



Франко-русский институт, Южно-Российский государственный
политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова
132, ул. Просвещения, 346428 Новочеркасск,
Ростовская область, Российская Федерация
Тел.: +7 863 525 54 71
Эл. почта: sidorova_ev@npi-tu.ru
<https://www.institutfrancorusse.org>



ФРАНКО-РУССКИЙ ФОРУМ

«УПРАВЛЕНИЕ КОГНИТИВНЫМИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ СИСТЕМАМИ»

1 Актуальность

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]:

- Сокращаются государственные обязательства в отношении НИОКР 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.
- 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 технологий.
- 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.
- 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



Франко-русский институт, Южно-Российский государственный
политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова
132, ул. Просвещения, 346428 Новочеркасск,
Ростовская область, Российская Федерация
Тел.: +7 863 525 54 71
Эл. почта: sidorova_ev@npi-tu.ru
<https://www.institutfrancorusse.org>



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 объемов 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.

Глобальный кризис не может быть разрешен по прежним фундаментальным лекалам в парадигме развития нашей цивилизации. Современные технологии требуют колоссального количества энергии, которую существующая альтернативная энергетика не способна выработать. Нужен качественный скачок, переход на иные принципы производства и потребления энергии по образцу живой природы, которые изменят облик всей техносферы, а именно – природоподобные конвергентные NBIC-технологии, обеспечивающие естественный ресурсооборот [4]. Однако, вместе с тем, такие технологии порождают принципиально новые глобальные угрозы [5]:

- двойственный характер технологий, размытые границы между гражданским и военным применением и, как следствие, неэффективность существующих средств и технологий контроля;
- невозможность предугадать все последствия выхода искусственных живых систем в окружающую среду;
- биогенетические нанобиотехнологии, позволяющие продуцировать искусственные живые системы с заданными свойствами, на основе чего могут быть созданы как сверхэффективные лекарства, так и средства поражения;
- когнитивные технологии, основанные на конвергенции инфокогнитивных и социогуманитарных наук и воздействующие на психофизиологическую сферу человека с целью контроля и управления его сознанием и телом.

NBIC-конвергенция в производственные системы требует новых подходов в управлении HR-ресурсами. Цена ошибки каждого решения в таких системах на несколько порядков больше, чем в традиционных системах [6-8], и может повлечь за собой другие ошибки, которые, распространяясь в геометрической прогрессии, могут



Франко-русский институт, Южно-Российский государственный
политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова
132, ул. Просвещения, 346428 Новочеркасск,
Ростовская область, Российская Федерация
Тел.: +7 863 525 54 71
Эл. почта: sidorova_ev@npi-tu.ru
<https://www.institutfrancorusse.org>



привести к глобальной мировой катастрофе. Очевидно, что человеческий фактор здесь является определяющим [9].

Технологическая эволюция способствует увеличению структурной и динамической сложности, вызванной неоднородностью и непредвиденным поведением компонентов системы. В связи с этим человеко-машинное взаимодействие и взаимодействие человека и робота можно рассматривать в качестве источников риска. Эти риски связаны с новыми технологическими и организационными переменными, увеличением количества источников риска, увеличением вероятности подверженности внешнему воздействию. Возникающие риски развиваются в сторону сценариев с большей неопределенностью из-за большой гибкости киберфизических систем, повышением сложности выполняемых задач, сочетанием человеческой ошибки и ошибки искусственного интеллекта. Надежность таких устройств предсказать сложнее, так как сложность этих систем возрастает. Человеческий мониторинг процессов выполняется посредством контроля систем вместо прямого управления, что может привести к сокращению практических знаний о процессе и чрезмерной зависимости от автоматизированных систем безопасности. Психосоциальные риски и риски опорно-двигательного аппарата связаны с низкой физической активностью, высокой умственной нагрузкой, снижением конфиденциальности на работе и ростом проблем в принятии решений. [10]

Необходимо найти не только инструменты, позволяющие контролировать, оптимизировать и развивать производственную деятельность человека, но и механизмы формирования и эволюции культурно-мировоззренческих взглядов и, как следствие, новых смыслов и концепций, позволяющих обеспечивать устойчивое развитие человечества.

Неизбежность NBIC-трансформации производства очевидна, однако необходимо понять, какие механизмы позволят выполнить этот переход максимально быстро и безболезненно.

