

**Светлана Сергеевна Турлакова,***канд. экон. наук, доцент*

Институт экономики промышленности НАН Украины.

03057, Украина, г. Киев, ул. М. Капнист, 2.

E-mail: [svetlana.turlakova@gmail.com](mailto:svetlana.turlakova@gmail.com)<https://orcid.org/0000-0002-3954-8503>

## ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗВИТИЯ "УМНЫХ" ПРОИЗВОДСТВ

Определено, что усложнение технологий производства смарт-промышленности и повсеместное внедрение киберфизических систем в производственные процессы требует перехода к использованию соответствующего информационного, программного, технического инструментария. Одним из важнейших факторов развития "умных" производств выделена информационная коммуникация на производстве, а информационно-коммуникационные технологии – тем инструментом, который позволяет наиболее эффективно взаимодействовать на всех уровнях производства и управления. Обозначена первоочередность задачи разработки соответствующих формальных и системных инструментов использования информационно-коммуникационных технологий развития "умных" производств в рамках внедрения концепции Industry 4.0 для эффективного взаимодействия на всех уровнях производства и управления.

Проведен анализ современных подходов к созданию единого информационного пространства промышленных комплексов для определения методологии, которая позволяет наиболее полно рассмотреть информационно-коммуникационные связи моделируемых систем. Среди прочих выделен структурный подход. На основе методологии SADT разработана информационная IDEF0-модель развития "умных" производств, которая позволяет получить целостную картину соответствующих процессов. Предложенная модель позволяет в логической, удобной и последовательной форме описать взаимосвязи между функциями управления и основными информационно-коммуникационными связями, механизмами реализации, комплексом математических моделей и подходов развития "умных" производственных комплексов. Главное назначение модели заключается в обеспечении информационной поддержки развития "умных" производственных комплексов. Кроме того, предложенная информационная модель является основой для дальнейшей автоматизации процессов развития "умных" производств. Намечены перспективные направления исследований в рамках внедрения предложенной информационной модели развития "умных" производственных комплексов в практику функционирования и развития промышленных предприятий.

*Ключевые слова:* информационно-коммуникационные технологии, развитие, "умное" производство, структурный подход, информационная модель, IDEF0-модель, промышленность, Industry 4.0.

Усложнение технологий производства смарт-промышленности (Industry 4.0) и повсеместное внедрение киберфизических систем (КФС) в производственные процессы [1] требует перехода к использованию соответствующего информационного, программного, технического инструментария. Одним из важнейших факто-

ров развития "умных" производств становится информационная коммуникация на предприятии, а информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) – тем инструментом, который позволяет наиболее эффективно взаимодействовать на всех уровнях производства и управления.

© С. С. Турлакова, 2019

Опережающее развитие коммуникаций и коммуникационной активности предприятий, широкополосного доступа в интернет, технологий wi-fi, информационной грамотности персонала предприятий позволяют утверждать, что ИКТ являются одним из ключевых звеньев в развитии "умных" производств [2].

Создание единого информационного пространства промышленных комплексов является весьма сложной задачей, решение которой необходимо осуществлять в соответствии с современными методами, средствами и стандартами управления [11-20; 23].

Так, в работе [7] рассмотрены вопросы планирования производства на основе знаний для Industry 4.0. В. Gernhardt, T. Vogel & M. Hemmje утверждают, что стремительное развитие методов индустриализации и информатизации стимулировало огромный прогресс в разработке технологий производства. Такие технологии объединяют различные дисциплины, включая КФС, Промышленный интернет вещей (Industrial Internet of things – IIoT), облачные технологии, промышленную интеграцию, корпоративную архитектуру, управление бизнес-процессами, информационную интеграцию и т.д. Однако ученые отмечают, что в настоящий момент отсутствие мощных инструментов развития "умных" производств все еще представляет собой серьезную проблему. В частности, формальные и системные методы имеют решающее значение [7].

В источнике [9] предложено в сопровождении изменений в производственных стратегиях, направленных на развитие "умных" производств, использовать методологический подход, который включает построение диаграмм IDEF0 и методологии аксиоматического проектирования. В частности, A. Álvaro, L. Santos de Oliveira & J. Espindola Ferreira анализируют соответствующие модели для мониторинга и координации работы токарного станка с числовым программным управлением. Однако авторы предлагают узконаправлен-

ную разработку на базе указанного методологического подхода, которую нельзя применять в качестве концептуальной модели на предприятиях в процессе развития концепции Industry 4.0. Хотя в целом структурные компоненты методологического подхода достаточно интересны с точки зрения использования формальных и системных инструментов развития "умных" производств.

A. Cachada, F. Pires, J. Barbosa, P. Leitão & A. Calà в качестве инструмента проектирования и управления развитием "умных" производств в рамках перехода к Industry 4.0 выделяют методологию сетей Петри [10]. Исследователи предлагают использовать методологию, которая предполагает формализацию процессов развития "умных" производств, а именно моделирование, анализ, проверку переходных производственных процессов во время фазы проектирования, контроль и мониторинг таких процессов на этапе реализации.

A. Волгин, И. Гусев, С. Куликов, С. Манцеров, А. Панов рассматривают задачу построения единого информационного пространства машиностроительного предприятия [11]. В работе изложена концепция виртуального предприятия и технологии поддержки и обеспечения онлайн-взаимодействия специалистов на стадиях проектирования, производства, сбыта и других этапах жизненного цикла изделий, определена область возможных решений интеграционных задач. Предложены способы создания единого информационного пространства предприятия на основе облачных технологий и приведены примеры функциональных моделей единого информационного пространства предприятий [11].

При этом ученые утверждают, что построение распределённых автоматизированных систем для проектирования и управления в промышленности составляет основу современных CALS-технологий. Однако существенным недостатком их построения сами авторы видят необходимость обеспечения единообразного описа-

ния и интерпретации данных, независимо от места и времени их получения в общей системе, что требует жесткой стандартизации структуры документации и языков её представления. При этом использование в рамках развития "умных" производств разных CAD/CAM/CAE-систем в рамках разных отделов определяет необходимость использования инструментов, которые позволили бы формализовать и выявить описание взаимодействия пользователей в едином информационном пространстве предприятия. В качестве такого инструмента в работе [11] выбраны методология функционального моделирования IDEF0, методология информационного моделирования IDEF1X и технология Cloud computing. Однако предложенная модель единого информационного пространства информационно-образовательного центра института промышленных технологий машиностроения требует адаптации для применения к машиностроительным предприятиям в силу специфики предметной области производственных комплексов, в связи с чем необходима соответствующая доработка построения единого информационного пространства развития "умных" производств [11].

Действительно, для успешного внедрения концепции Industry 4.0 на промышленных предприятиях руководству и персоналу следует иметь четкое представление об общей последовательности действий, необходимости выполнения конкретных функций, необходимых ресурсах, информационных потоках, инструкциях, нормативной информации, комплексе применимых моделей и подходов в достижении непростой цели развития смарт-производств. В связи с этим одним из важнейших факторов развития "умных" производств становится информационная коммуникация на предприятии, а разработка соответствующих формальных и системных инструментов ИКТ ввиду отсутствия уже существующих разработок, готовых к применению в рамках внедрения концепции Industry 4.0 на производствах, – перво-

очередной задачей для наиболее эффективного взаимодействия на всех уровнях производства и управления.

*Целью* статьи является построение информационной модели развития "умных" производственных комплексов для рассмотрения информационно-коммуникационных технологий развития "умных" производств.

В настоящей работе под ИКТ будем понимать комплекс объектов, действий и правил, которые используются в процессе подготовки и передачи данных, необходимых для личной, массовой или производственной коммуникации [3-10]. Назначением подобных технологий является обеспечение людей информационной базой для принятия тех или иных решений, принимаемых на предприятиях в рамках развития "умных" производств.

Среди современных подходов к созданию информационных систем на предприятиях принято выделять следующие методы [12; 13]:

- а) структурно ориентированные;
- б) объектно-ориентированные;
- в) процессно-ориентированные.

Сущность структурного подхода к разработке информационных моделей заключается в декомпозиции (разбиении) системы на автоматизируемые функции: система разбивается на функциональные подсистемы, которые, в свою очередь, делятся на подфункции, подразделяемые на задачи и т.д. Процесс разбиения продолжается вплоть до конкретных процедур. При этом автоматизируемая система сохраняет целостное представление, в котором все составляющие компоненты взаимосвязаны [13; 14]. Согласно всем методологиям структурного подхода сложные проблемы решаются путём их разбиения на множество меньших независимых задач, легких для понимания и решения, и организуются в иерархические древовидные структуры с добавлением новых деталей на каждом уровне. Таким образом, выделяются наиболее существенные аспекты систе-

мы, данные структурируются и иерархически организовываются.

Среди особенностей структурного подхода следует отметить необходимость разбиения технологий выполнения работ на отдельные, как правило, не связанные между собой фрагменты, которые выполняются различными структурными элементами организационной структуры, а также отсутствие ответственного за конечный результат и контроль над технологией в целом [15].

