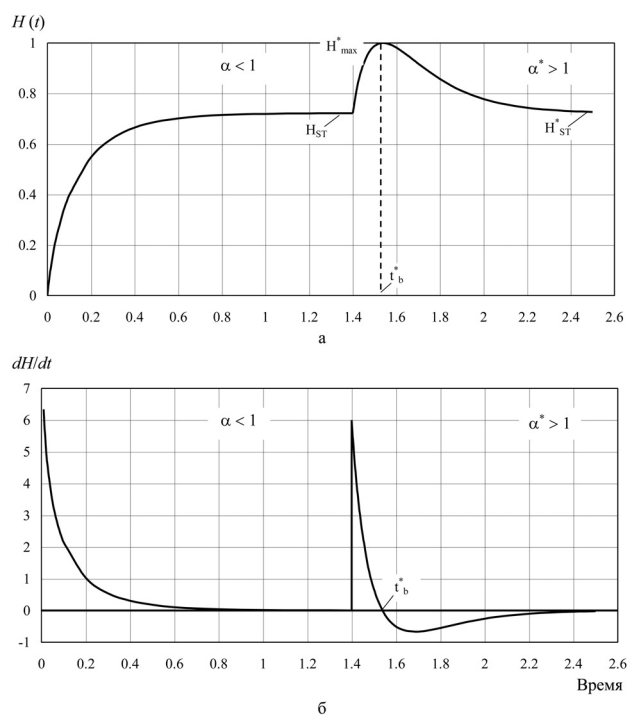


Рис. 2. Динамика изменения потока информационной энтропии $H(t)$ (а) и его скорости dH/dt (б) в случае инновации системы ($\alpha<1$; $\alpha^*>1$)

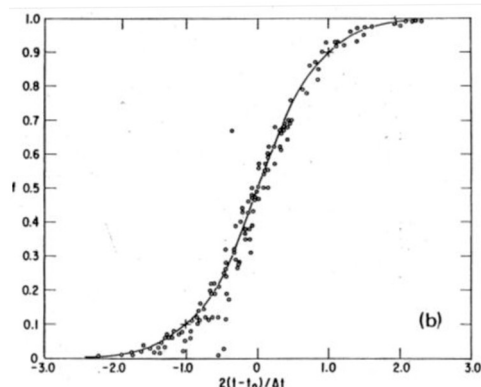


Рис. 3. Нормированная модель Фишера–Прая для 17 случаев бинарного технологического замещения

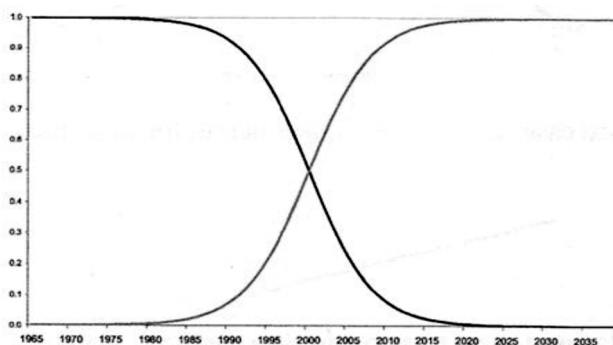
обновляемой технологической системы к аттракторам технологического развития. Основные сценарии технологического развития основаны на замещении существующей (базовой) технологии одной или несколькими инновационными.

Базовым элементом большого числа концепций инновационного менеджмента являются S-образные кривые разных видов. Такие зависимости возникают вследствие изменения доминирования во времени двух сил: потенциала роста и эффекта насыщения. В сфере технологического прогнозирования и стратегического менеджмента логистические кривые используются для темпорального анализа и моделирования трех различных видов инновационных процессов: технологического замещения в промышленности и сервисе, диффузии инноваций в социальной среде и изменения технико-экономических показателей (технологические траектории).

Рассмотрим некоторые из основных сценариев технологического развития, основанных на замещении существующей (базовой) технологии одной или несколькими инновационными.

