

УДК 330

10.17213/2075-2067-2018-5-57-64

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ В НЕПРЕРЫВНЫХ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССАХ

© 2018 г. Л. А. Погорелова

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ),
г. Новочеркасск*

В статье рассмотрены особенности применения цифровых двойников при формировании непрерывных инновационных процессов в производственных системах. Доказано, что осуществление в производственных системах устойчивых преобразований является условием перехода её в режим инновационных процессов, которые могут моделироваться с использованием цифровых двойников.

Ключевые слова: инновации; производственные системы; цифровые двойники; инновационные процессы; PLM-системы.

The article describes the features of the use of digital counterparts in the formation of continuous innovation processes in production systems. It is proved that the implementation of sustainable transformations in production systems is a condition of its transition to the mode of innovative processes that can be modeled using digital counterparts.

Key words: innovations; production systems; digital counterparts; innovative processes; PLM-systems.

Цифровизация экономики, происходящая параллельно с активизацией инновационной деятельности, реиндустриализацией и формированием и развитием NBIC-технологий, в производственной сфере проявляется, прежде всего, созданием и применением цифровых двойников (Digital Twin), представляющих собой виртуальное воспроизведение рабочего состояния реального физического объекта (изделия), процесса, системы. Цифровой двойник позволяет в виртуальном пространстве смоделировать изменение состояния и характеристик всего изделия при изменении характеристик любого из его элементов, в том числе в процессе жизненного цикла изделия [1, 2, 3].

Разработка и производство в кратчайшие сроки глобально конкурентоспособной кастомизированной промышленной продукции нового поколения возможны исключительно с применением цифровых двойников [4].

При этом важна роль не только стоимостных характеристик изделий, которые в условиях цифровизации определяются специфически на различных этапах жизненного цикла (в рамках PLM-систем). Широкое внедрение систем управления жизненным циклом в период реиндустриализации и цифровой экономики стало неременным условием конкурентоспособности предприятий и бизнес-групп промышленности.

Из вышеизложенного следует целесообразность применения в ходе создания цифровых двойников PLM-систем прикладного программного обеспечения для управления жизненным циклом продукции [5].

При внедрении цифровых технологий необходимо принимать меры для минимизации весьма вероятных негативных воздействий цифровой среды и NBIC-конвергенции на человека [6, 7]. Наиболее эффективно это может быть сделано, если проектируемые объекты

и системы изначально будут создаваться как человекоориентированные. Ориентированность на человека является условием конкурентоспособности таких объектов и систем. Одной из составляющих ориентированности технической системы на человека является ее безопасность, второй — наращивание человеческого капитала. Примечательно исследование И. Томотоши [5], где производственные действия, связанные с человеческим фактором, рассматриваются с учетом их специфики в условиях управления жизненным циклом продукта и управления проектами.

На этапах планирования и концептуальной проработки изделия (стадии технического задания и технического предложения) при формировании технических требований, показателей качества, экономических параметров создаваемого изделия весьма важно сформировать систему управления требованиями и взаимодействия с заказчиком (CRM — RqM) и следовать ей. Как показывает мировой и передовой отечественный опыт, создание и применение цифровых двойников способствует решению этой задачи [8, 9, 10].

Разработка цифрового двойника PLM-системы является важнейшим шагом к созданию непрерывных инновационных процессов и их цифровых двойников.

Как показал Г. Б. Клейнер [1], для успешного развития экономики необходим переход от отдельных инновационных проектов к непрерывным инновационным процессам, выполняющимся в производственных системах (ПС) предприятий и бизнес-групп промышленности и других отраслей народного хозяйства.

Основы теории инновационных процессов были заложены в трудах С. Г. Фалько [2], которые во многом предвосхитили современные тенденции, делающие инновационные процессы условием сохранения суверенитета и развития страны. В этой и других работах рассматриваются инновационные процессы в их связи с организацией освоения новой продукции, разработкой и освоением новшеств, а также модернизацией выпускаемой продукции, осуществляемой в ходе подготовки производства.