Также следует отметить, что в структурном анализе используются в основном средства, иллюстрирующие функции, выполняемые системой, и отношения между данными, где среди прочих отражаются коммуникационные связи. Коммуникационные связи характеризуются тем, что блоки группируются по использованию одних и тех же входных данных и/или производству одних и тех же выходных данных. Данный факт является тем преимуществом, которое позволяет использовать структурный подход и соответствующие методологии для описания ИКТ развития "умных" производств [16].

Объектно-ориентированные методологии основаны на объектной декомпозиции предметной области, которая представляется в виде совокупности объектов, взаимодействующих между собой с помощью передачи сообщений. При объектно-ориентированном анализе для моделирования структуры и поведения самих объектов могут использоваться фрагменты методологии структурного анализа. Объектно-ориентированный подход заключается в представлении моделируемой системы в виде совокупности классов и объектов предметной области. При этом иерархический характер сложной системы описывается с использованием иерархии классов, а ее функционирование рассматривается как взаимодействие объектов [17].

Объектно-ориентированные методологии базируются на интегрированных моделях трех типов:

объектные модели, которые отображают иерархию классов, связанные общностью структуры, поведения и описывающие специфику атрибутов и операций каждого из них;

динамические модели, которые отображают временные аспекты и последовательность операций;

функциональные модели, которые описывают потоки данных.

Главным недостатком объектно-ориентированных методологий является отсутствие метода, который одинаково хорошо реализует этапы анализа требований и проектирования. Кроме того, большинство методов, предназначенных для объектно-ориентированного анализа, направлены на конкретные объекты производственных комплексов, что требует конкретики в определении области реализации построенных с использованием таких методологий информационных моделей. Также в большинстве методологий объектно-ориентированного подхода отсутствуют методы, которые одинаково хорошо реализуют этапы анализа требований и проектирования, а также стандартизация в области программной техники (например, для представления объектов и взаимосвязей между ними), чего недостаточно для решения задачи изучения ИКТ развития "умных" производств. Эти факты ограничивают возможность применения объектно-ориентированных методологий для описания ИКТ развития "умных" производств и построения соответствующей информационной модели.

Процессно-ориентированный подход основывается на описании организационной структуры, структуры данных и функций в виде модели бизнес-процессов, что дает возможность получать представление о работе моделируемой системы с различных точек зрения – процессной, организационной, функциональной, информационной.

Процессно-ориентированный подход основывается на понятии бизнес-процесса. Бизнес-процессы – это деловые, админист-

ративные, технологические процедуры функционирования предприятия, к которым относятся: документооборот, управление финансовыми, материальными потоками, персоналом, организационно-хозяйственными и технологическими процессами, процессами проектирования изделий и т.п. [17].

При таком подходе внимание уделяется механизму взаимодействия структурных подразделений, нацеленному на получение конечного продукта. Результатом полнофункционального внедрения при процессно-ориентированном подходе является хорошо структурированная, работающая система, а также набор моделей, описывающих функционирование и взаимодействия подразделений.

Именно требование подробного рассмотрения взаимодействия структурных подразделений при использовании процессно-ориентированного подхода затрудняет его применение для описания ИКТ развития "умных" производств, так как необходимым становится изучение организационной структуры конкретных предприятий и производственных комплексов. Построение такой модели для абстрактного предприятия с учетом информационно-коммуникационной составляющей процессов развития "умных" производств является проблематичным ввиду учета приведенных особенностей процессно-ориентированного подхода.

Таким образом, анализ современных подходов к созданию единого информационного пространства промышленных комплексов позволяет сделать вывод о том, что структурный подход предполагает использование средств, иллюстрирующих функции, выполняемые системой, и отношения между данными, а также позволяет наиболее полно рассмотреть информационно-коммуникационные связи моделируемых систем. Данный факт является тем преимуществом, которое позволяет использовать структурный подход и соответствующие методологии для описания ИКТ развития "умных" производств.

Главный недостаток структурного подхода заключается в том, что процессы и данные существуют отдельно друг от друга, причем проектирование ведется от процессов к данным. Таким образом, помимо функциональной декомпозиции, существует также структура данных, находящаяся на втором плане. Однако для изучения информационно-коммуникационной составляющей развития "умных" производств необходимость разбиения технологий выполнения работ на отдельные, как правило, не связанные между собой фрагменты, которые выполняются различными структурными элементами организационной структуры, позволит представить подробную структуру используемых данных и определить основные коммуникационные взаимодействия в рамках создания "умных" производственных комплексов.

В структурном анализе используются в основном средства, иллюстрирующие функции, выполняемые системой, и отношения между данными. Каждой группе средств соответствуют определенные виды моделей (диаграмм).

Среди формальных средств моделирования, применяемых для структурного анализа сложных систем управления, широкое применение получили методологии SADT (Structured Analysis and Design Techniques), DFD (Data Flow Diagram), ERD (Entity Relationship Diagram), STD (State Transition Diagrams) и др. [5-7;11-19].

Стандарты SADT (Structured Analysis and Design Techniques) реализуют структурный подход к моделированию систем [6; 13]. SADT-технология ориентирована на комплексное представление структуры системы, в том числе информационных потоков и коммуникационных связей. При этом рассматриваемая система сохраняет целостное представление, в котором все составляющие компоненты взаимоувязаны. SADT-технология в большей степени нацелена на реорганизацию системы управления, чем другие методологии структурного подхода, основанные на ис-

пользовании диаграмм потоков данных [14; 16; 17].

Диаграммы потоков данных DFD (Data Flow Diagram) изображают передачу данных между операциями и характеристики информационной стороны бизнес-процессов описываемой системы [6; 13]. Это позволяет наблюдать данные на входе в систему, в каждую операцию в отдельности и соответствующую информацию на выходе. Также в ней отображается, какими способами сведения претерпевают изменения и где хранятся. Деятельность компании раскладывается на логические информационные уровни, причем базовая схема улучшается добавлением подробных описаний подпроцессов, тоже имеющих свою внутреннюю структуру [17; 18].

ERD-модели (Entity-Relationship Diagrams) типа "сущность-связь" позволяют описывать концептуальные схемы предметной области и используются при концептуальном проектировании баз данных [6; 13]. Диаграммы "сущность-связь" (ERD) предназначены для графического представления моделей данных разрабатываемой программной системы и предлагают набор стандартных обозначений для определения данных и отношений между ними. С помощью этого вида диаграмм можно описать отдельные компоненты концептуальной модели данных и совокупность взаимосвязей между ними [17; 19].

STD-диаграммы (State Transition Diagrams) переходов состояний предназначены для моделирования и документирования тех аспектов бизнес-процессов, которые зависят от времени или реакции на событие. Моделируемый процесс в любой заданный момент времени находится точно в одном состоянии из их конечного множества. С течением времени он может изменить свое состояние, при этом STD точно определяет переходы между состояниями [6; 13; 17; 18].

Выбор той или иной структурной методологии напрямую зависит от задач, для решения которых создается модель. Структурный подход и, в частности, методология построения SADT-моделей позволяют иллюстрировать функции, выполняемые системой, отношения между данными, а также наиболее полно рассмотреть информационно-коммуникационные связи моделируемых систем [16; 17]. Кроме того, необходимость изучения общих задач развития "умных" производств без необходимости описания ИКТ в рамках конкретных организационных структур и учета временных характеристик соответствующих процессов определяет возможность использования структурного подхода и SADT-моделей для описания ИКТ развития "умных" производств.

Рассмотрим возможность применения стандарта IDEF0 (Integrated Definition for Function Modeling), которая основана на методологии SADT, является ее следующим этапом развития и позволяет описать развитие "умных" производств в виде иерархической системы взаимосвязанных функций [15; 18].

Основу методологии IDEF0 составляет графический язык описания бизнес-процессов [15]. При этом методология базируется на четырех ключевых понятиях: функциональный блок, интерфейсная дуга, декомпозиция, глоссарий. Функциональный блок графически изображается в виде прямоугольника и олицетворяет собой некоторую конкретную функцию в рамках рассматриваемой системы. Следует отметить, что каждая из четырех сторон функционального блока связана с определенными типами сигналов: левая сторона – с входящими, правая сторона – с исходящими, верхняя сторона – с управляющими, нижняя сторона – с механизмами преобразования входящих сигналов в исходящие [6; 13]. Интерфейсная дуга отображает элемент системы, который обрабатывается функциональным блоком или оказывает иное влияние на функцию, отображенную данным функциональным блоком. Декомпозиция позволяет постепенно и структурировано представлять модель системы в виде иерархической структуры отдельных диаграмм, что делает ее менее перегруженной и легко воспринимаемой. Уровень детализации процесса при разбиении на

составляющие определяется непосредственно разработчиком модели. Глоссарий является описанием сущности каждого из элементов системы и представляет набор соответствующих определений, ключевых слов, повествовательных изложений и т.д., которые характеризуют объект, отображенный данным элементом [18].