Сценарий 1. Это исходный сценарий — бинарное технологическое замещение. Он имеет место, когда одна инновационная технология полностью замещает одну существующую, достигшую зрелости (вступив-

Доля рынка, %



Время T, год

Рис. 4. Исходный сценарий: теоретический график бинарного технологического замещения

шую в фазу насыщения). Этот случай обычно описывается моделью S-образной кривой, вытекающей из дифференциального уравнения Ферхюльста. Согласно модели Фишера–Прая [10], логарифм отношения долей рынков новой и существующей технологий считается линейной функцией времени. Фишер и Прай [11] изучали скорость технологического замещения для 17 случаев инновационного развития. Нормирование шкалы времени с помощью условия

$$2(t - t_0)/\Delta t,$$

где Δt — время замещения от 10 до 90% рынка технологии; t_0 — время наступления равновесия между технологиями (50%-ное замещение), позволило свернуть все 17 случаев технологического замещения в единую кривую, представленную на рис. 3.

Теоретический график бинарного технологического замещения показан на рис. 4, а эмпирический пример бинарного технологического замещения, в качестве которого рассмотрен переход от бессемеровского к мартеновскому технологическому процессу в сталелитейном производстве в период времени с 1878 по 1958 гг. [12, 13] приведен на рис. 5.

Сценарий 2. Последовательность бинарных замещений. С течением времени в промышленности

Доля рынка, %

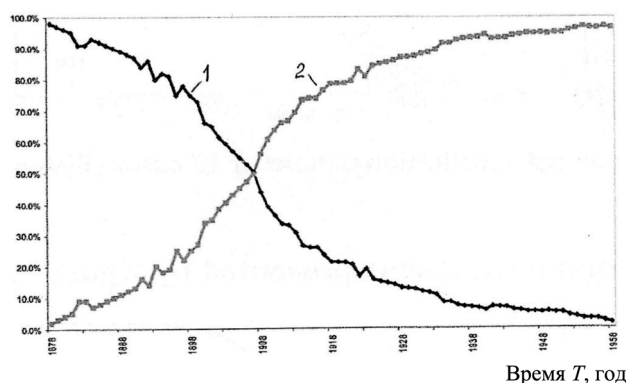
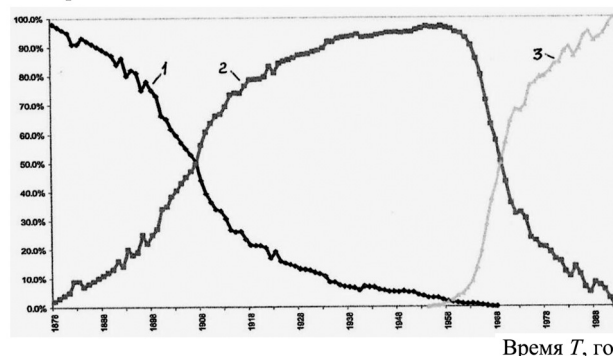


Рис. 5. Исходный сценарий: эмпирический пример бинарного замещения технологий бессемеровского (линия 1) мартеновским (линия 2) процессом производства стали в период с 1878 по 1958 гг.

Доля рынка, %



Время T, год

Рис. 6. Сценарий 2: эмпирический пример последовательного замещения технологий: бессемеровский (линия 1) — мартеновский (линия 2) — кислородно-конвертерный (линия 3) процессы производства стали в период с 1878 по 1994 гг.

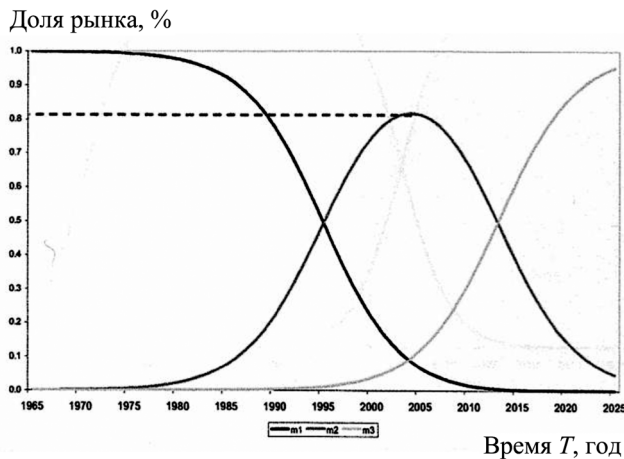


Рис. 7. Сценарий 3: теоретический график перекрывающегося многоуровневого замещения трех технологий m_1 , m_2 и m_3