В контексте настоящего исследования представляется актуальным вопрос классификации нововведений в ПС и разработки

на основе такой классификации организационно-технических и других мероприятий, позволяющих формировать инновационные процессы.

Весьма распространенным является подход к классификации и оценке нововведений в производственных системах, связывающий создание и внедрение новшеств с той или иной степенью обновляемой в результате создания и освоения новой продукции производственной системы. При этом каждую степень обновления необходимо дополнить данными о носителях этих изменений, которые должны обеспечить внедрение новшества.

Как было показано в вышеупомянутом исследовании [2], можно выделить восемь таких ступеней:

0 — регенеративные изменения, предотвращающие разрушение производственной системы и обеспечивающие простое восстановление ее элементов и связей между ними (отметим, что на множестве отечественных предприятий в первые постсоветские годы эта ступень не была осуществлена, что привело к гибели хозяйствующих субъектов);

1 — экстенсивное техническое развитие, расширенное внедрение новшеств;

2 — изменение структуры производственной системы, процесс внутренней адаптации;

3 — простейшие изменения качества отдельных элементов изделия, при этом не изменяется сущность изделия, а только его отдельные функции;

4 — качественное изменение какого-либо существенного свойства фактора, новый вариант изделия;

5 — качественное изменение всех основных свойств и функций фактора без изменения его первоначальной сущности, новое поколение изделия;

6 — качественно новое, принципиальное изменение фактора при сохранении первоначального принципа;

7 — принципиальное, революционное, кардинальное изменение производства, возникновение нового рода изделий и производства.

На наш взгляд, осуществление нововведений нецелесообразно связывать исключительно с изменениями в конструктивном облике изделия. Успешное осуществление всего комплекса процессов обновления

производства в решающей степени зависит от правильного выбора мероприятий по обновлению производственной системы в целом, мероприятий, которые вызывают целый поток дальнейших взаимосвязанных изменений.

Как отмечалось выше, определенным шагом к созданию цифровых двойников инновационных процессов может стать применение цифровых двойников PLM-систем (product lifecycle management systems) для управления жизненным циклом продукции [5]. Традиционно создание PLM-систем носит эмпирико-интуитивный характер, что обуславливает субъективное влияние участников инновационного процесса и связанные с этим ошибки в принятии решений. Это влияние может быть минимизировано, если создается цифровой двойник инновационного процесса, представляющий собой виртуальное воспроизведение рабочего состояния реальных объектов и процессов в производственных системах, изменяющихся в соответствии с долговременными тенденциями в научно-технических и деловых циклах и тенденциями приближения к новому технологическому укладу.

В этом случае степень приближения к новому технологическому укладу необходимо оценивать количественно, что в свою очередь требует определения перечня контролируемых параметров инновационного процесса. Традиционно в основу такой оценки кладутся стоимостные показатели в денежной форме. Такой подход представляется довольно ограниченным, поскольку он не позволяет учитывать информационные параметры процесса, ведущая роль которых в современных условиях общепризнанна [6, 7].

Для преодоления этого недостатка предлагается оценивать приближение инновационного процесса к новому технологическому укладу на основе модели NBIC-конвергенции (гипотетического ядра шестого технологического уклада, основанного на объединении и синергетическом усилении достижений нано-, био-, информационных и когнитивных технологий [8]. При этом каждое нововведение обуславливает рост параметрической сложности [4] и снижение условной энтропии [9] на каждом этапе инновационного процесса. В основу этого мо-

жет быть положена модель, предложенная в исследовании [10] и доработанная для условий NBIC-конвергенции.

Весьма важно, что в данном случае необходимо вести речь именно о непрерывных инновационных процессах, осуществляемых внутри ПС, т.е. об инновационных процессах, представляющих собой совокупность последовательно выполняемых изменений в производственной системе, связанных единой идеологией и способствующих ее переходу к более высокому технологическому укладу.

