ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

УДК 33822

JEL B1, B3, E71

DOI: 10.17213/2312-6469-2019-4-240-252

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ ЗА СЧЁТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕНЕРАЦИИ И ТРАНСФОРМАЦИИ ИЗДЕЛИЙ НА ВСЁМ PLM-ЦИКЛЕ В РАМКАХ NBIC-КОНВЕРГЕНЦИИ¹

© *Е.В. Сидорова**, *А.А. Пахомова**, *S. Halász***,
*В.Е. Федорчук**, *А.А. Нардина** 2020

* *Южно-Российский государственный политехнический университет
(Новочеркасский политехнический институт),
г. Новочеркасск, Россия*

** *Будапештский университет технологий и экономики, Венгрия*

На основе анализа особенностей интеграции принципов NBIC-конвергенции и в целях решения проблемы ресурсосбережения и экологических проблем была разработана система, обеспечивающая генерацию и трансформацию изделий на всём PLM-цикле. Доказана эффективность обеспечивающих высокую инновационную составляющую человекоориентированных технологий. Предложена оптимизация концепции и технологии изготовления изделий за счёт применения параллельного инжиниринга, объединения алгоритмов решения конструкторских, технологических, эксплуатационных и пользовательских задач в производственных системах. При этом снижение себестоимости изделий достигается за счёт сокращения технологического цикла, объёмов используемого оборудования и инструментов, а также затрат на их обслуживание. Сформулированы принципы для специальных государственных и международных программ, которые позволят обеспечить благоприятную среду для внедрения концепции созданной системы в производство.

Ключевые слова: NBIC-конвергенция, PLM-цикл, человекоориентированные технологии, Индустрия 4.0, гибкое производство, производственные системы.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и РЯИК в рамках научного проекта 20-510-23002 «Развитие системной парадигмы Яноша Корнай – фундаментальная основа создания производственных и технических систем в условиях NBIC-конвергенции».

INCREASING THE EFFICIENCY OF PRODUCTION SYSTEMS BY PROVIDING PRODUCT GENERATION AND TRANSFORMATION THROUGHOUT THE PLM CYCLE WITHIN THE FRAMEWORK OF NBIC-CONVERGENCE

© A.A. Pakhomova^{*}, S. Halasz^{**}, V.E. Fedorchuk^{*},
E.V. Sydorova^{*}, A.A. Nardina^{*} 2020

^{*}*South-Russian state Polytechnic University (NPI),
Novocherkassk, Russia*

^{**}*Budapest University of Technology and Economics, Hungary*

Based on the analysis of the features of integration of the NBIC convergence principles and in order to solve the problem of resource conservation and environmental problems, a system was developed that ensures the generation and transformation of products throughout the PLM cycle. The effectiveness of human-oriented technologies that provide a high innovative component is proved. Optimization of the concept and technology of manufacturing products through the use of parallel engineering, combining algorithms for solving design, technological, operational and user tasks in production systems is proposed. At the same time, reducing the cost of products is achieved by reducing the technological cycle, the volume of equipment and tools used, as well as the cost of their maintenance. The principles for special state and international programs that will provide a favorable environment for the implementation of the concept of the created system in production are formulated.

Keywords: NBIC-convergence, PLM-cycle, human-oriented technologies, industry 4.0, flexible production, production systems

В ближайшей перспективе перед различными странами мира будет стоять задача перехода к шестому технологическому укладу, ядром которого является конвергенция нанотехнологий, биотехнологий, информационных и когнитивных технологий (NBIC-конвергенция).

В Докладе ЮНЕСКО по науке были отмечены следующие моменты [1]:

1. Сокращаются государственные обязательства в отношении НИ-ОКР во многих развитых странах на фоне растущего понимания их важности, в то время как многие страны со средним и низким уровнем доходов включают НТИ в свои концептуальные программы развития, что способствует более высоким темпам экономического роста, чем в странах ОЭСР.

2. В то время как большинство НИОКР осуществляются в странах с высоким уровнем доходов, внедрение инноваций происходит в странах с самыми разными уровнями доходов (иногда даже при полном отсутствии какой-либо деятельности в области НТИ). Следует не только привлекать компании к участию в НИОКР, а содействовать инновациям, не относящимся к научным исследованиям, в частности в отношении передачи тех-

нологий.