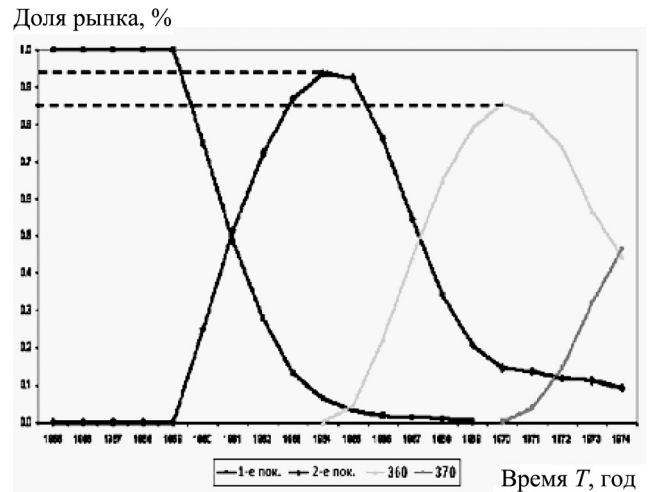


Рис. 8. Сценарий 3: эмпирический пример перекрывающегося замещения четырех поколений вычислительных машин IBM (1955-1974 гг.)

последующие поколения технологий вытесняют друг друга. Предполагается, что при рассмотрении серии технологий повторение характерного сценария замещения (появление – рост – преобладание – насыщение – спад) выглядит как объединение исходных сценариев 1. Эмпирический пример последовательного замещения технологий производства стали в период с 1878 по 1994 гг. [12, 13] представлен на рис. 6.

Сценарий 3. Перекрывающее (множественное, многоуровневое) замещение. В случае последовательности замещений каждое технологическое поколение фактически не успевает достичь полного преобладания до того, как замещается новым поколением. В высокотехнологичных и быстроразвивающихся отраслях промышленности нередко ускорение времени появления новой технологии порождает перекрывание исходных вариантов по времени. Несколько авторов [14] предложили аналитические модели для данного вида многоуровневого замещения. Теоретический график перекрывающегося многоуровневого технологического замещения показан на рис. 7 [12].

Эмпирические данные [15] по технологическому замещению вычислительных систем компании IBM, представленные на рис. 8, показывают, что каждое из четырех перекрывающихся поколений еще не достигало полного доминирования, когда следующее поколение уже начинало замещение предыдущего. По вертикальной оси отложен индекс количества операций в секунду на доллар, т. е. отношение производительности ЭВМ к цене для четырех поколений ЭВМ с ноября 1954 г. до февраля 1971 г.

Сценарий 4. Влияние долговременных обратных связей (информации от потребителей). В предыдущих вариантах побудительным мотивом процесса технологического замещения является появление лучшей в некотором смысле технологии. Однако в отдельных случаях замещение может начаться даже при отсутствии инновационной альтернативы. В принципе, некоторые организационные, социальные, научные, природные и др. изменения компонентов технологической системы могут вызывать процесс замещения, в том

числе обратного. Процесс замещения может начаться, например, как ответная реакция на информацию от потребителей, на решения государственных и контролирующих органов и др. Возможности применения тех или иных технологий могут быть пересмотрены с социальных позиций, как ответ на негативную реакцию потребителей, на изменения других элементов системы, частью которых они являются. Характерным примером является взлет и падение хлорорганических средств от насекомых, в частности ДДТ (DichloroDiphenylTrichloroethane), после появления отрицательной реакции токсикологов и органов государственного надзора США [16]. Это известный пример пересмотренного замещения в связи с отрицательным влиянием ДДТ на окружающую среду. Социальная значимость эффективности и безопасности этого средства от насекомых менялась со временем, исходя из изменений в социальном толковании ДДТ и других средств от насекомых. После запрета на использование хлорорганических соединений их доля неуклонно снижалась с 70% рынка синтетических органических средств от насекомых в 1966 г. до 6% в 1984 г. Это вызвало изменение динамики замещения и рост доли других средств от насекомых с 20% в 1966 г. до 70% в 1982 г.