Инновационные процессы в производственной системе вносят в ее состояние изменения, которые осуществляются в результате определенных переходных периодов. Представляется целесообразным для их описания использовать подходы, предложенные в работах [10, 4], и рассматривать некоторую позитивную траекторию изменения ПС, по которой в результате инноваций осуществляется ее поэтапный переход от неустойчивого (бифуркационного) состояния к стабильному (на самом деле квазистабильному) состоянию, при котором в ПС происходят непрерывные инновационные процессы.

Впервые подобный подход был использован для описания производственных систем, реорганизуемых в рамках антикризисного управления [4]. Переходные периоды в этом случае классифицировались по степени развития тремя уровнями [12, 13].

Первый (гомеостатический) уровень связан с изменениями, которые отражаются только на поведении системы, но не изменяют ее структуры и элементного состава. Например, изменения, происходящие на предприятии в связи с изменениями объемов заказов на производимую продукцию или освоением новых видов продукции, бизнес-процессы, связанные с производством которой, структурно близки ранее осуществлявшимся. Очевидно, что данные изменения могут отрицательно влиять на показатели состояния системы. В книге В.Л. Лунева [11] предлагается именовать такой переходный период «перестроечным». В случае положительного влияния на показатели системы переходный период именуется «преобразовательным».

Второй уровень, названный В. Л. Луневым [11] «инновационным», связан с такими изменениями, которые отражаются на структуре и в элементном составе системы. Для данного уровня переходного периода и направления изменений в той же работе предложены термины «кризисный» (при ухудшении состояния) и «комфортизационный» (при улучшении состояния). В качестве примеров изменений инновационного уровня можно назвать прекращение поступления заказов на продукцию, для производства которой на предприятии существовали предметно специализированные цеха, или, напротив, заключение контрактов на поставки продукции, изготавливаемой по новым технологиям, производство которой потребует формирования существенно новых бизнес-процессов, изменений в организационной структуре предприятия.

Третий уровень (бифуркационный), связан с такими изменениями, которые значительным образом отражаются на структуре и элементном составе системы. При отрицательной тенденции этот переходный период

называют «катастрофическим», при положительной — «кокиридным». Примерами бифуркационного периода в развитии организаций являются ее ликвидация (например, в рамках конкурсного производства), реструктуризация (например, в процессе санации), изменение собственника и др.

На основании вышеприведенного в работе [4] была построена классификационная схема переходных процессов (рис. 1). На этой схеме наиболее наглядно можно показать процесс, формирование которого является свидетельством позитивного развития ПС: переход от кризисного (реже катастрофического) периода в функционировании предприятия через комфортизационный (преобразовательный или кокиридный) период к продолжительному стабильному (квазистабильному) периоду. Этот период в вышеупомянутом исследовании [4] был назван периодом структурной стабилизации (показан на рис. 1 штрихпунктирной линией).

Такая классификация переходных процессов может быть применена и при форми-



Рис. 1. Состояния ПС и этапы структурной стабилизации

ровании траектории изменений в производственной системе, ведущих к формированию непрерывных инновационных процессов. Такая траектория представлена на рис. 2. В этом случае, как и при антикризисном управлении, бифуркационный уровень связан с такими изменениями, которые значительным образом отражаются на структуре и элементном составе системы. Так же, как и при антикризисном управлении, при отрицательной тенденции этот переходный период может быть назван «катастрофическим», при положительной — «кокиридным».

Примерами катастрофического процесса бифуркационного уровня в развитии организации являются ее ликвидация (например, в рамках конкурсного производства), реструктуризация (например, в процессе санации), изменение собственника и др. В качестве кокиридного процесса бифуркацион-

ного уровня можно назвать создание новой инновационно ориентированной ПС, начало разработки нового изделия или технологии, приобретение прав на использование интеллектуальной собственности и т.п.