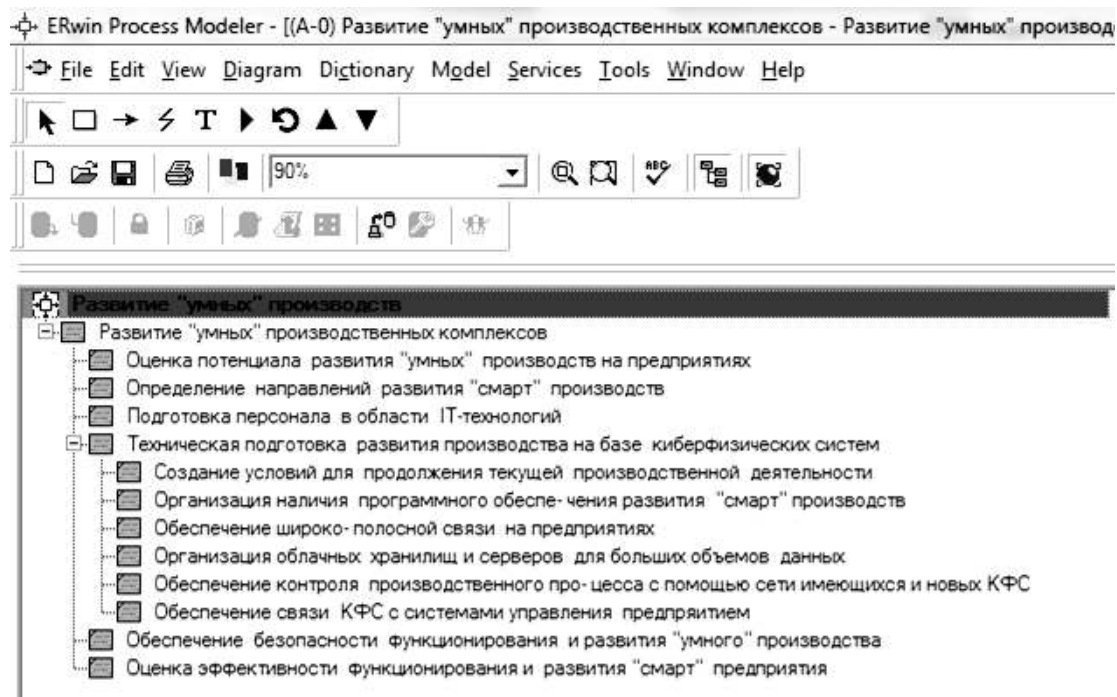
Таким образом, методология функционального моделирования IDEF0, по существу, предполагает идентификацию бизнес-процессов, их декомпозицию до нужной степени детализации, а также при помощи четкой нотации для входов и выходов каждой функции, увязку всех функций в единую модель в соответствии с информационно-коммуникационными связями основных функций в реальной системе. Преимущество построенных таким образом моделей заключается в том, что их легко обсуждать с экспертами предметной области в силу их наглядного графического представления, и, кроме того, основные системные понятия формируют словарь предметной области, который закладыва-

ется в будущую информационную систему развития "умных" производственных комплексов.

Рассмотрим информационную IDEF0-модель развития "умных" производственных комплексов. В целом модель в нотации IDEF0 представляет собой совокупность иерархически упорядоченных и взаимосвязанных диаграмм. Дерево диаграмм информационной IDEF0-модели развития "умных" производственных комплексов представлено на рис. 1.

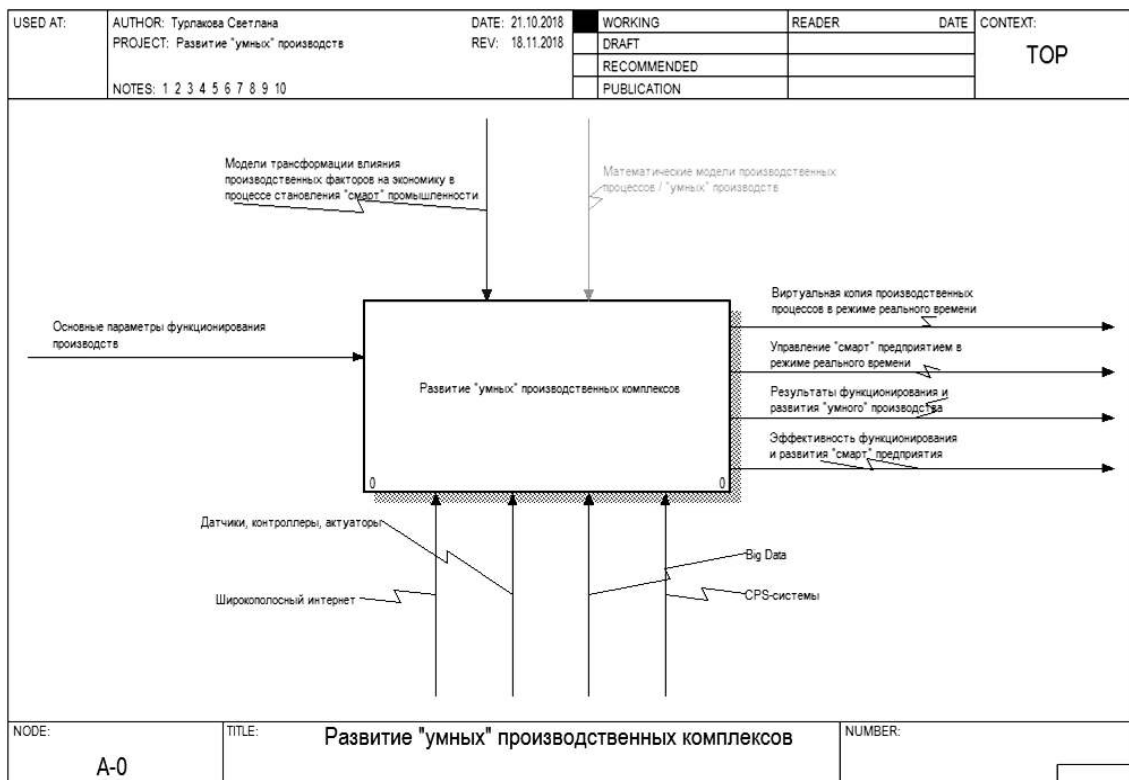
Вершиной этой древовидной структуры, представляющей собой общее описание системы и ее взаимодействия с внешней средой, является контекстная диаграмма. После описания в целом проводится разбиение системы на крупные фрагменты путем построения диаграмм декомпозиции, которые описывают каждый фрагмент системы и их взаимодействие.

Контекстная диаграмма информационной модели развития "умных" производственных комплексов представлена на рис. 2.



Составлено автором.

Рисунок 1. Дерево диаграмм информационной IDEF0-модели развития "умных" производственных комплексов



Составлено автором.

**Рисунок 2. Контекстная диаграмма информационной модели развития "умных" производственных комплексов**

Методология функционального моделирования IDEF0 рассматривает моделируемую систему как произвольно определенную и отделенную границей от внешней среды, которая преобразует входы в выходы, находясь под управлением и используя механизмы. Так, на вход системы развития "умных" производственных комплексов поступают основные параметры функционирования производств. После соответствующей обработки результаты деятельности системы:

- виртуальная копия производственных процессов в режиме реального времени;
  - управление смарт-предприятием в режиме реального времени;
  - результаты функционирования и развития "умного" производства;
  - эффективность функционирования и развития смарт-предприятия;
- поступают на выход блока.

Правила и процедуры, в соответствии с которыми осуществляется управление развитием "умных" производственных комплексов, на контекстной диаграмме представлены интерфейсными дугами:

"Модели трансформации влияния производственных факторов на экономику в процессе становления смарт-промышленности";

"Математические модели производственных процессов / "умных" производств".

Дуга "Модели трансформации влияния производственных факторов на экономику в процессе становления "смарт" промышленности" отражает управляющую информацию для блока, которая регламентирует выполнение соответствующей функции в информационной модели [21]. В работе [21] для учёта особенностей технологического и институционального развития Украины при обосновании создания



смарт-предприятий предложен ряд инструментов экономико-математического моделирования, базирующихся на использовании производственных функций, моделей межотраслевого баланса, сетевых оптимизационных моделей, имитационных моделей на основе стохастических зависимостей.

Аналогично дуга "Математические модели производственных процессов "умных" производств" отражает управляющую информацию для блока, которая регламентирует выполнение соответствующей функции в информационной модели [22]. В работе [22] проведен анализ математических моделей по классам типовых задач для использования при построении смарт-производственных комплексов и приведены рекомендации руководителям машиностроительных предприятий по использованию математических моделей в процессе внедрения концепции Индустрии 4.0.

Наиболее перспективными для внедрения на предприятиях машиностроения являются модели искусственных нейронных сетей, что связано с широким спектром возможных решаемых задач, который включает моделирование машинного зрения, мехатронных и робототехнических систем, задач автоматизации производства, интеллектуальных производственных систем [22]. Модели искусственных нейронных сетей выгодно отличаются от других моделей способностью к обучению и самонастраиванию, отказоустойчивостью и быстротой работы, что особенно важно для смарт-производств.

Для решения задач автоматизации производства в машиностроении в рамках построения смарт-предприятий рекомендуется использование марковских и полумарковских моделей, математических моделей теории систем массового обслуживания, сетей Петри для описания производственных процессов [22]. Применение таких моделей позволяет создавать новое оборудование, совершенствовать технологические процессы и систему организации производства, объединять эти системы в рам-

ках сетевого пространства предприятия на базе ключевых формализованных параметров. Такие модели находят применение для описания производственных процессов и неплохо зарекомендовали себя в процессе выявления и устранения "узких мест" в технологических процессах, выбора наиболее подходящей структуры производственного процесса при проектировании, оценке производительности автоматизированной системы и др.