Сценарий 5. «Парусник». Этот сценарий (рис. 9 [12]) представляет особый интерес в настоящей классификации. Предлагаемый нами научный подход для ускорения внедрения инноваций целесообразно применять именно в ситуациях, подобных этому сценарию. Название сценария связано с известным историческим фактом серьезной и продолжительной задержки ΔT технологического замещения пароходами парусных судов на Трансатлантических линиях в период с 1845 до 1870-х гг. [17]. Говоря современным языком, в этот период времени транспортная система Трансатлантических линий проходила через каскад бифуркаций, связанных с появлением быстроходных клиперов — океанских парусных судов (старvation) и недостаточной надежностью и безопасностью новых океанских пароходов (инновация). Представленные на рис. 9 эмпирические кривые замещения по сценарию

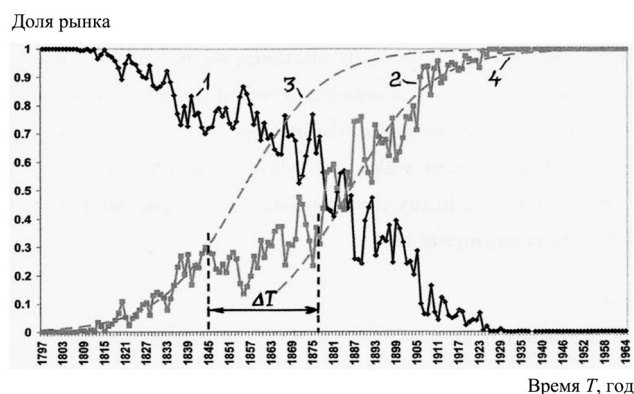


Рис. 9. Сценарий 5 «Парусник»: эмпирический пример задержки ΔT из-за сильного сопротивления в процессе замещения технологии парусных судов (линия 1) пароходами (линия 2) в период T с 1797 по 1964 гг.

«Парусник» и сопутствующие этому сценарию события соответствуют длительному периоду времени с 1797 по 1964 гг. Дополнительно построенная линия 3 показывает ожидаемую траекторию в виде классической логистической кривой, соответствующей модели Фишера–Прейса за время с 1797 по 1845 гг., а линия 4 — траекторию, построенную с учетом 31-летней задержки ΔT замещения пароходами парусников с 1845 до 1870-х гг., вызванной появлением клиперов. Теоретический график задержки замещения под влиянием сильного сопротивления преобладающей технологии представлен на рис. 10.

Очевидно, что в этом сценарии есть особая драматическая динамика, в которой преобладающая технология, находящаяся под угрозой вытеснения новой технологией, зачастую предпринимает отчаянный рывок усовершенствований в попытке вернуть конкурентные преимущества. Это усовершенствование текущей технологии позволяет ей еще какое-то время удерживать преимущество над новой технологией. Тем не менее, обычно результат таких улучшений только оттягивает вытеснение устаревшей технологии. Это хорошо известный, но далеко не единственный пример серьезной задержки внедрения инновационных технологий в связи с сильным сопротивлением старой

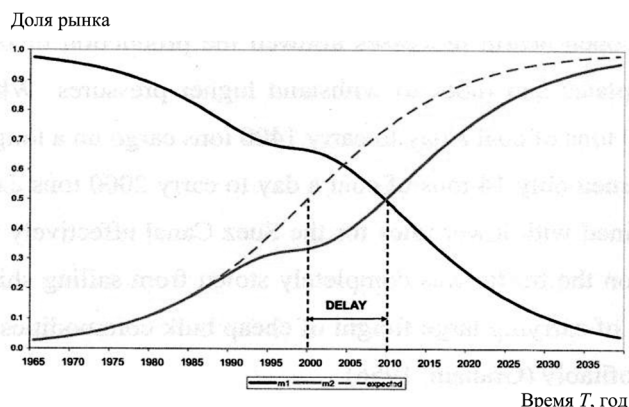


Рис. 10. Сценарий 5: теоретический график задержки (DELAY) замещения под влиянием сильного сопротивления преобладающей технологии

замещаемой технологии. Понятно, что подобные примеры нередки и в наши дни. Но инноваторы зачастую предпочитают не афишировать свои проблемы и стараются выходить из сложных ситуаций самостоятельно методом проб и ошибок. Замалчивание реальных проблем, возникающих при внедрении инноваций, может приводить к сложным ситуациям в процессе реализации инновационных проектов и программ. Поэтому чрезвычайно важным является анализ возможностей и путей ускорения процесса внедрения инновации на базе использования современных методов нелинейной динамики и синергетики.