3. Для всестороннего использования положительных результатов экономического развития, основанного на науке и инновациях, требуется одновременное продвижение в направлениях образования, фундаментальных наук, технологического развития, внедрения устойчивых технологий, НИОКР делового сектора и условий создания экономической основы.

4. Перед многими странами стоят дилеммы в стремлениях найти равновесие между местным и международным участием в научных исследованиях, между фундаментальными и прикладными исследованиями, между генерацией новых знаний и производством знаний, пользующихся спросом на рынке, между наукой в интересах общественного блага и наукой как движущей силой коммерческой деятельности. Международная дипломатия всё в большей мере приобретает форму научной дипломатии.

Обновленная версия диаграммы инноваций Ямагути [2] показывает, что коэволюция науки и технологии порождает новую технологическую парадигму, а иерархическая эволюция приводит к экономическому развитию, что указывает на важность применения науки к экономическому производству. Однако почти все теории экономического развития относятся к науке как к экзогенному фактору. Тем не менее, истинная теория экономического развития может быть построена путем эндогенизации достижений науки. Существенными факторами экономического развития являются достижения в области науки и технологий, а не капитал и труд, которые находятся в центре внимания неоклассических теорий экономического роста.

Экономика шестого технологического уклада ориентирована на человеческий капитал, центральными задачами которой, прежде всего, является повышение качества образования и жизни [3].

В предыдущих технологических парадигмах ключевыми факторами были повышение производительности и снижение себестоимости изделий, что приводило к неконтролируемому истощению ресурсов, загрязнению окружающей среды, а также к циклическим кризисам перепроизводства. Для увеличения объёмов продаж значительный акцент делался на создание новых потребностей, как полезных, так и полностью бесполезных, а иногда даже вредных. Поэтому особенно важно сконцентрировать внимание на создании философии новой парадигмы, которая бы максимально использовала и развивала синергию научных достижений с минимальным негативным эффектом на человека и биосферу.

Концепция нанотехнологий предполагает одновременно гибкость и упрощение технологических схем, позволяющих повысить производительность и коммерческую привлекательность производства. Так, например, в НИИ «Нанотехнологии и новые материалы» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова была разработана двухэтапная нанотехнология получения моторных фракций

углеводородов, решающая проблему истощения нефтяных источников [20, 21]. На первом этапе посредством газификации получают синтез-газ из дешевого углеродсодержащего сырья. На втором этапе выполняют совмещённый синтез Фишера-Тропша с гидрокрекингом. Производительность формирования целевого продукта составляет $108 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{кат.} \cdot \text{ч})$, что в более чем 10 раз выше по сравнению с показателями производительности традиционных технологий [22]. При этом капитальные вложения в первом и во втором случаях будут приблизительно одинаковыми. Преимущество инновации заключается также в получении абсолютно чистого продукта без наличия примесей и применения вредных химических элементов в технологическом процессе.

Разработанная установка для реализации предложенной технологии является гибкой и универсальной. После незначительных модификаций её можно использовать для получения церезина [23] и других углеводородов.

Таким образом, достигнутая эффективность технологии (производительность, ресурсосбережение, экологичность, гибкость) была получена исключительно за счёт инновационной научной составляющей, а именно за счёт фактора человеческого капитала, что доказывает важность эндогенизации достижений науки и перехода на человекоориентированное производство.

Кроме того, ключевой задачей является не только производственное ресурсосбережение, принципы циклической экономики [24], но и увеличение сроков службы изделия с возможностью модификации и усовершенствования его элементов, полной утилизации и трансформации. Поэтому информация о состоянии изделия, автоматически аккумулируемая посредством концепции IoT, должна поступать и обрабатываться на производстве для принятия соответствующих решений (поставке запасных частей, регенерации поверхностей, усовершенствовании функциональности, модификации геометрии и др.). Таким образом, производственный цикл расширяется на весь PLM-цикл: изделие изготавливается и модифицируется.

Моделирование производственных систем, процессов, создание цифровых двойников, виртуальной и дополненной реальности, как правило, занимает достаточно большой объём времени. В условиях гибкого и меняющегося производства это не допустимо. Определённые шаги для решения этой проблемы уже делаются: создаются инструменты для взаимосвязи различных пакетов. Например, французский производитель программного обеспечения Dassault Systèmes на комплексной облачной платформе 3DEXPERIENCE предлагает технологию мультифизического моделирования, включающую симуляцию структур, жидкостей, акустики, электромагнитных процессов и многотельное моделирование в полностью интегрированной среде, поддерживающей все промышленные процессы, в том числе оптимизацию [25].