Управляющую информацию для реализации развития "умных" производственных комплексов согласно указанным на диаграмме стрелкам необходимо выбирать с учетом специфики конкретного производства.

Механизмы реализации развития "умных" производственных комплексов отражены дугами:

"Датчики, контроллеры, актуаторы";

"Широкополосный интернет";

"Big Data";

"CPS-системы".

При рассмотрении построенной в рамках стандарта IDEF0 развития "умных" производственных комплексов следует отметить, что указанная на контекстной диаграмме в качестве механизмов развития "умных" производственных комплексов стрелка "CPS-системы" подразумевает применение киберфизических систем и систем, обеспечивающих коммуникацию и интеграцию CPS-систем в процессы функционирования и развития "умных" производственных комплексов, среди которых:

CAD-системы (Computer-aided design) – автоматизированные системы, реализующие информационную технологию выполнения функций проектирования. Представляют собой организационно-техническую систему, предназначенную для автоматизации процесса проектирования, состоящую из персонала и комплекса технических, программных и других средств автоматизации производственной деятельности [24; 25];

CAE-системы (Computer-aided engineering) – разнообразные программные

продукты, позволяющие при помощи расчётных методов оценить, как поведёт себя компьютерная модель изделия в реальных условиях эксплуатации, и убедиться в работоспособности изделия без привлечения больших затрат времени и средств. Модуль инженерных расчетов и оптимизации CAE предназначен для решения различных инженерных задач: расчётов, анализа и симуляции физических процессов, расчётная часть которых чаще всего основана на математических моделях производственных процессов. На производствах системы CAE применяются совместно с CAD-системой [24];

CAM-системы (Computer-aided manufacturing) – автоматизированная система либо модуль автоматизированной системы, предназначенные для подготовки управляющих программ для станков с числовым программным управлением (ЧПУ), автоматизации процессов управления на предприятии и подготовки производства. Часто CAM включает как сам процесс компьютеризированной подготовки производства, так и программно-вычислительные комплексы, используемые инженерами-технологами. В основном программно-вычислительные комплексы на производствах совмещают в себе решение задач CAD/CAE/CAM [24];

PLM (Product Lifecycle Management) – прикладное программное обеспечение для управления жизненным циклом продукции), тесно взаимодействуют с различными CAD-системами (AutoCAD, T-flex CAD, SolidWorks, CATIA и др.), САПР ТП/САРР (система автоматизированного проектирования технологических процессов / Computer-Aided Process Planning: ТехноПро, Вертикаль, Timeline), различными базами данных, PDM-системами (Product Data Management – системы управления данными об изделии: Simatic PDM, ENOVIA Smarteam и др.) [25];

модули удаленной загрузки управляющих программ в обрабатывающие центры

ММІ, которые обеспечивают производство по заданным параметрам на станках с ЧПУ, введенным как в ручном, так и в автоматическом режиме [26];

SCADA-системы (Supervisory Control And Data Acquisition) – программно-аппаратные комплексы сбора данных и диспетчерского контроля, позволяющие с помощью математических моделей объектов управления определять, устанавливать и поддерживать в технологическом оборудовании предприятий промышленности экологически безопасные и экономически эффективные режимы функционирования с учетом накладываемых на них экологических и экономических ограничений [27].

При моделировании развития "умных" производственных комплексов детализация контекстной диаграммы будет производиться по мере необходимости реализации соответствующих функций в процессе развития "умных" производственных комплексов, отказавшись от детализации и исследования отдельных элементов, не являющихся необходимыми в рамках соответствующей системы.

На рис. 3 представлена диаграмма декомпозиции первого уровня детализации информационной модели развития "умных" производственных комплексов, которая содержит шесть основных функциональных блоков: "Оценка потенциала развития "умных" производств на предприятиях";

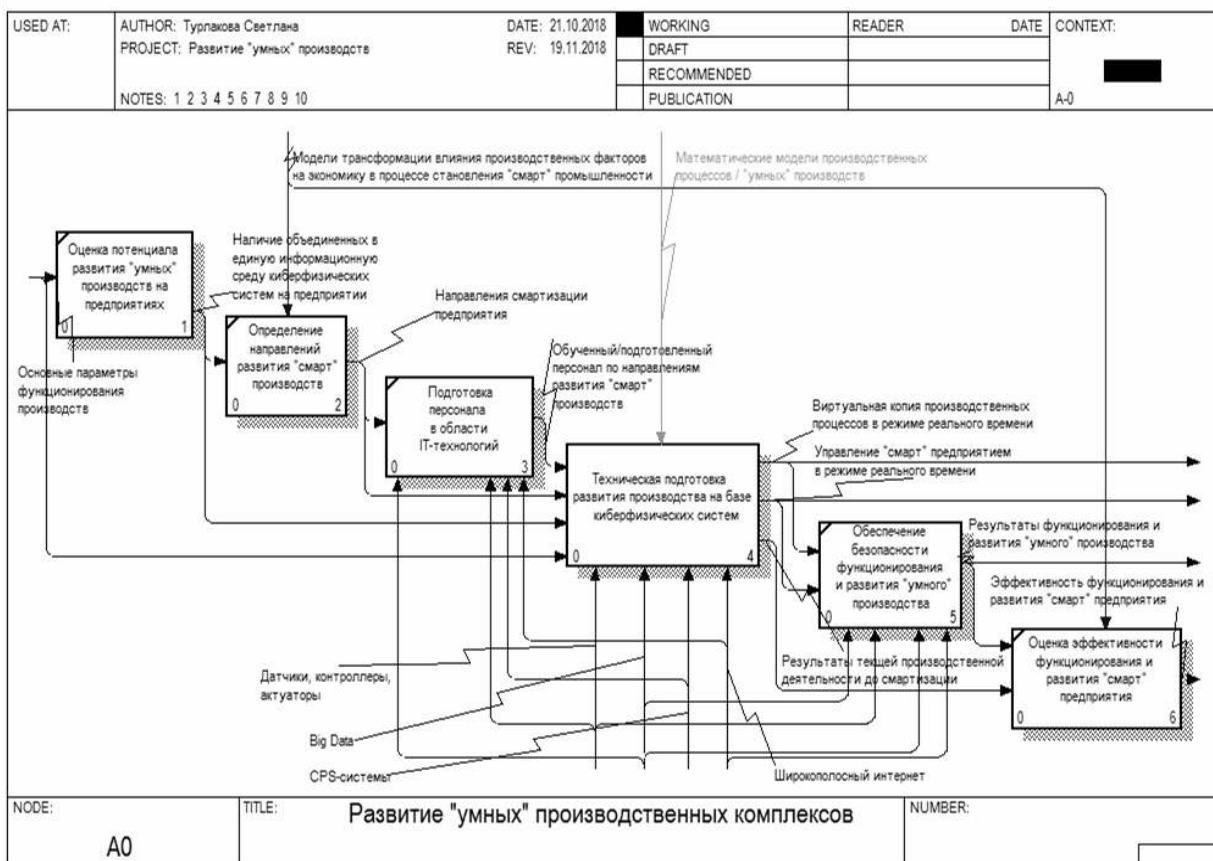
"Определение направлений развития "смарт" производств";

"Подготовка персонала в области IT-технологий";

"Техническая подготовка развития производства на базе киберфизических систем";

"Обеспечение безопасности функционирования и развития "умного" производства";

"Оценка эффективности функционирования и развития "смарт" предприятия".



Составлено автором.

**Рисунок 3. Диаграмма декомпозиции первого уровня детализации информационной модели развития "умных" производственных комплексов**

Интерфейсные дуги "Модели трансформации влияния производственных факторов на экономику в процессе становления смарт-промышленности" и "Математические модели производственных процессов / "умных" производств" обозначены в качестве управляющей информации [21; 22].

На вход блока оценки потенциала развития "умных" производств на предприятиях систематически поступает информация об основных параметрах функционирования производств. Выходами и результатами выполнения соответствующей функции на предприятиях является информация о наличии объединенных в единую информационную среду киберфизических систем на предприятии. На основании входящей информации о наличии объединенных в единую информационную среду

киберфизических систем в рамках производственного комплекса определяются направления развития смарт-производств. В качестве управляющей информации используются модели трансформации влияния производственных факторов на экономику в процессе становления смарт-промышленности [21]. Далее производится соответствующая подготовка персонала в области IT-технологий по выявленным направлениям смартизации предприятия. При этом механизмами, с помощью которых производится обучение персонала, выступают датчики, контроллеры, актуаторы, широкополосный интернет, базы данных предприятия Big Data и киберфизические CPS-системы, соответствующие направлениям развития "умных" производственных комплексов.

Далее обученный / подготовленный персонал по направлениям развития смарт-производств готов к техническому перевооружению производства, которое реализуется на следующем этапе развития "умных" производственных комплексов в блоке "Техническая подготовка развития производства на базе киберфизических систем" (см. рис. 2). Соответствующая функция выполняется с применением математических моделей производственных процессов / "умных" производств [22], а также датчиков, контроллеров, актуаторов, широкополосного интернета, Big Data и CPS-систем (уже существующих на предприятии и новых).