Некоторые варианты виртуальных сценариев технологического замещения, представленные выше, собраны вместе на рис. 11. Переходы с одной виртуальной траектории на другую связаны с прохождением каскадов точек бифуркации в моменты времени t^*_b . Такие бифуркации в зависимости от условий реализации могут привести обновляемую систему к новому стационарному состоянию, как в случае сценария бинарного (или последовательного) технологического замещения, либо к довольно длительным случайным колебаниям обновляемой системы между двумя (и более) почти равновероятными состояниями, соответствующими преобладанию той или иной из мно-

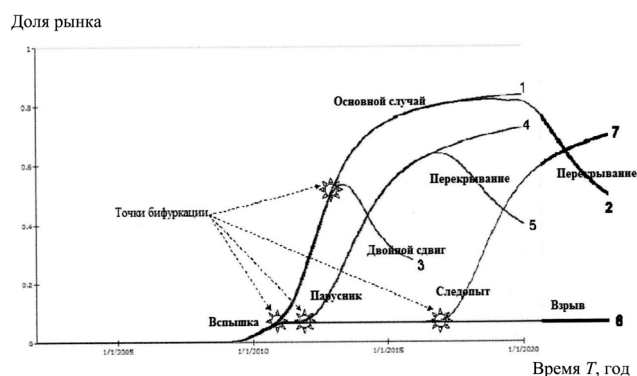


Рис. 11. Множество виртуальных сценариев и траекторий технологического развития за период времени T и точки бифуркаций на них

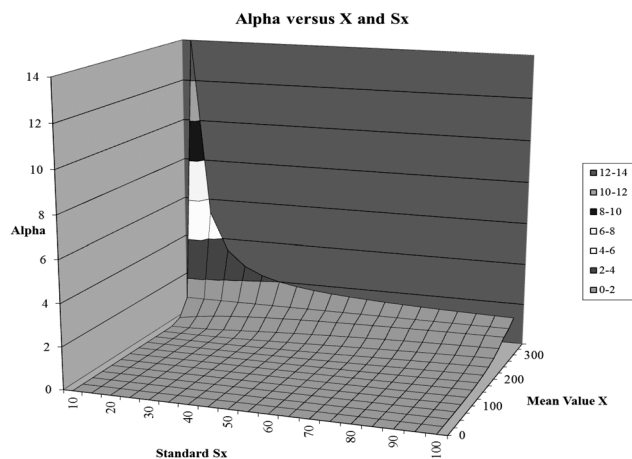


Рис. 12. Изменение параметра α режима существования обновляемой системы в зависимости от среднего значения X_m и стандарта S_x случайного процесса на ее входе

жества конкурирующих технологий, как в сценарии «Парусник» (см. рис. 9, 10).

Важным обстоятельством для ускорения внедрения инноваций является то, что выявлена зависимость режима существования обновляемой системы и времени прохождения системой точек бифуркации от функции распределения случайного процесса внешних воздействий на систему, ее входных потоков, например, инвестиционных и информационных потоков. Так, на рис. 12 приведен график зависимости параметра α режима существования обновляемой системы от изменения параметров (среднего значения X_m и среднеквадратического отклонения S_x) нормального (Гауссовского) случайного процесса (потока) на входе обновляемой системы. Аналогичные зависимости получены также для других вариантов внешних потоков на входе обновляемой системы.

При целенаправленном изменении параметров входных потоков (материального, энергетического и информационного), в качестве которых в инновационной системе выступают потоки инвестиций, научной и патентной информации, кадров, оборудования, мотивационной энергии и др. от внешних источников к обновляемой системе, появляется возможность оказывать влияние на время преодоления критическим элементом инновационной системы точки t_b^* бифуркации (или каскада бифуркаций). Возможность прогнозирования интервала времени прохождения инновационной системой через это состояние, характеризующее наиболее высокими рисками, позволяет предпринять меры, способствующие прохождению обновляемой системы через критическую точку и успешной адаптации системы к новому состоянию. В этот период времени целесообразно путем рационального управления потоками, входящими в обновляемую систему, создать наиболее благоприятные условия для успешного прохождения обновляемой системой точки (каскада) бифуркаций в желаемом направлении, а также предпринять все возможные меры (в том числе изложенные в [5, 18]), чтобы направить обновляемую систему по желаемому благоприятному пути развития.