В итоге необходимо создать максимально унифицированные мультифизические модули, которые будут взаимодействовать между собой на нано-, микро-, мезо и макроуровнях. Таким образом, любой процесс будет смоделирован в минимальные сроки. Тем не менее, вопрос архитектуры таких систем остаётся открытым [25].

Что касается когнитивных алгоритмов принятий решений, они должны формироваться по принципу существующих баз знаний и технологии машинного обучения. Последняя, представляющая собой систему «чёрного ящика» является достаточно универсальной в сложных ситуациях. Обратной стороной является то, что невозможно обучить машину для всех возможных ситуаций. Для этого необходимо, чтобы она сама генерировала алгоритмы. Как один из вариантов решения – это объединение машинного обучения и физической модели технологического процесса [27].

В целом представленная человеко-киберфизическая система реализуется в среде интеллектуального сетевого цифрового производства [28], дальнейшее развитие которого зависит в большей степени от когнитивной составляющей.

Одной из важных задач является максимальная дематериализация бизнес-процессов [29], производственных процессов и функциональных элементов изделий и услуг. Электроника, как один из базовых в этом элементов, может составлять до 50 % и более добавленной стоимости. Для обеспечения высоких объёмов её производства требуются редкоземельные металлы. За последние 40 лет спрос на редкоземельные металлы возрос в 20 раз (рис. 1).

Несмотря на то, что в настоящее время спрос обеспечивается добычей, доступность редкоземельных металлов в будущем будет зависеть от решения технологических вопросов добычи поиска и разведки месторождений. Сложность заключается в рассредоточении данных материалов в земной коре, вследствие чего их добыча является низкопроизводительной и экологически вредной.

В 2019 году лидирующие позиции в добыче данных материалов занимали Китай, США, Мьянма и Австралия (рис. 2).

Тем не менее, такие страны как Бразилия, Вьетнам, Россия, Индия имеют также значительные запасы, которые при наличии эффективных технологических решений будут осваиваться в ближайшем будущем (рис. 3).

Однако для других стран вопрос обеспечения редкоземельными металлами будет зависеть от политической ситуации.

Оснащение датчиками контроля всех процессов и управление с помощью цифровых двойников [32], методы неразрушающего контроля станут основными в контроле работы производственной системы. IT-взаимодействие должно быть стандартизировано. Здесь особую роль будет играть государственная и международная политика. В противном случае,

затраты на наладку и обслуживание таких систем не смогут себя оправдать.

Рис. 1. Объем спроса и добычи редкоземельных металлов [30]

Рис. 2. Добыча редкоземельных металлов в разрезе стран в 2019 году [31]

Рис. 3. Запасы редкоземельных металлов в разрезе стран [31]

В новой производственной парадигме ключевой фигурой является человек, который создаёт, модифицирует, обслуживает изделие на всём PLM-цикле. Целевая подготовка кадров, обладающих междисциплинарными знаниями в области высоких технологий, требует значительных ресурсов и совершенно новых подходов в формировании специалиста. Развитие творческих, инновационных и изобретательских способностей, превышающих существующие когнитивные алгоритмы, станет задачей, нацеленной на большинство обучающихся.

Переход на гибкое человекоориентированное производство предполагает собой не только ряд технических решений, но и полное переосмысление способов производства, организации и взаимодействия, а также проектирование и создание новых производственных систем. Создание комфортных экологических и безопасных условий, использование кобороботов и другие способы, исключающие монотонную работу, будут способствовать в формировании в человеке новых потребностей, в том числе в реализации профессионального потенциала.

В человекоориентированных производствах и системах необходимо обеспечить высокий уровень доверия между людьми и минимизировать вероятность их оппортунистического поведения. Процесс разработки NBIC-технологии происходит итерационно. Степень приближения технологии и производственной системы к оптимальному состоянию может быть охарактеризована уровнем ее энтропии, а снижение показателя энтропии свидетельствует о совершенствовании технологии и производственной системы [33].

Создание производственных и технических систем в условиях NBIC-конвергенции, обеспечивающих производство изделий на всём PLM-цикле

В качестве решения выявленных проблем интеграции NBIC-конвергенции предлагается новая парадигма, обеспечивающая производство изделия на всём PLM-цикле, представленная на рис. 4.

Маркетинговые исследования предполагают формирование цифрового портрета потенциального клиента на базе предложений, формируемых нейросетью.