На бифуркационном уровне сценарий развития производственной системы характеризуется множественностью вариантов, вероятность каждого из которых оценить затруднительно, поэтому условная энтропия ПС в этом случае, как было показано в работе [14], превышает значение 80 (при возможном максимуме 100, соответствующем полной неопределенности в развитии системы и отсутствии информации о ней, что в условиях ПС нереально).

На наш взгляд, применение механизмов энтропийного управления инновационными процессами представляется весьма перспективным. В рассматриваемом случае, на наш

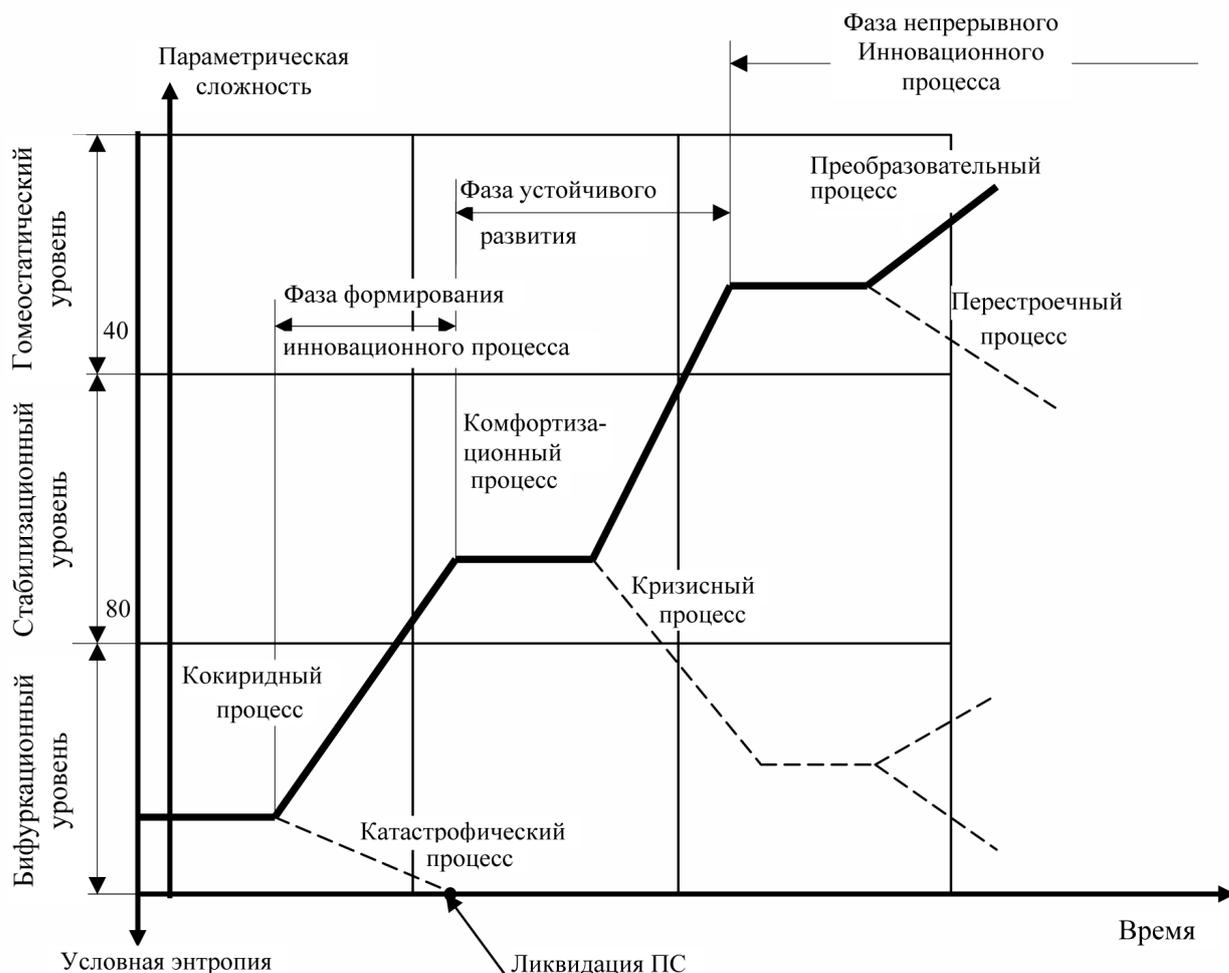


Рис. 2. Траектория изменений в производственной системе, ведущих к формированию непрерывных инновационных процессов

взгляд, наиболее плодотворно рассмотрение показателя условной энтропии, описанной, в частности, в работе [9]. Его особенности рассмотрены ниже.