Потенциальные возможности, возникающие в момент бифуркации, стимулируют активное развитие обновляемой системы, она самоорганизуется, совершенствует свою структуру, переходит на качественно новый уровень своего развития. Отсюда следует, что технологическое развитие определяется не столько начальными условиями и «тяжелым наследием прошлого», сколько будущими возможными состояниями, т. е. аттракторами технологического развития, к которым обновляемая технологическая система стремится после прохождения системой точки бифуркации или каскада бифуркаций, причем эти процессы необратимы [19]. Под аттрактором понимается относительно устойчивое состояние обновляемой системы, притягивающее к себе множество траекторий технологического развития, потенциально возможных после прохождения системой точек (каскада) бифуркаций.

На рис. 13 показана эволюционная кривая изменения потока информационной энтропии в обновляемой системе при реализации последовательности инно-

ваний, включающая три уровня иерархии и четыре временных интервала. На первом интервале времени система существует в старом режиме. Поток информационной энтропии за время переходного процесса стабилизируется на уровне H_{CT} , соответствующем этому режиму, без прохождения точки бифуркации. Через промежуток времени t_b^* после перехода в новый режим существования (точка 1) обновляемая система проходит точку бифуркации, связанную с разрушением диссипативной структуры 1-го иерархического уровня (первого цикла). Претерпев скачок развития и выйдя на второй уровень иерархии (второй цикл), обновляемая система выходит на эволюционный этап развития, в течение которого происходит сравнительно медленная стабилизация потока информационной энтропии за счет насыщения информацией до уровня $I=1-H_{CT}^*$, соответствующего новому режиму существования самоорганизующейся обновляемой системы. Дальнейший ход временной эволюции обновляемой системы виден из графика. После успешного прохождения точек бифуркации B_1 и B_2 энтропия по мере притока информации убывает, что означает соответствующее возрастание уровня организации обновляемой системы в процессе ее инновационного развития. На каждом иерархическом уровне эволюции — цикле инновационного развития системы в конце процесса самоорганизации, когда «архитектура» обновляемой системы в основном определилась и наступает насыщение информацией, энтропийная кривая постепенно выпрямляется, отображая переход системы в эволюционную стадию своего инновационного развития. Возрастание степени организации любой системы имеет свой предел, область насыщения, определяемые ограниченными возможностями накопления информации в данной структуре на данном иерархическом уровне — цикле развития системы. Каждый переход обновляемой системы на другой иерархический уровень — новый цикл развития неизбежно проходит через критическую точку, являющуюся стохастическим аналогом точки бифуркации. Перевод графиков, показанных на рис. 13, из декартовой в полярную или цилиндрическую систему координат позволяет представить их в виде спиралей развития. Это делает инновационные циклы развития системы с чередованием эволюционных и революционных периодов, разделенных точками бифуркации, еще более

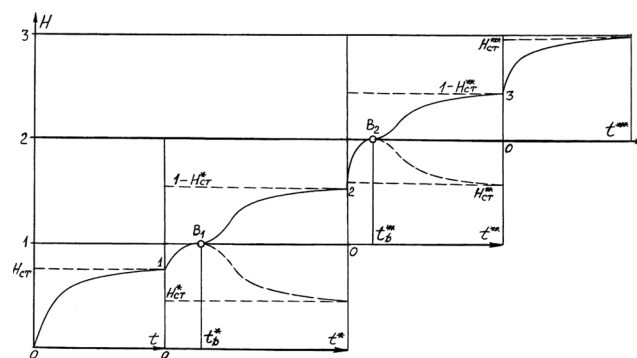


Рис. 13. Эволюционная кривая потока информационной энтропии $H(t)$ в процессе инновационного развития системы

наглядными. Спираль технологического развития могут раскручиваться в зависимости от того, по какому пути развития следует обновляемая система после каждой точки бифуркации. Полученные математические выражения позволяют прогнозировать момент t_b наступления критического состояния обновляемой системы в точке бифуркации и своевременно принять меры по повышению адаптационной способности системы и ускорению ее приспособления к новым условиям существования.

На основе разработанной математической модели получена количественная картина временной эволюции системы, вызванной нововведениями, которая полностью согласуется с представлениями синергетики о качественных процессах самоорганизации неравновесных диссипативных систем. Предложенная модель и полученные математические зависимости позволяют на единой основе описать траекторию технологического развития системы, включая прохождение последовательности точек бифуркации (скачков технологического развития) и эволюционных стадий технологического развития на каждом иерархическом уровне. Переход на новый уровень развития идет от беспорядка к порядку, через явления неустойчивости в точках бифуркации, где перед обновляемой системой открывается возможность перехода к одному из нескольких аттракторов технологического развития.