Полученные данные являются начальными (целевыми) для этапа проектирования и разработки технологии изготовления изделия. В данном случае этап интегрирует в одном модуле конструкторские и технологические задачи, решение которых выполняют за счёт средств параллельного инжиниринга. Создание мультифизической многоуровневой модели изделия на базе CAD/CAM/CAE позволяет с помощью когнитивных систем выполнить оптимизацию различных технических решений и найти требуемые варианты исполнения с возможностью дальнейшей трансформации и модификации параметров. При этом в качестве граничных условий выступает концепция «Бережливое производство».

Рис. 4. Создание производственных и технических систем в условиях NBIC-конвергенции, обеспечивающих производство изделий на всём PLM-цикле

После испытания образца изготавливают персонализированное изделие на основе конфигурации, выбранной клиентом. Интеллектуальное сетевое цифровое производство, функционирующее на основе принципов Индустрии 4.0, в зависимости от области деятельности, может применять в том или ином объёме нанотехнологии, биотехнологии, аддитивные и гибридные технологии. Управление осуществляется в рамках человекоориентированных и когнитивных систем. Поставка материалов, комплектующих, оборудования и инструментов осуществляется в рамках принципов Логистики 4.0, концепций «Точно в срок» и «Бережливое производство». Этап завершается приёмкой, упаковкой и доставкой изделия клиенту.

Сведения о функционировании изделия, сгенерированные с помощью IoT, поступают в сервисный центр, аккумулирующий и обрабатывающий информацию посредством технологии Big Data. С помощью полученных результатов применение когнитивных технологий позволяет сформировать запрос на обслуживание и постразработку изделия.

Обслуживание предполагает подачу и реализацию запроса на изготовление и/или регенерацию комплектующих. Постразработка концепции изделия включает его усовершенствование, расширение функциональных возможностей и изменение свойств. После чего происходит постизготовление и/или доработка комплектующих, их доставка клиенту с установкой и наладкой в сервисных центрах.

Конечным этапом является утилизация и переработка изделия, но в отличие от классического PLM-цикла он достигается только после значительного ряда модификаций изделия, когда дальнейшая трансформация не может быть осуществлена.

Повышение эффективности производственных систем в условиях интеграции принципов NBIC-конвергенции может осуществляться посредством:

- решения проблемы ресурсосбережения и экологических проблем за счёт создания систем, обеспечивающих генерацию и трансформацию изделий на всём PLM-цикле;
- оптимизации концепции и технологии изготовления изделий за счёт применения параллельного инжиниринга, объединения алгоритмов решения конструкторских, технологических, эксплуатационных и пользовательских задач (модификация изделия);
- непрерывной генерации и трансформации изделий, непосредственно связанных с персональными потребностями клиентов, за счёт внедрения человекоориентированных технологий, обеспечивающих высокую инновационную составляющую;
- снижения себестоимости изделий за счёт сокращения технологического цикла, объёмов используемого оборудования и инструментов, а также затрат на их обслуживание;
- дематериализации изделий и услуг.

В полном объёме NBIC-конвергенция может себя реализовать только после запуска и реализации специальных государственных и международных программ, направленных на:

- создание новой экономической парадигмы, базирующейся на повышении качества образования и жизни людей;
- подготовку инженеров, способных инновационно мыслить и решать поставленные задачи;
- юридическое обеспечение (этические вопросы, кибербезопасность, повышение требований к ресурсосбережению и экологии, коррекция норм по физической загруженности работников и монотонности их работы, формирование новых стандартов жизни человека);
- стандартизацию в области Индустрии 4.0;
- консолидацию учёных для создания мультифизических многоуровневых программных сред, обеспечивающих модульное построение моделей с минимальными временными затратами;
- объединение усилий по совершенствованию алгоритмов когнитивных технологий на основе анализа в рамках Big Data и отраслевого сотрудничества;
- формирование нового мышления, направленного на максимальное взаимодействие производителя и клиента;
- обеспечение инфраструктурной поддержки (глобальное Интернет-покрытие и др.).