Второй уровень, который мы предлагаем называть «стабилизационным», связан с такими изменениями, которые отражаются на структуре и в элементном составе и существенно пополняют информационное богатство производственной системы и, соответственно, снижают ее условную энтропию (от 80 до 40 условных единиц [14]). В вышеупомянутой работе [11] этот уровень предлагалось называть «инновационным», что представляется не вполне логичным, поскольку в реальности активная инновационная деятельность в ПС осуществляется на описанном ниже третьем — «гомеостатическом» — уровне. Однако на втором уровне снижение условной энтропии свидетельствует о стабилизации состояния ПС и резком сокращении возможных непредсказуемых сценариев ее развития.

Для стабилизационного уровня направления изменений в работе [11] названы «кризисными» (при ухудшении состояния) и «комфортизационными» (при улучшении состояния), что приемлемо и для описания траектории изменений в производственной системе, ведущих к формированию непрерывных инновационных процессов.

В качестве примеров изменений стабилизационного уровня можно назвать прекращение поступления заказов на продукцию, для производства которой на предприятии были проведены НИОКР и созданы предметно специализированные ПС (кризисные изменения) или, напротив, заключение контрактов на поставки продукции, изготавливаемой по новым технологиям, производство которой потребует формирования существенно новых бизнес-процессов и/или изменений в технологической и организационной структуре ПС (комфортизационные изменения).

Гомеостатический уровень в случае построения траектории изменений в производственной системе, ведущих к формированию непрерывных инновационных процессов, связан с изменениями, которые отражаются на поведении системы, но, как правило, не изменяют ее структуры и элементного состава, сложившихся на стабилизационном уровне.

Очевидно, что данные изменения могут отрицательно влиять на показатели состояния системы. В вышеупомянутой книге В.Л. Лунева [11] предлагается именовать такой переходный период «перестроечным». В случае положительного влияния на показатели системы переходный период именуется «преобразовательным». На этом уровне условная энтропия производственной системы претерпевает дальнейшее снижение, что связано с ростом информации о ПС, доступной для использования при проектировании и осуществлении инноваций в ней. При этом количество альтернативных непредсказуемых сценариев развития ПС минимизируется.

Осуществление в ПС таких устойчивых преобразований является условием перехода ее в режим инновационных процессов, которые непрерывны (и теоретически бесконечны), поскольку переходные процессы могут быть завершены только при равной вероятности всех возможных состояний ПС, что практически реализовать невозможно.

Литература

1. *Gecevska V., Chiabert P., Anisic Z., Lombardi F., Cus F.* Product lifecycle management through innovative and competitive business environment // *Journal of Industrial Engineering and Management*, 2010. — №3. — P. 323–336.
2. *Pol G., Merlo C., Legardeur J.* Implementation of collaborative design processes into PLM systems. // *International Journal of Product Lifecycle Management*, 2008. — №3 (4). — P. 279–294.
3. *Product Cost Management* [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.plm.automation.siemens.com/en/products/teamcenter/product-cost-management/>.
4. *Corallo A., Latino M.-E., Lazoi M., Lettera S., Marra M., Verardi S.* Defining Product Lifecycle Management: A Journey across Features, Definitions, and Concepts // *ISRN Industrial Engineering*, 2013. — July, 2013.
5. *Tomotoshi I., Shinya U., Tatsuya S.* Toward Human-oriented Industries, *Hitachi review*, 2009. — Vol. 58. — P. 174–179.
6. *Roco M. C.* Converging Science and Technology at the Nanoscale: Opportunities for Education and Training // *Nature Biotech.* — 2002. — Vol. 21. — P. 1247–1249.