В этой связи ставится вопрос о целесообразности анализа аттракторов и точек бифуркации на траекториях технологического развития. Возможность прогнозирования интервалов времени наступления точек бифуркации создает предпосылки для принятия эффективных управленческих решений и получения желаемых результатов в технологическом развитии страны. В перспективе представляется целесообразным и возможным (при накоплении соответствующего опыта) достаточно слабыми внешними воздействиями на входные потоки направлять обновляемую систему по желательному пути развития.

Время — невосполнимый ресурс, поэтому предлагаемый метод, предназначенный для сокращения сроков внедрения инноваций, по нашему мнению, целесообразно рассматривать, как один из важных и полезных инструментов концепции «Бережливые инновации» [20, 21].

Выводы

1. При целенаправленном изменении входных потоков (материального, энергетического и информационного), в качестве которых выступают потоки инвестиций, научной и патентной информации, кадров, оборудования и др. от внешних источников к обновляемой системе, появляется возможность оказывать влияние на время прохождения инновационной системой точки бифуркации (или каскада бифуркаций).
2. Возможность оценки времени прохождения инновационной системы через это состояние, характеризующееся наиболее высокими рисками, позволяет предпринять меры, способствующие скорейшему

прохождению обновляемой системы через критическую точку и успешной адаптации системы к новому состоянию.

3. Путем рационального управления входящими потоками целесообразно создавать наиболее благоприятные условия для успешного прохождения системой точки бифуркации в желаемом направлении, а также предпринимать все возможные меры, чтобы направить обновляемую систему по желаемому благоприятному пути развития.
4. Полученные математические выражения позволяют прогнозировать момент наступления критического состояния обновляемой системы в точке бифуркации и своевременно предпринимать меры по повышению адаптационной способности системы и ускорению ее приспособления к новым условиям существования.
5. На этой основе предлагается метод ускорения внедрения инноваций путем анализа точек бифуркации и рационального управления потоками, входящими в обновляемую систему. Поскольку время является единственным невосполнимым ресурсом, предлагаемый метод, по нашему мнению, целесообразно рассматривать, как один из важных и полезных инструментов концепции «Бережливые инновации».
6. Необходимо и целесообразно практическая апробация предлагаемого метода ускорения внедрения инноваций. Предложения о сотрудничестве просьба направлять автору на электронный адрес: zri7755@gmail.com.

Список использованных источников

1. D. Sahal. Patterns of technological innovation. Addison-Wesley Publishing Company, 1981. 381 p.
2. M. Hirooka. Innovation dynamism and economic growth: a nonlinear perspective. Edward Elgar, 2006. 426 p.
3. Р. И. Зайнетдинов. Моделирование свойств инноваций на основе энтропийного, мультифрактального и вейвлетного анализа // Управление инновациями 2009: Материалы международной научно-практической конференции. М.: Ленанд, 2009. С. 114-118.
4. Р. И. Зайнетдинов. Построение концепции управления инновациями на основе моделей точных наук // Гуманитарные и естественные науки: проблемы синтеза. Материалы всероссийской науч. конф. 3 апреля 2012 г., Москва. М.: Научный эксперт, 2012. С. 580-593.
5. Г. Чесбро. Открытые инновации. М.: Поколение, 2007. 336 с.
6. И. Р. Пригожин. Введение в термодинамику необратимых процессов. М.: Иностранная литература, 1960. 128 с.
7. R. Zainetdinov. Entropy Dynamics Associated with Self-Organization // Paradigms of Complexity. Fractals and Structures in the Science. Singapore: World Scientific, 2000. P. 229-242.
8. Дж. Николис. Динамика иерархических систем: Эволюционное представление. М.: Мир, 1989. 488 с.
9. R. I. Zainetdinov. Dynamics of Informational Entropy Associated with Self-Organization Process in Open System // Chaos, Solitons & Fractals. Pergamon, 1999, vol. 10, No. 9. P. 1425-1435.
10. Encyclopedia of Technology and Innovation Management / Ed. by V. K. Narayanan and G. C. O'Connor. Wiley, 2010. 546 p.
11. J. Fisher, R. Pry. A simple substitution model of technological change // Technological Forecasting and Social Change. 1971. № 3. P. 75-88.
12. B. Dattee. Challenging the S-curve: Patterns of technological substitution. The DRUID Summer Conference. Appropriability, proximity, routines and innovation. Copenhagen, CBS, Denmark, 2007. 26 p.