Литература

1. UNESCO. “UNESCO Science Report: towards 2030.” [Online]. Available: <https://en.unesco.org/USR-contents#:~:text=%C2%A9-,Contents,profiles%20of%20140%20of%20them>. [Accessed: 19-Sep-2020].
2. K. Suenaga, “The emergence of technological paradigms: The case of heat engines,” *Technology in Society*, no. 57, pp. 135–141, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2018.12.010>.
3. Горбунов А.А., Крупеня А.П., “Технологические уклады – основы развития научно-технического прогресса”, Ноосферное образование в евразийском пространстве, no. 9, pp. 467-478, 2019.
4. European Commission. “The Factories of the Future.” [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/factories-future>. [Accessed: 19-Sep-2020].
5. European Commission. “Germany: Industrie 4.0.” [Online]. Available: https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_Industrie%204.0.pdf. [Accessed: 19-Sep-2020].
6. Alliance Industrie du Futur. [Online]. Available: <http://www.industrie-dufutur.org>. [Accessed: 19-Sep-2020].
7. N. Julien, É. Martin, *L'usine du futur – Stratégies et déploiement : Industrie 4.0, de l'IoT aux jumeaux numériques*. Paris, France: DUNOD, 2018.
8. The U.S. Department of Energy. “A national strategic plan for advanced manufacturing.” [Online]. Available: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2013/11/f4/nstc_feb2012.pdf. [Accessed: 19-Sep-2020].
9. European Commission. “United Kingdom: HVM Catapult.” [Online]. Available:

- https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_HVM%20Catapult%20v1.pdf. [Accessed: 19-Sep-2020].
10. Produktion2030: Strategic innovation programme for sustainable production in Sweden. [Online]. Available: <https://produktion2030.se>. [Accessed: 19-Sep-2020].
 11. Made different. [Online]. Available: <https://www.madedifferent.be>. [Accessed: 19-Sep-2020].
 12. Prime Minister of Japan and His Cabinet. “Long-term Strategic Guidelines “Innovation 25”.” [Online]. Available: https://japan.kantei.go.jp/innovation/innovation_final.pdf. [Accessed: 19-Sep-2020].
 13. H.S. Kang, J.Y. Lee, S. Choi, H. Kim, J.H. Park, J.Y. Son, B.H. Kim, S.D. Noh, “Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions”, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, no. 3, 2016, doi: <https://doi.org/10.1007/s40684-016-0015-5>.
 14. Mercator Institute for China Studies. “Made in China 2025.” [Online]. Available: <https://merics.org/sites/default/files/2020-04/Made%20in%20China%202025.pdf>. [Accessed: 19-Sep-2020].
 15. Make in India. [Online]. Available: <https://www.makeinindia.com>. [Accessed: 19-Sep-2020].
 16. Produktion der Zukunft. [Online]. Available: <https://produktionderzukunft.at>. [Accessed: 19-Sep-2020].
 17. Fabbrica intelligente. [Online]. Available: <https://www.fabbricaintelligente.it>. [Accessed: 19-Sep-2020].
 18. F. Blondel, *Aide-mémoire Gestion industrielle*. Paris, France: DUNOD, 2006.
 19. S.T. Newman, Z. Zhu, V. Dhokia, A. Shokrani, “Process planning for additive and subtractive manufacturing technologies”, *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, no. 64, 2015, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2015.04.109>.
 20. R.E. Yakovenko, A.P. Savost'yanov, G.B. Narochniy, V.N. Soromotin, I.N. Zubkov, O.P. Papeta, R. Svetogorov, S.A. Mitchenko, “Preliminary evaluation of a commercially viable Co-based hybrid catalyst system in Fischer-Tropsch synthesis combined with hydroprocessing”, *Catalysis Science & Technology*, 2020, doi: <https://doi.org/10.1039/D0CY00975J>.
 21. A.P. Savostyanov, R.E. Yakovenko, G.B. Narochny, E.V. Nepomnyashchikh, S.A. Mitchenko, “Bifunctional Co/SiO₂-Fe-ZSM-5-Al₂O₃ catalysts for synthesis of hydrocarbons of engine fractions,” *Izv. Vyssh. Uchebn.Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.*, vol. 62, no. 8, 2019, doi: <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20196208.5905>.
 22. J.H. Crowell, H.E. Benson, J.H. Field, H.H. Storch, “Pilot plants. Fischer-Tropsch Oil Circulation Processes,” *Ind. Eng. Chem.*, 42, 2376, 1950, doi: <https://doi.org/10.1021/ie50491a051>.
 23. A.P. Savost'yanov, R.E. Yakovenko, G.B. Narochniy, S.I. Sulima, V.G. Bakun, V.N. Soromotin, S.A. Mitchenko, “Unexpected increase in C₅ + selectivity at temperature rise in high pressure Fischer-Tropsch synthesis over Co-Al₂O₃/SiO₂ catalyst”, *Catalysis Communications*, no. 99, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2017.05.021>.
 24. E. Kristoffersena, F. Blomsma, P. Mikalefa, J. Lia, “The smart circular economy: A digital-enabled circular strategies framework for manufacturing companies”, *Journal of Business Research*, no. 120, pp. 241-261, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.07.044>.
 25. Dassault Systèmes. “Simulation multiphysique technologie de simulation physique complète de pointe, intégrée et gérée sur la plate-forme 3DEXPERIENCE”. [Online]. Available: <https://www.3ds.com/fr/produits-et-services/simulia/disciplines/multiphysics-simulation/>. [Accessed: 19-Sep-2020].

