DOI: 10.25728/mlsd.2022.1148

КОНЦЕПЦИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОГО И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦИФРОВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В ИНФРАСТРУКТУРЕ ВУЗА

Лучков А.Г., Королев А.С., Кодабашян Л.С.
РТУ МИРЭА,
Россия, г. Москва, проспект Вернадского, д. 78
luchkov@mirea.ru, korolev@mirea.ru, kodabashyan@mirea.ru

Аннотация: в докладе представлена концепция организационно-методического и инструментального обеспечения цифрового предприятия в инфраструктуре вуза. Проведен анализ альтернативных вариантов концепций. Представлены такие артефакты организационно-методического обеспечения цифрового предприятия, как матрица компетенций, модель деятельности, организационная структура, модель организации разделения функций в проектной команде.

Ключевые слова: архитектура предприятия, цифровое производство, индустрия 4.0, системная инженерия.

Введение

Согласно INCOSE Vision 2035 [1] в ближайшем будущем будут развиваться технологии цифровой коммуникации для оптимизации соответствующих процессов с целью более эффективного проектирования, создания и обслуживания инженерных изделий. Такие технологии получили название «цифровые нити» (Digital Thread). Также будет набирать обороты развитие моделе-ориентированной системной инженерии (MBSE), являющейся ключевой составляющей виртуализации разработки сложных систем. При этом, если в настоящее время строятся, большей частью, индивидуальные модели для каждого проекта внутри компании и повторное использование моделей, особенно на ранних этапах проектирования и верификации проекта, является ограниченным, то в будущем будут приходить к виртуальным пространствам глобального сотрудничества, базирующимся на облачных технологиях, где моделирование предоставляется как услуга в рамках высокопроизводительной вычислительной инфраструктуры.

Эти тренды необходимо учитывать на современных технологичных предприятиях, где надо создавать единую экосистему инженерной и управленческой деятельности. Такая экосистема предполагает, в том числе, наличие разделяемых системных моделей, которые рассматриваются как основной информационный продукт, поддерживающий принятие управленческих и инженерных решений на протяжении полного жизненного цикла (ЖЦ) создаваемых систем.

Сказанное выше подчеркивает, что важным аспектом обучения современного инженера является работа в единой цифровой среде проектирования, и организация такой инфраструктуры в вузах является актуальной задачей. Есть ряд зарубежных и отечественных статей, где подчеркивается важность интеграции дисциплин учебного плана с практиками инженерной деятельности на стадиях ЖЦ систем и обсуждаются разные организационно-методические и технические механизмы такой интеграции [2-4]. При этом на практике подобный вопрос решается, к сожалению, зачастую в технократической манере. То есть многие люди ошибочно проводят аналогию единой цифровой среды проектирования с конкретными инструментами PLM. Это несет за собой отрицательные последствия, так как ориентирует современного инженера в основном на техническую работу, и теряется большой пласт организационно-методической работы, включающей в себя организацию команд, формирование единого понятийного аппарата и единых правил работы, системное видение проектируемого объекта, рассмотрение его не только в области решений, но и в области проблем, использование практик анализа компромиссных решений при выборе альтернативных вариантов в процессе проектирования и другие подобные практики из арсенала современной системной инженерии.

Очевидна потребность в интеграции современных подходов создания сложных технических систем с целью повышения эффективности работы команд инженеров на разных стадиях ЖЦ изделия.

В этой работе авторы представляют свой опыт формирования организационно-методического и инструментального обеспечения цифрового предприятия в инфраструктуре вуза, позволяющего решать указанные выше задачи.

1 Информационно-методическое обеспечение цифрового предприятия

1.1Описание проблемы

В качестве объекта исследования выступает процесс обучения студентов вуза умениям и навыкам работы в командной, междисциплинарной среде, имитирующей среду реального предприятия, при создании сложного инженерного изделия от концепции до прототипирования. В результативности этого процесса заинтересованы следующие субъекты.

St.1. Кафедра вуза (роль заказчика).

St.2. Студенты/слушатели (роль пользователя).