13. The American Iron and Steel Institute. Annual Statistical Reports: (AISI, 1912), (AISI, 1965), (AISI, 1979), (AISI, 1985), (AISI, 1993).
14. J. Norton, F. Bass. A Diffusion Theory Model of Adoption and Substitution for Successive Generations of High-Tech Products// Management Science. 1987. Vol.33. P. 1069-1086.
15. M. Phister. Data processing technology and economics. Bedford (MA): Digital Press/SantaMonica Publishing Company, 1979.
16. DDT, A Review of Scientific and Economic Aspects of the Decision To Ban Its Use as a Pesticide. Prepared for the Committee on Appropriations of the U.S. House of Representatives by EPA, July 1975, EPA-540/1-75-022.
17. N. Rosenberg. On technological expectations//The Economic Journal. 1976. Vol. 86 (34). P. 523-535.
18. К. Кристенсен. Закон успешных инноваций. М.: Альпина Паблишер, 2017. 268 с.
19. О. С. Сухарев, С. В. Шманев, А. М. Курьянов. Синергетика инноваций. М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2011. 368 с.
20. Нави Раджу, Джайдип Прабху. Бережливые инновации: технологии умных затрат. М.: Олимп-Бизнес, 2018. 416 с.
21. Р. И. Зайнетдинов. Метод ускорения внедрения инноваций, как новый инструмент концепции Lean Innovation. Proc. 9th DQM Int./Conf. «Life Cycle Engineering and Management (ICDQM-2018)». Prijedor, Serbia, 2018. P. 485-495.

Accelerating the commercialization of innovations on the synergetical basis

R. I. Zaynetdinov, Sc. D. (eng.), professor.

The object of the study is an updated system whose temporal behavior is modeled by an active bistable element.

The theoretical model is developed and the practical method for shortening the time of substitution of outdated technology by innovative technology is offered on the basis of the random processes theory and the informational entropy criterion.

The method is based on a synergetical approach, analysis of the passage time for bifurcation points on the technological development trajectory, as well as on the control of input flows of the updated system.

Analytical and graphical dependences describing the dynamics of the information entropy and its increment rate over time for three characteristic modes of being (old, bifurcation and new) for the updated system are obtained.

The dependences of the mode of being of the updated system, as well as the time of passage of the system through the bifurcation point from the distribution function of a random process of external influences on the system are revealed.

The acceleration of innovation can be achieved by reducing the time of the updated system through the bifurcation points due to the rational management of input investment and information flows.

Examples of the typical trajectories for technological substitution and scenarios for the approaching the updated system to the attractors of technological development are given.

Keywords: frugal innovation, bifurcation point, informational entropy, attractor of technological development, synergetics, technological substitution, accelerating the commercialization.

Комитет объявляет конкурс по созданию гимна промышленности Санкт-Петербурга

Комитет по промышленной политике и инновациям Санкт-Петербурга объявляет о старте конкурса по созданию официального символа промышленности Санкт-Петербурга — гимна промышленности Санкт-Петербурга.

Цель конкурса — выявление лучших вариантов проекта музыкальной редакции и текста гимна промышленности Санкт-Петербурга, наиболее ярко отражающих историю, величие трудовых подвигов, экономического наследия и потенциала промышленности Санкт-Петербурга.

В конкурсе могут принять участие промышленные предприятия, ассоциации, союзы, юридические лица независимо от организационно-правовой формы, а также граждане и объединения граждан Российской Федерации.

Конкурс является открытым и проводится в один тур.

Срок проведения конкурса — с 25 мая по 10 августа 2018 года.

Конкурсные материалы представляются с 25 мая по 31 июля 2018 года по адресу: 190000, Санкт-Петербург, Вознесенский пр., д. 16, Комитет по промышленной политике и инновациям Санкт-Петербурга, с пометкой «На конкурс».

Информация о результатах конкурса будет размещена на официальном сайте Администрации Санкт-Петербурга <http://gov.spb.ru/> и Комитета по промышленной политике и инновациям Санкт-Петербурга.