Результатами технической подготовки развития производственных комплексов на базе киберфизических систем являются возможность создания виртуальной копии производственных процессов в режиме реального времени и управление смарт-предприятием в режиме реального времени. Соответствующая этим выходам информация является входами в блок "Обеспечение безопасности функционирования и развития "умного" производства" и основой для выполнения указанной функции на предприятии с использованием датчиков, контроллеров, актуаторов, CPS-систем, широкополосного интернета и Big Data, а также результатами, которые подаются на выход контекстной диаграммы информационной модели развития "умных" производственных комплексов (см. рис. 2).

В свою очередь, результаты выполнения функции обеспечения безопасности функционирования и развития "умного" производства, которые показаны на рис. 3 стрелкой "Результаты функционирования и развития "умного" производства", подаются в виде результирующей информации на выход контекстной диаграммы информационной модели и в виде входящей информации на блок "Оценка эффективности функционирования и развития смарт-предприятия" для выполнения соответствующей функции. Еще одним входом указанного блока является выход блока "Техническая подготовка развития произ-

водства на базе киберфизических систем", который описывает результаты текущей производственной деятельности до смартизации и обозначен одноименной стрелкой на диаграмме декомпозиции первого уровня детализации (см. рис. 3).

Оценка эффективности функционирования и развития смарт-предприятия производится на основании моделей трансформации влияния производственных факторов на экономику в процессе становления смарт-промышленности [21] и в виде одноименной стрелки на рис. 3 подается на выход соответствующего блока. Кроме того, информация об эффективности функционирования и развития смарт-предприятия является выходом контекстной диаграммы информационной модели развития "умных" производственных комплексов (см. рис. 2).

В связи со сложностью реализации функции, представленной в блоке 4 диаграммы декомпозиции первого уровня детализации, необходимо более подробное представление блока "Техническая подготовка развития производства на базе киберфизических систем" и соответствующая дальнейшая детализация информационной модели развития "умных" производственных комплексов.

Рассмотрим диаграмму декомпозиции второго уровня детализации информационной модели развития "умных" производственных комплексов, а именно блока А4 "Техническая подготовка развития производства на базе киберфизических систем" (рис. 4).

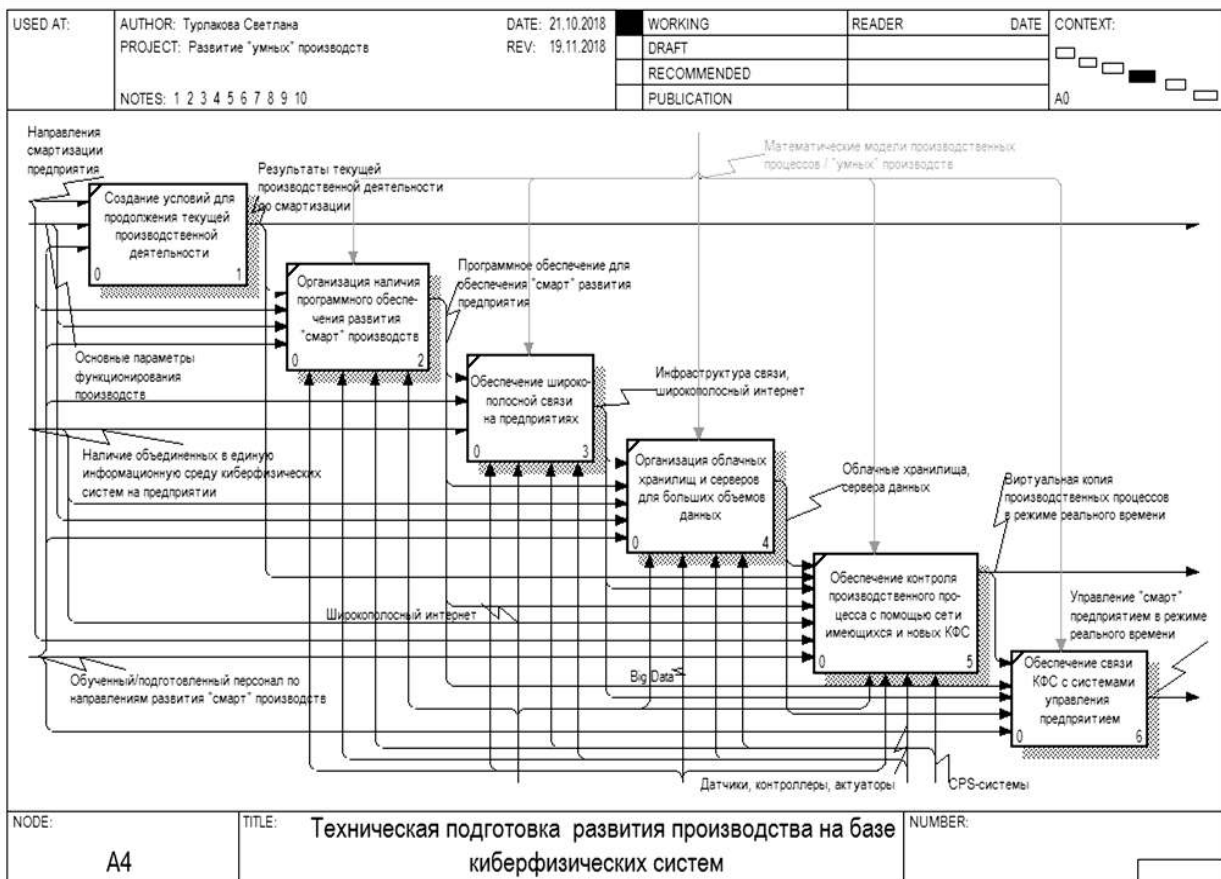
Диаграмма декомпозиции второго уровня детализации информационной модели развития "умных" производственных комплексов содержит шесть функциональных блоков:

"Создание условий для продолжения текущей производственной деятельности";

"Организация наличия программного обеспечения развития смарт-производств";

"Обеспечение широкополосной связи на предприятиях";

"Организация облачных хранилищ и серверов для больших объемов данных";



Составлено автором.

**Рисунок 4. Диаграмма декомпозиции второго уровня детализации информационной модели развития "умных" производственных комплексов. Блок А4 "Техническая подготовка развития производства на базе киберфизических систем"**

"Обеспечение контроля производственного процесса с помощью сети имеющихся и новых КФС";

"Обеспечение связи КФС с системами управления предприятием".

Последовательность выполнения функций, представленных в блоках, соответствует порядковому номеру блока на диаграмме (см. рис. 4).

Входами первого блока "Создание условий для продолжения текущей производственной деятельности" являются информация о направлениях смартизации предприятия, основных параметрах функционирования производств и обученный / подготовленный персонал по направлениям развития смарт-производств. Информа-

ция о результатах текущей производственной деятельности до смартизации является выходом соответствующего блока и подается как входящий информационный поток на блоки "Организация наличия программного обеспечения развития смарт-производств" и "Обеспечение контроля производственного процесса с помощью сети имеющихся и новых КФС". Кроме того, выход является сквозным информационным потоком на рис. 4 (подается на выход диаграммы), который вместе с другими информационными потоками является результатом выполнения функции "Техническая подготовка развития производства на базе киберфизических систем" (см. рис. 3).

Входами блока "Организация наличия программного обеспечения развития смарт-производств" также являются стрелки "Направления смартизации предприятия", "Основные параметры функционирования производств", "Обученный / подготовленный персонал по направлениям развития смарт-производств", которые обеспечивают необходимой информацией и трудовыми ресурсами выполнение соответствующей блоку функции на предприятии.

Управляющей информацией для блока "Организация наличия программного обеспечения развития смарт-производств" являются математические модели производственных процессов / "умных" производств [22]. Программное обеспечение развития смарт-производств должно соответствовать и обеспечивать выполнимость расчетов согласно уровню сложности математических моделей, которые выбраны для описания тех или иных производственных процессов на предприятии или целых производственных комплексов. При этом механизмами реализации рассматриваемой функции будут являться датчики, контроллеры, актуаторы, киберфизические системы (CPS-системы), широкополосный интернет базы знаний (Big Data) "умных" производственных комплексов.

Результат выполнения функции, представленной в блоке 2 на рис. 4, описывает стрелка "Программное обеспечение для обеспечения смарт-развития предприятия". Она является входом для четырех следующих блоков, изображенных на диаграмме, и неотъемлемой частью, обеспечивающей выполнение соответствующих функций в развитии "умных" производственных комплексов, а именно:

"Обеспечение широкополосной связи на предприятиях";

"Организация облачных хранилищ и серверов для больших объемов данных";

"Обеспечение контроля производственного процесса с помощью сети имеющих и новых КФС";

"Обеспечение связи КФС с системами управления предприятием".

Также входами блока "Обеспечение широкополосной связи на предприятиях" являются стрелки "Обученный / подготовленный персонал по направлениям развития смарт-производств" и "Наличие объединенных в единую информационную среду киберфизических систем на предприятии". Так же, как и в предыдущем рассматриваемом блоке, управляющей информацией для обеспечения широкополосной связи на предприятиях являются математические модели производственных процессов / "умных" производств [22], что указывает на необходимость учета характера математических моделей "умных" производственных комплексов в пропускной способности создаваемой сети.