Для интеграции новой технологической парадигмы в некоторых странах предусмотрены специальные программы: Factories of the Future (Европейский союз) [11], Industrie 4.0 (Германия) [12], Industrie du futur (Франция) [13, 14], Advanced Manufacturing (США) [15], High Value Manufacturing (Великобритания) [16], Production 2030 (Швейцария) [17], Made different (Бельгия) [18], Innovation 25 (Япония) [19], Manufacturing innovation 3.0 (Южная Корея) [20], Made in China 2025 (Китай) [21], Make in India (Индия) [22], Produktion der Zukunft (Австрия) [23], Fabbrica intelligente (Италия) [24] и др.

Анализ таких программ позволил выделить основные этапы необходимые для трансформации производственных систем:

- персонализация изделий, взаимодействие с потребителем на всём этапе PLM-цикла;
- моделирование производственных процессов, создание цифровых двойников, виртуальной и дополненной реальности, когнитивные технологии;



Франко-русский институт, Южно-Российский государственный
политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова
132, ул. Просвещения, 346428 Новочеркасск,
Ростовская область, Российская Федерация
Тел.: +7 863 525 54 71
Эл. почта: sidorova_ev@npi-tu.ru
<https://www.institutfrancorusse.org>



- переход на гибкое человекоориентированное производство, оснащение датчиками контроля всех процессов;
- целевая подготовка кадров, обладающих междисциплинарными знаниями в области высоких технологий.

Согласно [25] парадигма Индустрии 4.0 предлагает новую форму организации производства, основанную на прямом контроле всей цепочки создания добавленной стоимости и реализуемую посредством Интернета вещей IoT, больших данных BigData и облачных технологий, интегрированных в киберфизическое производство. В управлении новыми системами должна быть решена проблема ограничений, связанных с человеческим фактором.

Технология BigData позволяет собирать, анализировать и усовершенствовать не только производственные процессы, но и человеческое поведение. При этом Индустрия 4.0 выполняет самооптимизацию в реальном времени, тогда как ранее для этого требовались прогнозы. Условия работы меняются, появляется новая рабочая среда. Человек уже выполняет не просто функцию управления производственными системами, а является учителем для искусственного интеллекта машин. Все действия человека фиксируются и анализируются, формируя поведенческую память (базу знаний).

Реализация принципа персонализации изделий и взаимодействия с потребителем на всех этапах PLM-цикла возможно посредством реализации подхода «Точно в срок», одними из ключевых принципов которого являются [26]:

- Гибкость производства, обеспечивающая быстрое реагирование на запросы о поставках, оперативность в изменении параметров изделий.
- Уровень качества, определяемый клиентом, который самостоятельно разрабатывает критерии оценки изделия.
- Перерасход (все, что не представляет собой добавленной стоимости изделия) должен быть устранен. Ценностью является то, что улучшает использование изделия или снижает его стоимость для клиента.

Эти принципы требуют новых технологических решений. Если в XX веке преимущественное преобладание субтрактивных технологий в машиностроении решало задачу повышения объемов производства, то в настоящее время центральной проблемой является персонализация изделий, которая решается с помощью аддитивных и нанотехнологий, разработки новых интеллектуальных материалов, направленных на сокращение технологического цикла. Однако, чтобы увеличение ассортимента не снижало качество изделий, сама технология не должна часто меняться и быть отработанной.

Тем не менее, аддитивные технологии в настоящее время не могут обеспечить высокую производительность, поэтому предлагаются гибридные технологии, объединяющие преимущества аддитивных и субтрактивных решений [27].



Франко-русский институт, Южно-Российский государственный
политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова
132, ул. Просвещения, 346428 Новочеркасск,
Ростовская область, Российская Федерация
Тел.: +7 863 525 54 71
Эл. почта: sidorova_ev@npi-tu.ru
<https://www.institutfrancorusse.org>



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 [28, 29]. 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 кг/(м³·кат·ч), что в более чем 10 раз выше по сравнению с показателями производительности традиционных технологий [30]. 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 [31] 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, соблюдение принципов циклической экономики [32], 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 [33].



Франко-русский институт, Южно-Российский государственный
политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова
132, ул. Просвещения, 346428 Новочеркасск,
Ростовская область, Российская Федерация
Тел.: +7 863 525 54 71
Эл. почта: sidorova_ev@npi-tu.ru
<https://www.institutfrancorusse.org>



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 [34].

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 [35].

В целом представленная человеко-киберфизическая система реализуется в среде интеллектуального сетевого цифрового производства [36], дальнейшее развитие которого зависит в большей степени от когнитивной составляющей.