St.3. Преподаватель (роль пользователя).

St.4. Дирекция института (роль финансиста).

St.5. Ректорат вуза (роль финансиста).

St.6. Предприятие-работодатель (роль потребителя выпускников).

St.7. Минобрнауки РФ (роль регулятора).

St.8. Другие вузы (роль партнера в обучении).

St.9. Предприятие-производитель PLM (роль поставщика).

St.10. Экспертные сообщества (роль эксперта предметной области).

Можно обратить внимание на следующие ключевые проблемы, связанные с заинтересованными сторонами и относящиеся к сформулированному выше процессу.

Pr.1. Несоответствие компетенций выпускников требованиям современного предприятия в части организации работ, управления работами, применения на практике современных методов инженерии сложных изделий.

Pr.2. Неспособность выпускников выполнять производственные задачи из-за отсутствия обучения на основе реальных практических кейсов.

Pr.3. Неспособность работать в кросс-функциональных командах.

Цели, которые можно поставить при решении перечисленных проблем, могут выглядеть следующим образом.

G.1.Увеличить по окончанию обучения количество выпускников, способных. работать в области современной системной инженерии.

G.2.Увеличить количество выпускников, способных работать в кросс-функциональных командах.

G.3. Улучшить мониторинг выполнения практических заданий студентами.

G.4. Увеличить количество выпускников, способных работать в едином информационном пространстве предприятий.

G.5. Увеличить кадровую обеспеченность предприятий-партнеров.

При этом возможны следующие ограничения.

Ctr.1. Бюджет организации.

Ctr.2. Исключить зарубежный инструментарий.

Ctr.3. Количество обучающихся в год.

Ctr.4. Имеющаяся сетевая инфраструктура.

Ctr.5. Часть обучения в удаленном формате.

По результатам выполненного анализа заинтересованных сторон, проблем, целей и ограничений можно сформировать список требований заинтересованных сторон по отношению к усовершенствованию процесса обучения. Он будет выглядеть следующим образом.

StN.1. Кафедра хочет улучшить подготовку квалифицированных кадров, владеющих всем комплексом современных технологий.

StN.2. Кафедра хочет улучшить мониторинг выполнения практических заданий студентами.

StN.3. Кафедра хочет интегрировать в образовательный процесс современные подходы создания сложных систем.

StN.4. Предприятие хочет получить кадры, способные работать на разных стадиях ЖЦ изделия.

StN.5. Кафедра хочет научить выпускников владеть навыками работы в едином информационном пространстве предприятий.

1.2 Анализ альтернативных вариантов

Альтернативными варианты концепций решений, при помощи которых можно было бы удовлетворить сформированные требования заинтересованных сторон, приведены ниже:

1. Модернизировать процесс обучения путем максимального внедрения практик на реальных производствах и найма сотрудников предприятий в преподавательский состав.

2. Закупка и развертывание типовой инфраструктуры.
3. Разработка собственного организационно-методического и инструментального обеспечения цифрового предприятия в инфраструктуре вуза.

Сводная таблица приоритетов представлена ниже (см. табл.1). Таблица представлена в упрощенном ключе и призвана только отразить суть подхода. Ряд факторов может быть дополнительно конкретизирован, в частности качество обучения можно представить по отдельным блокам компетенций, относящихся к организационно-управленческим, методическим и техническим знаниям, умениям и навыкам.

Таблица 1. Влияющие факторы на выбор концепции

Фактор		**Вес**
Стоимость		35
	Стоимость разработки, закупки	20
	Стоимость развертывания и сопровождения	15
Качество обучения		55
	Процент усвоения материала при получении компетенций, относящихся к цифровому производству	35
	Время адаптации при выходе на работу	20
Массовость обучения		10
	Количество обучающихся одновременно	10
Сумма		100

Для каждого фактора определялась функция полезности, по которой сравнивались альтернативные концепции. Далее методом взвешенных сумм производилась оценка альтернативных вариантов интегрально по всем влияющим факторам. Проводился также анализ чувствительности путем добавления дополнительного фактора «время адаптации процесса обучения для нового производственного процесса» и изменений в весах существующих критериев.