Результатом обеспечения широкополосной связи на предприятиях будут инфраструктура связи и широкополосный интернет "умного" производственного комплекса, что отражено на диаграмме одноименной выходящей стрелкой "Инфраструктура связи, широкополосный интернет" из рассматриваемого блока (см. рис. 4). Эта же стрелка является входящей для четвертого блока диаграммы А4 "Организация облачных хранилищ и серверов для больших объемов данных". Входами соответствующей блоку функции кроме рассмотренных стрелок "Инфраструктура связи, широкополосный интернет" и "Программное обеспечение для обеспечения смарт-развития предприятия" являются стрелки "Наличие объединенных в единую информационную среду киберфизических систем на предприятии", "Основные параметры функционирования производств" и "Обученный / подготовленный персонал по направлениям развития смарт-производств". Входящие стрелки характеризуют необходимые информационно-коммуникационные потоки для организации облачных хранилищ и серверов для больших объемов данных при создании "умных" производственных комплексов. При этом тип и структура таких хранилищ и серверов

ров должны обеспечивать необходимый физический объем памяти и соответствовать математическим моделям производственных процессов / "умных" производств, примеры которых рассмотрены в работе [22]. Этот факт на диаграмме отражен стрелкой по управлению "Математические модели производственных процессов / "умных" производств".

Механизмами, обеспечивающими выполнение функции "Организация облачных хранилищ и серверов для больших объемов данных", выступают стрелки, входящие в соответствующий блок на рис. 4 снизу: "Датчики, контроллеры, актуаторы", "Широкополосный интернет", "Big Data", "CPS-системы".

Выходом блока организация облачных хранилищ и серверов для больших объемов данных и результатом реализации соответствующей функции в рамках развития "умных" производственных комплексов станет создание облачных хранилищ и серверов данных, что на рис. 4 отражено стрелкой "Облачные хранилища, сервера данных". Рассматриваемый информационный поток, помимо выхода для блока 4, является входом для блока 5 "Обеспечение контроля производственного процесса с помощью сети имеющихся и новых КФС". Кроме того, для обеспечения контроля производственного процесса с помощью сети имеющихся и новых киберфизических систем необходимо использовать информацию о результатах текущей производственной деятельности до смартизации, вновь созданные инфраструктуру связи и широкополосный интернет, программное обеспечение для смарт-развития предприятия, объединенные в единую информационную среду киберфизические системы на предприятии, информацию о направлениях смартизации предприятия / производственного комплекса и обученный / подготовленный персонал по направлениям развития смарт-производств. Все вышеперечисленные информационно-коммуникационные связи отражены соответствующими входящими стрелками в блок 5 на диа-

грамме декомпозиции второго уровня детализации информационной модели развития "умных" производственных комплексов (см. рис. 4).

При этом контроль производственного процесса с помощью сети имеющихся и новых киберфизических систем должен обеспечиваться в рамках параметров математических моделей производственных процессов "умных" производств с использованием датчиков, контроллеров, актуаторов, CPS-систем, широкополосного интернета и Big Data, что отражено на рис. 4 соответствующими стрелками-механизмами, входящими в блок снизу.

Выходом блока "Обеспечение контроля производственного процесса с помощью сети имеющихся и новых КФС" является стрелка "Виртуальная копия производственных процессов в режиме реального времени". Виртуальная копия производственных процессов в режиме реального времени также является сквозным выходом диаграммы и входом в последний блок декомпозиции второго уровня детализации информационной модели развития "умных" производственных комплексов – "Обеспечение связи КФС с системами управления предприятием" (см. рис. 4).

Обеспечение связи КФС с системами управления предприятием происходит также в рамках параметров математических моделей производственных процессов "умных" производств, о чем говорит стрелка по управлению сверху (см. рис. 4). Кроме виртуальной копии производственных процессов в режиме реального времени входами для блока 6 на рис. 4 являются "Программное обеспечение для обеспечения смарт-развития предприятия", "Инфраструктура связи, широкополосный интернет", "Облачные хранилища, сервера данных», "Обученный / подготовленный персонал по направлениям развития смарт-производств".

Выполнение функции обеспечения связи киберфизических систем с системами управления предприятием позволит получить на выходе управление смарт-

предприятием в режиме реального времени, что отражено на диаграмме соответствующей стрелкой, выходящей из блока 6 (см. рис. 4). Также стрелка "Управление смарт-предприятием в режиме реального времени" является сквозной для диаграммы второго уровня детализации (см. рис. 4) и изображена как выход из блока 4 "Техническая подготовка развития производства на базе киберфизических систем" (см. рис. 3).

*Выводы.* Разработанная информационная IDEF0-модель развития "умных" производственных комплексов, которая основана на методологии SADT, позволяет получить целостную картину соответствующих процессов на производствах, ключевые системные понятия которой формируют базу будущей информационной системы развития смарт-производств. Структурный подход и, в частности, методология построения SADT-моделей позволяют иллюстрировать функции, выполняемые системой, отношения между данными, а также наиболее полно рассмотреть информационно-коммуникационные связи моделируемых систем. Предложенная модель дает возможность руководству и сотрудникам предприятий получить четкое представление о том, какие данные используются и какие функции выполняются в процессе создания "умных" производственных комплексов.

Применение нотации IDEF0 для моделирования процессов развития "умных" производственных комплексов имеет преимущества относительно наглядного и удобного для восприятия представления структуры процессов, входных и выходных потоков, механизмов и управляющих воздействий, что будет способствовать оперативности и эффективности практического внедрения развития "умных" производственных комплексов. Кроме того, позволяет поводить функциональную декомпозицию процессов развития "умных" производственных комплексов и представить их в виде совокупности иерархически упорядоченных, взаимосвязанных диаграмм.

Формализация в рамках информационной модели процессов оценки потенциала развития "умных" производств, определения направлений развития смарт-производств, подготовки персонала в области IT-технологий, технической подготовки развития производства на базе киберфизических систем, обеспечения безопасности функционирования и развития "умного" производства, оценки эффективности функционирования и развития смарт-предприятия позволяет не только наглядно представить основные этапы развития "умных" производственных комплексов, но и проанализировать влияние различных входных факторов на результаты соответствующих изменений.

Разработанная структурно-функциональная модель информационно-коммуникационного обеспечения реализации основных функций развития "умных" производственных комплексов опирается на модели трансформации влияния производственных факторов на экономику в процессе становления смарт-промышленности, математические модели производственных процессов "умных" производств и учитывает основные параметры их функционирования. С помощью предложенной информационной модели на промышленных комплексах в результате развития смарт-компонентов и объединения в единую сеть промышленных датчиков, контроллеров, актуаторов, киберфизических систем с использованием широкополосного интернета и информационных хранилищ Big Data возможным станет получение виртуальной копии производственных процессов и управление смарт-предприятиями в режиме реального времени для обеспечения эффективности функционирования и развития смарт-производств.

Предложенная модель позволяет в логической, удобной и последовательной форме описать взаимосвязи между функциями управления и основными информационно-коммуникационными связями, механизмами реализации, комплексом математических моделей и подходов к разви-



тию "умных" производственных комплексов.

Информационное обеспечение процессов развития "умных" производственных комплексов в рамках соответствующей IDEF0-модели даёт представление о перечне и взаимосвязи информационных потоков, методов, процессов, механизмов и инструментов информационно-коммуникационного взаимодействия. Особенностью представленного подхода является возможность его адаптации к специфике конкретного смарт-производства. При этом не будет возникать необходимости в привлечении значительных дополнительных финансовых и человеческих ресурсов, так как все функции предусмотрено осуществлять в рамках действующей организационной структуры производственных комплексов, внедряющих изменения в контексте смарт-развития.

Одной из слабых сторон предложенной разработки является то, что основные функции развития "умных" производственных комплексов непосредственно на производстве будут выполняться различными элементами организационной структуры, которые не определены в рамках рассмотренной IDEF0-модели. Кроме того, модель не определяет ответственного за конечный результат развития "умных" производств и тех, кто будет контролировать такое развитие на производстве в целом.

Однако представленный подход создает условия для практического внедрения мер развития "умных" производств в рамках действующей организационной структуры предприятия, не требует привлечения дополнительных ресурсов и позволяет устранить указанные недостатки непосредственно на производствах, которые будут внедрять предложенную модель в практику функционирования. Главное назначение модели заключается в обеспечении информационной поддержки развития "умных" производственных комплексов. Кроме того, рассмотренная информационная модель является основой для

дальнейшей автоматизации процессов развития "умных" производственных комплексов.

Перспективным направлением исследований является внедрение предложенной информационной модели развития "умных" производственных комплексов в практику функционирования и развития промышленных предприятий.

### Литература

1. Вишневський В. П., Вієцька О. В., Гаркушенко О. М., Князєв С. І., Лях О. В., Чекіна В. Д., Череватський Д. Ю. Смарт-промисловість в епоху цифрової економіки: перспективи, напрями і механізми розвитку: монографія; В. П. Вишневський (заг. ред.). Київ: НАН України, Ін-т економіки пром-сті, 2018. 192 с.