Одной из важных задач является максимальная дематериализация бизнес-процессов [37], производственных процессов и функциональных элементов изделий и услуг.

Оснащение датчиками контроля всех процессов, управление с помощью цифровых двойников [38] и 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.

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.

Повышение эффективности когнитивных производственных систем 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);



Франко-русский институт, Южно-Российский государственный
политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова
132, ул. Просвещения, 346428 Новочеркасск,
Ростовская область, Российская Федерация
Тел.: +7 863 525 54 71
Эл. почта: sidorova_ev@npi-tu.ru
<https://www.institutfrancorusse.org>



- непрерывной генерации и трансформации изделий, непосредственно связанных с персональными потребностями клиентов, за счёт внедрения человекоориентированных технологий, обеспечивающих высокую инновационную составляющую;
- снижение себестоимости изделий за счёт сокращения технологического цикла, объёмов используемого оборудования и инструментов, а также затрат на их обслуживание;
- дематериализации изделий и услуг.

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 коллаборативных роботов 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. [39]

Здоровье представляет собой основной элемент в развитии и эффективной деятельности человека, что является конечной целью любого экономического, технологического и социального развития, а именно – обеспечение постоянного здоровья [40]. Здоровье человека должно рассматриваться во взаимодействии с окружающей средой, одним из ключевых факторов которого является обеспечение безопасности работы. Система посредством датчиков позволяет идентифицировать случаи нахождения человека в опасной зоне и/или сигнализировать об операциях, которые могут привести к несчастному случаю. Здесь также могут решаться вопросы, связанные с эргономикой, оптимизацией рабочего пространства, контролем физической, информационной и психологической нагрузки.

Применение HR-аналитики на базе данных, аккумулируемых посредством технологии BigData, и прогнозной аналитики, реализуемой с использованием искусственного интеллекта, машинного обучения, моделирования, методов оптимизации и эвристики, позволяет решать следующие задачи [41]:

- управление человеческим капиталом (измерение производительности работы персонала, определение оптимальной с точки зрения набора навыков и знаний конфигурация команды);
- аналитика кадровых ресурсов (определение движущих сил производительности и их вклада в общую производительность);



- прогнозирование альтернативных кадровых сценариев;
- стратегия формирования кадрового потенциала;
- рекрутинг персонала;
- повышение квалификации и развитие (индивидуальный план обучения сотрудников, основанный на их образовании и характере работы; определение преимуществ инвестиций в обучение);
- производительность и компенсационные выплаты (построение системы управления эффективностью работы сотрудников на основе их индивидуальных достижений и компенсационных выплат за определённые результаты);
- вовлеченность и мотивация сотрудников (разработка мотивационных программ поддержки вовлеченности персонала, определение движущих сил текучести кадров);
- сетевой анализ (идентификация и совершенствование связей между сотрудниками и/или командами в организациях);
- анализ и прогнозирование настроений сотрудников для выявления потенциальных проблем.

Машинное обучение – это технология искусственного интеллекта, которая позволяет машинам обучаться, а затем принимать решения без вмешательства человека, изучая шаблоны, создавая логические и функциональные связи из многомерных данных, оперативные и поведенческие прогнозы.

В данном случае посредством двойных итерационных связей человек выступает в роли учителя, а машина, обучаясь, корректирует действия человека.

Принятие решений должно быть комплексным и многоуровневым, реализация и обеспечение безопасности которых возможно с использованием технологии блокчейна.

Технология блокчейна распределяет принятие решений между всеми сторонами, которые не могут быть искажены или отменены благодаря двум свойствам [42]:

- Прозрачность: данные распределяются между всеми узлами сети, каждый имеет доступ ко всей истории транзакций или решений, которые были приняты до определенного момента. Любые новые решения или транзакции будут автоматически учитывать предыдущие решения.
- Неподкупность: данные, хранящиеся в блокчейне, не могут быть изменены, поскольку локально изменённые единицы информации в любом заданном блоке создадут несоответствие между изменённой цепочкой блоков со всеми другими узлами в сети.

Так, в работе [42] предлагается интегрированная среда децентрализованных принятия решений, реализуемая посредством блокчейна по образу распределения



Франко-русский институт, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова
132, ул. Просвещения, 346428 Новочеркасск,
Ростовская область, Российская Федерация
Тел.: +7 863 525 54 71
Эл. почта: sidorova_ev@npi-tu.ru
<https://www.institutfrancorusse.org>



данных между клетками и их хранением внутри ДНК, смоделированная на основе анатомии человека и различных природных явлений и процессов, таких как процесс принятия решений нейронами человека, характер организации природных фракталов, пчелиного роя и колоний муравьёв.