26. D. D'Amico, J. Ekoyuncu, S. Addepalli, C. Smith, E. Keedwell, J. Sibson and S. Penver, "Conceptual framework of a digital twin to evaluate the degradation status of complex engineering systems", *Procedia CIRP*, vol. 86, pp. 61-67, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.043>.
27. T. Bismukhametov, J. Jäschke, "Combining machine learning and process engineering physics towards enhanced accuracy and explainability of data-driven models", *Computers and Chemical Engineering*, no. 138, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2020.106834>.
28. J. Zhou, P. Li, Y. Zhou, B. Wang, J. Zang, L. Meng, "Toward New-Generation Intelligent Manufacturing", *Engineering*, vol. 4, no. 1, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.01.002>.
29. L. Ávila, L. Teixeira, P. Almeida, "A Methodological Approach to Dematerialization of Business Processes Using Open-Source Technology", *International Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 9, no. 3, 2018, doi: <http://doi.org/10.24867/IJIE-2018-3-121>.
30. B. Zhou, Z. Li and C. Chen, "Global Potential of Rare Earth Resources and Rare Earth Demand from Clean Technologies", *Minerals*, 2017, doi: <http://dx.doi.org/10.3390/min7110203>.
31. U.S. Geological Survey. "Mineral Commodity Summaries, January 2020". [Online]. Available: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020-rare-earths.pdf>. [Accessed: 19-Sep-2020].
32. M. Glatta, C. Sinnwella, L. Yia, S. Donohoe, B. Ravanib, J. C. Auricha, "Modeling and implementation of a digital twin of material flows based on physics simulation", *Journal of Manufacturing Systems*, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.04.015>.
33. Колбачев Е.Б. "Научные и методологические основы проектирования организационных структур и производственных процессов на основе NBIC-конвергенции", *Вестник ЮРГТУ (НПИ)*, no. 5, 2017.

Поступила в редакцию

03.09.2020

Сидорова Елена Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Нефтегазовая техника и технологии», ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова», г. Новочеркасск, Россия.

Sydorova Elena V. – PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Oil and gas equipment and technology, FSBEI HE «Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)», Novocherkassk, Russia.

Пахомова Антонина Александровна – доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры «Производственный и инновационный менеджмент», ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет», г. Новочеркасск, Россия.

Pahomova Antonina Al. – Doctor of Sciences (Econ.), Associate Professor, Professor in the Department of Production and Innovation Management, South-Russian state Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia.

Халас Шандор – доктор технических наук, почетный профессор кафедры электроэнергетики Будапештский университет технологий и экономики, кафедра электроэнергетики, г. Будапешт, Венгрия.

Halasz Sandor – Doctor of Technical Sciences, Professor emeritus of the Department of Electric Power Engineering, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary.

Федорчук Владимир Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Производственный и инновационный менеджмент», ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет», г. Новочеркасск, Россия.

Fedorchuk Vladimir Ev. – candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department of Production and innovation management, South Russian state Polytechnic University, Novocherkassk, Russia.

Нардина Анастасия Андреевна – аспирант кафедры «Производственный и инновационный менеджмент», ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет», г. Новочеркасск, Россия.

Nardina Anastasia An. – aspirant of the Department of Production and innovation management, South Russian state Polytechnic University, Novocherkassk, Russia.

Россия, 346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132
132, str. Prosveshcheniya, Novocherkassk, 346428, Russia
Университетская набережная 1-6, Будапешт 1111, Венгрия,
Műegyetem rakpart 1-6, Budapest, 1111, Hungary
e-mail: tivano@yandex.ru
e-mail: halasz.sandor@vet.bme.hu