2. Терновский О.А. Информационно-коммуникационные технологии в системе подготовки персонала промышленного предприятия. *Инженерный вестник Дона*. 2015. №1 (2). URL: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n1p2y2015/2774> (дата обращения: 20.09.2018).

3. Крылов А. Н. Коммуникационный менеджмент. *Теория и практика взаимодействия бизнеса и общества*. Изд. 2-е. М.: Икар, 2015. 352 с.

4. Столяренко А. В., Данильченко А. А. Применение информационно-коммуникационных технологий в деятельности предприятий туристской сферы. *Современные научные исследования и инновации*. 2017. № 1. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2017/01/77660> (дата обращения: 23.09.2018).

5. Маклаков С. В. Моделирование бизнес-процессов с AllFusion Process Modeler (BPwin 4.1). М.: ДИАЛОГ\_МИФИ, 2004. 240 с.

6. Kaltjob P. *Mechatronic Systems and Process Automation*. Boca Raton: CRC Press, 2018. 447 p. doi: <https://doi.org/10.4324/9781351248594>

7. Gernhardt B., Vogel T., Hemmje M. *Knowledge-Based Production Planning for Industry 4.0*. Springer-Verlag GmbH Germa-

ny: Hoppe et al. (eds.), Semantic Applications. 2018. T. 181. P. 181-202. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-662-55433-3\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-662-55433-3_13)

8. Li Da Xu, Eric L. Xu & Li L. Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*. 2018. 56:8. P. 2941-2962. doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>

9. Álvares A. J., Santos de Oliveira L. E., Espindola Ferreira J. C. Development of a Cyber-Physical framework for monitoring and teleoperation of a CNC lathe based on MTconnect and OPC protocols. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 2018. 31 (11). P. 1049-1066. doi: <https://doi.org/10.1080/0951192X.2018.1493232>

10. Cachada A., Pires F., Barbosa J., Leitão P., Calà A. Petri nets Methodology for the Design and Control of Migration Processes Towards Industry 4.0. 2018. *2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS)*. P. 540-545. doi: <https://doi.org/10.1109/ICPHYS.2018.8390763>

11. Волгин А. В., Гусев И. В., Куликов С. В., Манцеров С. А., Панов А. Ю. Создание единого информационного пространства машиностроительного предприятия на основе "облачных" технологий. *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2012. Т. 8, № 6. С. 44-47.

12. Баронов В. В., Калянов Г. Н., Попов Ю. Н., Титовский И. Н. Информационные технологии и управление предприятием. М.: Компания АйТи, 2009. 328 с.

13. Vallespir V., Ducq Y. Enterprise modelling: from early languages to models transformation. *International Journal of Production Research*. 2018. 43(20). P. 2878-2896. doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1418985>

14. Lakhoua M. N., Salem J. B., El Amraoui L. The Need For System Analysis Based On Two Structured Analysis Methods SADT And SA/RT A CTA Technica Corviniensis. *Bulletin of Engineering*. 2018. Vol. XI (1). P. 113-117.

15. Cheng-Leong A., Li Pheng K., Keng Leng G. R. IDEF\*: A comprehensive modeling methodology for the development of manufacturing enterprise systems. *International Journal of Production Research*. 1999. 37 (17). P. 3839-3858. doi: <https://doi.org/10.1080/002075499189790>

16. Nurdiansyah Y., Wijayanto F., Firdaus. The Design of E-Commerce System in the Shrimp Paste Industry using the Method of Structured Analysis and Design Technique (SADT) to Increase Marketing. 2017. *MATEC Web of Conferences*. 164. P. 7-15. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201816401049>

17. Марка Д. А., МакГоуэн К. Методология структурного анализа и проектирования. М.: МетаТехнология, 1993. 240 с.

18. Van Erven G., Silva W., Carvalho R., Holanda M. GRAPHED: A Graph Description Diagram for Graph Databases. In: Rocha Á., Adeli H., Reis L.P., Costanzo S. (Eds.) Trends and Advances in Information Systems and Technologies. WorldCIST'18 2018. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2018. 745. Springer, Cham. P. 1141-1151. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-777030\\_111](https://doi.org/10.1007/978-3-319-777030_111)

19. De Sousa V. M., Del Val Cura L. M. Logical Design of Graph Databases from an Entity-Relationship Conceptual Model. In Proceedings of the 20th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services (iiWAS2018). 2018. ACM, New York, NY, USA. P. 183-189. doi: <https://doi.org/10.1145/3282373.3282375>

20. Гаркушенко О. Н. Информационно-коммуникационные технологии в эпоху становления смарт-промышленности: проблемы определения и условия развития. *Економіка промисловості*. 2018. 2 (82). С. 50-75. doi: <http://doi.org/10.15407/econindustry2018.02.050>

21. Madykh A., Okhten A., Dasiv A. Analysis of the world experience of economic and mathematical modeling of smart enterprises. *Економіка промисловості*. 2017.

4(80). С. 19-46. doi: doi.org/10.15407/econindustry2017.04.019

22. Тарасов А. Ф., Турлакова С. С. Математическое моделирование передовых машиностроительных технологий для смарт-предприятий: обзор подходов и пути внедрения. *Економіка промисловості*. 2018. 3(83). С. 57-75. doi: doi.org/10.15407/econindustry2018.03.055

23. Jeona B., Suh S.-H. Design Considerations and Architecture for Cooperative Smart Factory: MAPE/BD Approach. *Procedia Manufacturing*. 2018. 26. P. 1094-1106. doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.146>

24. Salguero J., Batista M., Fernández-Vidal S. R. Accelerating the Adoption of Industry 4.0 Supporting Technologies in Manufacturing Engineering Courses. *Materials Science Forum*. 2017. 903. P. 100-111. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.903.100>

25. Зиновьев В. В., Кочетков В. Н. Опыт имитационного моделирования сложных производственных систем. *Вычислительные технологии*. 2008. Специальный выпуск № 5. Т. 13. С. 51-55. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/opyt-imitatsionnogo-modelirovaniya-slozhnyh-proizvodstvennyh-sistem> (дата обращения: 30.01.2019).

26. Posada J. et al. Visual Computing as a Key Enabling Technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet. *IEEE Computer Graphics and Applications*. 2015. 35 (2). P. 26-40. doi: <https://doi.org/10.1109/MCG.2015.45>

27. Дмитриев В. М., Ганджа Т. В. Принцип формирования многоуровневых компьютерных моделей SCADA-систем для управления сложными технологическими объектами. *Моделирование систем*. 2013. № 2 (36). С. 24-35.

## References

1. Vishnevsky, V. P., Vietska, O. V., Garkushenko, O. M., Kniaziev, S. I., Liakh, O. V., Chekina, V. D., & Cherevatskyi D. Yu. (2018). *Smart industry in the era of digital economy: prospects, directions and mecha-*

*nisms of development*. V.P. Vishnevsky (Ed.). Kiev: NAS of Ukraine, Institute of Industrial Economics [in Ukrainian].

2. Ternovskiy, O. A. (2015). Information and communication technologies at the system of personnel training of an industrial enterprise. *Engineering herald of Don*, № 1 (2). Retrieved from <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2774> [in Russian].

3. Kryilov, A. N. (2015). *Communication management. Theory and practice of interaction between business and society*. (2<sup>nd</sup> ed.). Moscow: Ikar [in Russian].

4. Stolyarenko, A. V., & Danilchenko, A. A. (2017). The use of information and communication technologies at the activities of tourist enterprises. *Modern scientific research and innovation*, 1. Retrieved from <http://web.snauka.ru/issues/2017/01/77660> [in Russian].

5. Maklakov, S. V. (2004). *Business process modeling with AllFusion Process Modeler (BPwin 4.1)*. Moscow: DIALOG\_MIFI [in Russian].

6. Kaltjob, P. (2018). *Mechatronic Systems and Process Automation*. Boca Raton: CRC Press. 447 p. doi: <https://doi.org/10.4324/9781351248594>

7. Gernhardt, B., Vogel, T., & Hemmje M. (2018) Knowledge-Based Production Planning for Industry 4.0. Springer-Verlag GmbH Germany: Hoppe et al. (eds.), *Semantic Applications*, T. 181, pp. 181-202. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-55433-3\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-662-55433-3_13)

8. Li Da Xu, Eric L. Xu, & Ling Li (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56:8, pp. 2941-2962. doi: [10.1080/00207543.2018.1444806](https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806)

9. Álvares, A. J., Santos de Oliveira, L. E., & Espindola Ferreira, J. C. (2018). Development of a Cyber-Physical framework for monitoring and teleoperation of a CNC lathe based on MTconnect and OPC protocols. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 31 (11), pp. 1049-1066. doi: <https://doi.org/10.1080/0951192X.2018.1493232>