Предлагаемая система гарантирует объективное коллективное принятие решений экспертами, уровень компетенций которых определяется историей их деятельности, анализируемой как искусственным интеллектом, исключая человеческий фактор, так и человеком, имеющим когнитивное восприятие.

Представленная человекоориентированная концепция управления когнитивными производственными системами имеет все инструменты для итерационного саморазвития и самосовершенствования, обеспечивая безопасные условия труда и постоянный контроль здоровья человека, что позволяет максимизировать процент отдачи от человеческого ресурса и снизить уровень оппортунистического поведения.

Данная система является замкнутой, а следовательно, имеет определённый предел в своём развитии. Для перехода на новый этап человеку нужно выйти из системы для формирования новых смыслов и концепций, что невозможно без гуманитарной и культурной составляющей, а также без взаимодействия между научно-производственными кластерами.

Человечество приближается к моменту перехода от механистической парадигмы к холистической, от энтропийной стадии к синтропической. В настоящее время цивилизация находится на энтропийной стадии, поскольку ориентирована в первую очередь на прибыль. Трансформация связана с человеческим разумом, а разум в первую очередь связан с синтропией, созданием новой парадигмы и преодолением энтропии, что подтверждает необходимость формирования правильной системы ценностей. Для достижения уникального спиралевидного роста необходимо разорвать сопротивление среднего значения текущего баланса познания и дойти до критической (начальной) точки спирального роста. [43] Таким образом предлагается модель развития по спирали, каждый виток которой будет представлять собой самоорганизующуюся систему.

2 Цели и задачи

Целью форума «Управление когнитивными производственными системами» является научная, академическая и международная консолидация в решении следующих задач:

- создание новой экономической парадигмы, обеспечивающей развитие по спирали и базирующейся на повышении качества образования и жизни;
- подготовка инженеров, способных инновационно мыслить и решать поставленные задачи с учётом культурной и гуманитарной составляющей;



Франко-русский институт, Южно-Российский государственный
политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова
132, ул. Просвещения, 346428 Новочеркасск,
Ростовская область, Российская Федерация
Тел.: +7 863 525 54 71
Эл. почта: sidorova_ev@npi-tu.ru
<https://www.institutfrancorusse.org>



- этические вопросы, кибербезопасность, повышение требований к ресурсосбережению и экологии, коррекция норм по физической загруженности работников и монотонности их работы, формирование новых стандартов жизни человека;
- объединение усилий по совершенствованию алгоритмов производственных когнитивных технологий.

3 Программа

Программа форума включает в себя четыре блока:

- Образовательный блок: публичные лекции, семинары, мастер-классы.
- Научный блок: обсуждение научных исследований.
- Культурно-философский блок: культурное, историческое, литературное и философское взаимодействие, направленное на формирование сценариев и картин будущего.
- Международный блок: разработка механизмов для франко-русского взаимодействия.

Список литературы

1. UNESCO. "UNESCO Science Report: towards 2030." [Online]. Available: <https://en.unesco.org/USR-contents#:~:text=%C2%A9-,Contents,profiles%20of%2014%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. A.A. Gorbunov, Krupenya A.P., "Technological patterns – foundations for the development of scientific and technical progress," *Noosphere education in the Eurasian space*, no. 9, pp. 467-478, 2019.
4. Kovalchuk, M.V., Naraikin, O.S. & Yatsishina, E.B. (2019). Nature-like technologies: new opportunities and new challenges. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 89 (5), 455-465. <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895455-465>
5. Kovalchuk, M.V. & Naraikin, O.S. (2016). Nature-like technologies - new opportunities and new threats. *Safety index*, 22 (3-4), 118-119.
6. Som, C. & Hilty, L. M. (2007). Qualitative risk assessment for converging technologies: nano-bio-info-cogno technologies. *Proceedings of International Symposium on EcoTopia Science 2007*, 1178-1181.
7. Royakkers, L., Timmer, J., Kool, L. & Van Est, R. (2018). Societal and ethical issues of digitization. *Ethics and Information Technology*, 20, 127–142. <https://doi.org/10.1007/s10676-018-9452-x>
8. Angelopoulou, A., Mykoniatis, K. & Boyapati, N. R. (2020). Industry 4.0: The use of simulation for human reliability assessment. *Procedia Manufacturing*, 42, 296–301. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.094>
9. Kolbachev E., Kolbacheva T. (2019). Human Factor and Working Out of NBIC Technologies. *AHFE 2018: Advances in Manufacturing, Production Management and Process Control*, 793, 179-190. http://doi-org-443.webvpn.fjmu.edu.cn/10.1007/978-3-319-94196-7_17
10. Brocal, F., González, C., Komljenovic, D., Katina, P. F. & Sebastián, M. A. (2019). Emerging Risk Management in Industry 4.0: An Approach to Improve Organizational and Human Performance in the Complex Systems. *Complexity*, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2019/2089763>