7. *Freitas R.* Economic Impact of the Personal Nanofactory. Nanotechnology Perceptions // Rev. of Ultraprecision Engineer. and Nanotech. — 2006. — Vol. 2. — P. 111–126.
8. Цифровой двойник: зачем создавать в виртуальной среде симуляторы деталей двигателей и целых цехов [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://cheremuha.com/2018/04/13/digital-twin.html>.
9. *Потехин В. В.* Цифровой двойник технологических процессов. [Электронный ресурс] / СПб.: СПбГПУ. — Режим доступа: <https://synergy-network.ru/wp-content/uploads/2017/12/module-5-lecture-15.pdf>.
10. *Франкел А.* Есть способ лучше: цифровой двойник повысит эффективность процессов конструкторско-технологического проектирования и производства [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.cadcamcae.lv/N103/36-40.pdf>.
11. *Клейнер Г. Б.* Системная организация экономики и проблемы распространения инноваций // Вестник университета, 2011. — №3.
12. *Фалько С. Г.* Управление инновационными процессами на предприятии в условиях высокой неопределенности и динамики рынков. / дисс. на соиск. уч. степ. д.э. н. — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. — 390 с.
13. *Колбачев Е. Б.* Экономическая наука и преодоление кризиса / Вестник Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института). Серия: Социально-экономические науки. — 2008. — №3. — С. 3–9.
14. *Колбачев Е. Б.* Управление производственными системами на основе совершенствования и развития информационно-экономических ресурсов. — Ростов-на-Дону: Северо-Кавказский научный центр высшей школы, 2003. — 462 с.
15. *Pol G., Merlo C., Legardeur J.* Implementation of collaborative design processes into PLM systems. // International Journal of Product Lifecycle Management. — 2008. — №3 (4). — P. 279–294.
16. *Вальтух К. К.* Информационная теория стоимости и законы неравновесной экономики. — М.: Янус-К, 2001. — 869 с.
17. *Холл А.* Опыт методологии для системотехники. — М.: Сов. радио, 1975. — 204 с.
18. *Schummer J.* From Nano-Convergence to NBIC-Convergence: «The best way to predict the future is to create it» // Governing Future Technologies. — Springer Netherlands, 2009. — P. 57–71.
19. *Rényi A.* Probability Theory. — New York: American Elsevier Publishing Company, 1970. — 666 pp.
20. *Колбачев Е. Б., Переяслова И. Г.* Эволюция производственных систем: моделирование и мониторинг. — Новочеркасск: НОК, 2005. — 136 с.
21. *Лунев В. Л.* Тактика и стратегия управления фирмой. — М.: Финпресс, 1997. — 162 с.
22. *Акинфиев В. К., Карибский А. В., Цвиркун А. Д.* Инвестиционные модели планирования развития крупномасштабных систем / Автоматика и телемеханика. — 1980. — №3. — С. 123–134.
23. Необходимость развития и изменения / Под ред. Э. Фармера и Р. Томсон. / Пер. с англ. — М.: ЛИНК, 2000. — 114 с.
24. *Туников В. А.* Организационно-экономическое обеспечение устойчивого развития машиностроительного предприятия: Дис. ... канд. экон. наук. — Новочеркасск: ЮРГТУ, 2002. — 230 с.

Поступила в редакцию

25 апреля 2018 г.



Погорелова Людмила Александровна — аспирант кафедры «Производственный и инновационный менеджмент» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М. И. Платова.

Pogorelova Lyudmila Aleksandrovna — postgraduate student of the Production and Innovation Management department of the South-Russian State Polytechnical University (NPI) of M. I. Platov name.

346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132
132 Prosveshcheniya st., 346428, Novocherkassk, Russia
Тел.: +7 (8635) 25-51-54; e-mail: pojmarsh@mail.ru