Перспективным выбором выглядит третий вариант, заключающийся в разработке собственного обеспечения цифрового предприятия. Реализация этого варианта позволит, в том числе, привлекать в преподавательский состав сотрудников предприятий с аналогичным инструментарием, а также интегрировать ряд организационных фреймворков с имеющимися шаблонами проектирования на производстве.

При разработке собственного обеспечения цифрового предприятия в рамках вуза, по опыту авторов, необходимо решить следующие вопросы относительно такого предприятия:

4. Определить источники целеполагания, компетенций и ресурсов при выполнении постановок задач на выполнение работ.
5. Определить источники компетенций и ресурсов по непосредственной организации выполнения работ в рамках проектов.
6. Определить источники компетенций и ресурсов необходимых для приемки результатов выполнения работ (промежуточных и окончательных).
7. Определить источники экспертизы предметной области при поставленных в рамках виртуального предприятия задач.
8. Определить источники ресурсов для приобретения материально-технического обеспечения (МТО), необходимого для выполнения работ в рамках поставленных задач.
9. Определить источники ресурсов для непосредственного выполнения поставленных задач.

1.3 Описание организационно-методического обеспечения цифрового предприятия в инфраструктуре вуза

Организационно-методическое обеспечение цифрового предприятия в инфраструктуре вуза может включать в себя следующие компоненты:

- Матрицу компетенций, привязанных к инженерной деятельности на стадиях ЖЦ технических систем.
- Учебный план с дисциплинами, реализующими необходимые компетенции.
- Квалификационные требования к преподавателям, реализующим дисциплины.

- Учебники и методические пособия для выполнения практических и лабораторных работ по дисциплинам.
- Оргструктуру кафедры в соответствии с производственными функциями виртуального предприятия.
- Методическое обеспечение для преподавательского состава (аналог должностной инструкции).
- Концепция управления предприятием (стратегия, дорожная карта, методы контроля достижения целей).

В данном материале мы не будем касаться каждого из них, опишем лишь с определенной степенью подробности представляющие, как нам кажется, интерес в проблемном слое, матрицу компетенций и реализующую виртуальное предприятие оргструкутуру.

Матрица компетенций отражает суть увязки процесса обучения с типовой инженерной деятельностью, проводимой на стадиях ЖЦ технических систем. Формулировки видов инженерной деятельности авторы брали из таких источников как [5,6]. Формулировки компетенций отражают трудовые функции профстандарта [7] и положения образовательных стандартов по направлениям 27.03.03 и 27.04.04 «Системный анализ и управление». При этом предполагается, что выпускники этих направлений подготовки так или иначе будут связаны в своей профессиональной деятельности с разработкой автоматизированных систем.

Разработка организационной модели виртуального предприятия проводилась исходя из следующих предположений:

1. В рамках вуза на начальной стадии оптимально будет выполнять учебные проекты по продолжительности совпадающие с периодами обучения. Поскольку в противном случае представляется сложностью организация передачи компетенций между «поколениями» разработчиков.
2. Наиболее приемлемый способ организации непосредственного процесса выполнения образовательных проектов – формирование продуктовых команд, ориентированных на достижение значимых результатов под контролем специалиста предприятия партнера или представителя экспертного сообщества в роли «Владельца продукта». Поскольку привлечение дополнительной экспертизы предметной области при ограниченном финансировании затруднено, а роль «Владельца продукта», согласно [8], заключается в определении «Что именно должно быть получено в результате».
3. Поддержку информационной среды виртуального предприятия следует осуществлять за счет привлечения к деятельности кафедры участников экспертного сообщества и предприятий партнеров. Поскольку данные заинтересованные стороны имеют явные интересы в обеспечении качества образовательного процесса, компетенции в области поддержки распространенных инструментов поддержки информационной среды предприятия либо же способны поставить для сотрудника кафедры задачу на создание ИТ-сервиса и принять результат ее выполнения.
4. При организации МТО учебных проектов следует применить комплексный подход, с учетом имеющихся ресурсов кафедры, действующих направлений развития и программ финансирования со стороны Минобрнауки, доступных средств предприятий-партнеров. Поскольку таким образом возможно снизить индивидуальные риски и затраты всех обладающих материальными и финансовыми ресурсами заинтересованных сторон.
5. В связи с вероятным превышением бюджета ресурсов, организация изготовления спроектированных решений, их интеграция, пуско-наладка и испытания проводятся вне рамок учебного процесса предприятиями-партнерами или смежными кафедрами, при наличии соответствующих возможностей в рамках образовательного процесса кафедры-партнера.