Франко-русский институт, Южно-Российский государственный
политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова
132, ул. Просвещения, 346428 Новочеркасск,
Ростовская область, Российская Федерация
Тел.: +7 863 525 54 71
Эл. почта: sidorova_ev@npi-tu.ru
<https://www.institutfrancorusse.org>



11. European Commission. "The Factories of the Future." [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/factories-future>. [Accessed: 19-Sep-2020].
12. 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].
13. Alliance Industrie du Futur. [Online]. Available: <http://www.industrie-dufutur.org>. [Accessed: 19-Sep-2020].
14. N. Julien, É. Martin, L'usine du futur – Stratégies et déploiement : Industrie 4.0, de l'IoT aux jumeaux numériques. Paris, France: DUNOD, 2018.
15. 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].
16. 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].
17. Produktion2030: Strategic innovation programme for sustainable production in Sweden. [Online]. Available: <https://produktion2030.se>. [Accessed: 19-Sep-2020].
18. Made different. [Online]. Available: <https://www.madedifferent.be>. [Accessed: 19-Sep-2020].
19. 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].
20. 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>.
21. 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].
22. Make in India. [Online]. Available: <https://www.makeinindia.com>. [Accessed: 19-Sep-2020].
23. Produktion der Zukunft. [Online]. Available: <https://produktionderzukunft.at>. [Accessed: 19-Sep-2020].
24. Fabbrica intelligente. [Online]. Available: <https://www.fabbricaintelligente.it>. [Accessed: 19-Sep-2020].
25. Robert, M., Giuliani, Ph. & Gurau, C. (2020). Implementing industry 4.0 real-time performance management systems: the case of Schneider Electric. Production Planning & Control. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1810761>
26. F. Blondel, Aide-mémoire Gestion industrielle. Paris, France: DUNOD, 2006.
27. 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>.
28. R.E. Yakovenko, A.P. Savost'yanov, G.B. Narochnyi, 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>.
29. 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>.
30. 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>.
31. A.P. Savost'yanov, R.E. Yakovenko, G.B. Narochnyi, 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>.
32. 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>.
33. 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].
34. 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>.



Франко-русский институт, Южно-Российский государственный
политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова
132, ул. Просвещения, 346428 Новочеркасск,
Ростовская область, Российская Федерация
Тел.: +7 863 525 54 71
Эл. почта: sidorova_ev@npi-tu.ru
<https://www.institutfrancorusse.org>



35. T. Bikmukhametov, 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>.
36. 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>.
37. 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/IJEM-2018-3-121>.
38. M. Glatta, C. Sinnwella, L. Yia, S. Donohoeb, 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>.
39. E. B. Kolbachev, "Scientific and methodological foundations for the design of organizational structures and production processes based on NBIC-convergence," *Vestnik SRSTU (NPI)*, no. 5, 2017.
40. Maksimović, M., Vujović, V. & Perišić, B. (2016). Do It Yourself solution of Internet of Things Healthcare System: Measuring body parameters and environmental parameters affecting health. *Journal of Information Systems Engineering & Management*, 1 (1), 25-39. <https://doi.org/10.20897/lectito.201607>
41. Nocker, M. & Sena, V. (2019). Big Data and Human Resources Management: The Rise of Talent Analytics. *Social Sciences*, 8(10), 273. <https://doi.org/10.3390/socsci8100273>
42. Tapus N. & Manolache M. A. (2019). Integrated Decision Making using the Blockchain. *Procedia Computer Science*, 162, 587-595. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.12.027>
43. Mikulášková, J., Čambál, M., Polakovič, L. & Urbanovičová, P. (2020). Spiral Management: New Concept of the Social Systems Management. *Networked Business Models in the Circular Economy*, 174-199. <https://doi.org/10.2507/29th.daaam.proceedings.131>