10. Cachada, A., Pires, F., Barbosa, J., Leitão, P., & Calà, A. (2018). Petri nets Methodology for the Design and Control of Migration Processes Towards Industry 4.0. *2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS)*, pp. 540-545. doi: <https://doi.org/10.1109/ICPHYS.2018.8390763>
11. Volgin, A. V., Gusev, I. V., Kulikov, S. V., Mantserov, S. A., & Panov, A. Yu. (2012). Creation of a single information space of a machine-building enterprise based on cloud technologies. *Bulletin of the Voronezh State Technical University* (Vol. 8), 6, pp. 44-47 [in Russian].
12. Baronov, V. V., Kalyanov, G. N., Popov, Yu. N., & Titovskiy, I. N. (2009). *Information technology and enterprise management*. Moscow: Kompaniya AiTi [in Russian].
13. Vallespir, B., & Ducq, Y. (2018). Enterprise modelling: from early languages to models transformation. *International Journal of Production Research*, 43(20), pp. 2878-2896. doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1418985>
14. Lakhoua, M. N., Salem, J. B., & El Amraoui, L. (2018). The Need For System Analysis Based On Two Structured Analysis Methods SADT And SA/RT A CTA Technica Corviniensis. *Bulletin of Engineering*, XI (1), pp. 113-117.
15. Cheng-Leong, A., Li Pheng, K., & Keng Leng, G. R. (1999). IDEF\*: A comprehensive modelling methodology for the development of manufacturing enterprise systems. *International Journal of Production Research*, 37 (17), pp. 3839-3858. doi: <https://doi.org/10.1080/002075499189790>
16. Nurdiansyah, Y., Wijayanto, F., & Firdaus (2017). The Design of E-Commerce System in the Shrimp Paste Industry using the Method of Structured Analysis and Design Technique (SADT) to Increase Marketing. *MATEC Web of Conferences*, 164, pp. 7-15. doi: <https://doi.org/10.1051/mateccconf/201816401049>
17. Marka, D. A., & MakGouen, K. (1993). *Methodology of structural analysis and design*. Moscow: MetaTechnology [in Russian].
18. Van Erven, G., Silva, W., Carvalho, R., & Holanda, M. (2018). GRAPHED: A Graph Description Diagram for Graph Databases. In: Rocha Á., Adeli H., Reis L.P., Costanzo S. (eds) *Trends and Advances in Information Systems and Technologies. WorldCIST'18 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer, Cham, 745, pp. 1141-1151. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-77703-0\\_111](https://doi.org/10.1007/978-3-319-77703-0_111)
19. De Sousa, V. M., & Del Val Cura, L. M. (2018). Logical Design of Graph Databases from an Entity-Relationship Conceptual Model. In *Proceedings of the 20th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services (iiWAS2018)*. ACM, New York, NY, USA. pp. 183-189. doi: <https://doi.org/10.1145/3282373.3282375>
20. Garkushenko, O. N. Information and communication technologies in the era of the smart industry development: problems of definition and conditions of development. *Econ. promisl.*, 2 (82), pp. 50-75. doi: <http://doi.org/10.15407/econindustry2018.02.050> [in Russian].
21. Madykh, A., Okhten, A., & Dasiv, A. (2017). Analysis of the world experience of economic and mathematical modeling of smart enterprises. *Econ. promisl.*, 4(80), pp. 19-46. doi: <http://doi.org/10.15407/econindustry2017.04.019>
22. Tarasov, O. F., & Turlakova, S. S. (2018). Mathematical modelling of advanced engineering technologies for smart enterprises: an overview of approaches and ways of implementation. *Econ. promisl.*, 3(83), pp. 57-75. doi: <http://doi.org/10.15407/econindustry2018.03.055> [in Russian].
23. Jeona, B., & Suh, S.-H. (2018). Design Considerations and Architecture for Cooperative Smart Factory: MAPE/BD Approach. *Procedia Manufacturing*, 26, pp. 1094-1106. doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.146>
24. Salguero, J., Batista, M., & Fernández-Vidal, S. R. (2017). Accelerating the

Adoption of Industry 4.0 Supporting Technologies in Manufacturing Engineering Courses. *Materials Science Forum*, 903, pp. 100-111. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.903.100>

25. Zinovev, V. V., Kochetkov, V. N. (2008). Experience of simulation modeling of complex production systems. *Computational Technologies*, 5, (Vol. 13), pp. 51-55. Retrieved from <http://cyberleninka.ru/article/n/opyt-imitatsionnogo-modelirovaniya-slozhnyh-proizvodstvennyh-sistem> [in Russian].

26. Posada, J. et al. (2015). Visual Computing as a Key Enabling Technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 35 (2), pp. 26-40. doi: <https://doi.org/10.1109/MCG.2015.45>

27. Dmitriev, V. M., & Gandzha, T. V. (2013). The principle of formation of multi-level computer models of SCADA-systems for managing complex technological objects. *Modeling systems*, 2(36), pp. 24-35 [in Russian].

**Світлана Сергіївна Турлакова,**

*канд. екон. наук, доцент*

Інститут економіки промисловості НАН України  
03057, Україна, м. Київ, вул. М. Капніст, 2.

E-mail: [svetlana.turlakova@gmail.com](mailto:svetlana.turlakova@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-3954-8503>

## ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗВИТКУ "РОЗУМНИХ" ВИРОБНИЦТВ

Установлено, що ускладнення технологій виробництва смарт-промисловості та повсюдне впровадження кіберфізичних систем у виробничі процеси потребує переходу до використання відповідного інформаційного, програмного, технічного інструментарію. Одним із найважливіших факторів розвитку "розумних" виробництв визначено інформаційну комунікацію на виробництві, а інформаційно-комунікаційні технології – тим інструментом, який дозволяє найбільш ефективно взаємодіяти на всіх рівнях виробництва й управління. Позначено першочерговість завдання розробки відповідних формальних і системних інструментів використання інформаційно-комунікаційних технологій розвитку "розумних" виробництв у рамках впровадження концепції Industry 4.0 для ефективної взаємодії на всіх рівнях виробництва й управління.

Проаналізовано сучасні підходи до створення єдиного інформаційного простору промислових комплексів для визначення методології, яка дозволяє найбільш повно розглянути інформаційно-комунікаційні зв'язки модельованих систем. Серед інших виокремлено структурний підхід. На основі методології SADT розроблено інформаційну IDEF0-модель розвитку "розумних" виробництв, яка дозволяє отримати цілісну картину відповідних процесів. Запропонована модель надає можливість у логічній, зручній і послідовній формі описати взаємозв'язки між функціями управління та основними інформаційно-комунікаційними зв'язками, механізмами реалізації, комплексом математичних моделей і підходів розвитку "розумних" виробничих комплексів. Головне призначення моделі полягає в забезпеченні інформаційної підтримки розвитку "розумних" виробничих комплексів. Крім того, запропонована інформаційна модель є основою для подальшої автоматизації процесів розвитку "розумних" виробництв. Окреслено перспективні напрями досліджень у рамках впровадження запропонованої інформаційної моделі розвитку "розумних" виробничих комплексів у практику функціонування та розвитку промислових підприємств.

*Ключові слова:* інформаційно-комунікаційні технології, розвиток, "розумне" виробництво, структурний підхід, інформаційна модель, IDEF0-модель, промисловість, Industry 4.0.

**Svetlana S. Turlakova,**

*PhD in Economics*

Institute of Industrial Economics of the NAS of Ukraine

03057, Ukraine, Kyiv, 2 M. Kapnist Str.

E-mail: svetlana.turlakova@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-3954-8503>

## **INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES FOR THE DEVELOPMENT OF "SMART" INDUSTRIES**

It has been determined that the increasing complexity of the smart industry's production technologies and the widespread introduction of cyber-physical systems into manufacturing processes requires a transition to the use of appropriate information, software and technical tools. One of the most important factors in the development of "smart" industries is the informational communication at the enterprise, and information and communication technologies are the tool that allows the most effective interaction at all levels of production and management. The priority of the task of elaboration appropriate formal and system tools for using information and communication technologies for developing smart industries as part of the implementation of the Industry 4.0 concept for effective interaction at all levels of manufacturing and management are indicated.

The analysis of up-to-date approaches to the creation of a single information space of industrial complexes to determine the methodology, which allows to consider the information and communication links of the simulated systems in more details, is made. Among others, the structural approach is highlighted. Based on the SADT methodology, an information IDEF0-model for the development of "smart" industries has been developed, which provides a holistic picture of the relevant processes. The proposed model allows describing the relationship between management functions and the main information and communication links, implementation mechanisms, the set of mathematical models and approaches for the development of "smart" industrial complexes in a logical, convenient and consistent form. The main purpose of the model is to provide informational support for the development of "smart" industrial complexes. In addition, the considered informational model is the basis for further automation of the development processes of "smart" industries. Promising areas of research have been outlined as part of the implementation of the offered informational model for the development of "smart" industrial complexes in the practice of functioning and development of industrial enterprises.

*Keywords:* information and communication technologies, development, "smart" production, structural approach, informational model, IDEF0-model, industry, Industry 4.0.

JEL: C60, C63, L00, L60, O30.

*Форматы цитирования:*

Турлакова С. С. Информационно-коммуникационные технологии развития "умных" производств. *Экономика промышленности*. 2019. № 1(85). С. 101-123. doi: <http://doi.org/10.15407/econindustry2019.01.101>

Turlakova, S. S. (2019). Information and communication technologies for the development of "smart" industries. *Econ. promisl.*, 1(85), pp. 101-123. doi: <http://doi.org/10.15407/econindustry2019.01.101>

*Представлена в редакцию 19.02.2019 г.*