Таким образом в рамках рассматриваемого примера образовательный процесс может быть поставлен на перечне этапов ЖЦ интересующих классов систем, который представлен в строках табл.2. Компетенции выпускника приведены по столбцам в той же таблице.

Как видно из представленной таблицы получение требуемых образовательной программной компетенций возможно по нескольким траекториям. Для их определения необходимо сопоставить приемлемые варианты выполнения проектов с некоторым способом разделения функций команды с матрицей компетенций.

Также, из данной матрицы очевидно, что существуют «узкие места» в получении компетенций в рамках соответствующих видов проектных работ. Риски несоответствия необходимого объема работ

в рамках проекта и требуемого объема практики для получения достаточной компетенции прорабатываются в соответствии с приоритетом образовательного процесса.

Таблица 2. Ограниченный контекст деятельности цифрового предприятия

Стадии ЖЦ/ Компетенции	**Разрабатывает и применяет методы функционального анализа систем при создании сложных технических объектов**	**Разрабатывает методы моделирования, анализа и технологии синтеза процессов и систем**	**Принимает научно-обоснованные решения в процессах анализа и синтеза систем**	**Выполняет эксперименты по проверке корректности и эффективности решений при создании систем**	**Разрабатывает объектные, структурные и документные модели элементов АСУП**	**Применяет методы проектирования автоматизированных систем**	**Формирует технические задания и технико-экономические обоснования по созданию АСУП и ее подсистем**	**Планирует реализацию задач в зоне своей ответственности с учетом имеющихся ресурсов и ограничений, действующих правовых норм**
Выявление проблемы			+				+	
Идентификация нужд заинтересованных сторон							+	
Сценарий использования	+							
Описание функционирования	+					+	+	
Оценка возможностей и решение о создании			+			+		
Показатели МОЕ и МОР		+						
Планирование деятельности								+
Анализ функционирования	+							
Исходные требования							+	
Исследование компромиссов		+	+	+				
Синтез предварительных системных решений					+			
Предварительная оценка проектных альтернатив				+				+
Проектирование подсистем/компонентов						+		
Исследование компромиссов и выбор альтернатив			+	+				
Разработка технических моделей и прототипов		+		+	+			
Верификация процессов производства и изготовления								+
Проверка и испытания проектно-конструкторских решений				+				
Планирование производства и работа с поставщиками (управление проектом)								+

2 Модель организационной структуры цифрового предприятия

2.1 Перечень доступных ресурсов кафедры для организации виртуального предприятия

При рассмотрении способа организации виртуального предприятия следует учитывать доступную ресурсную базу и анализировать возможные варианты привлечения дополнительных ресурсов. В рамках работы был проведен анализ доступных ресурсов и обозначены исходные доступные ресурсы в рамках действующей организационной модели на следующих основаниях:

1. Кадровые ресурсы – на основании анализа организационно-штатной структуры кафедры и договоров с предприятиями-партнерами, а также заинтересованными экспертными сообществами.
2. Ресурсы ИТ – на основании анализа ведомостей инвентаризации информационных ресурсов кафедры и вуза.
3. Ресурсы в части технологического обеспечения – на основании анализа ведомостей инвентаризации МТО кафедры.

Первоначальная оценка ресурсов и консолидация сведений производилась в формате общей концептуальной модели Archimate. Пример описания представлен на рис. 1

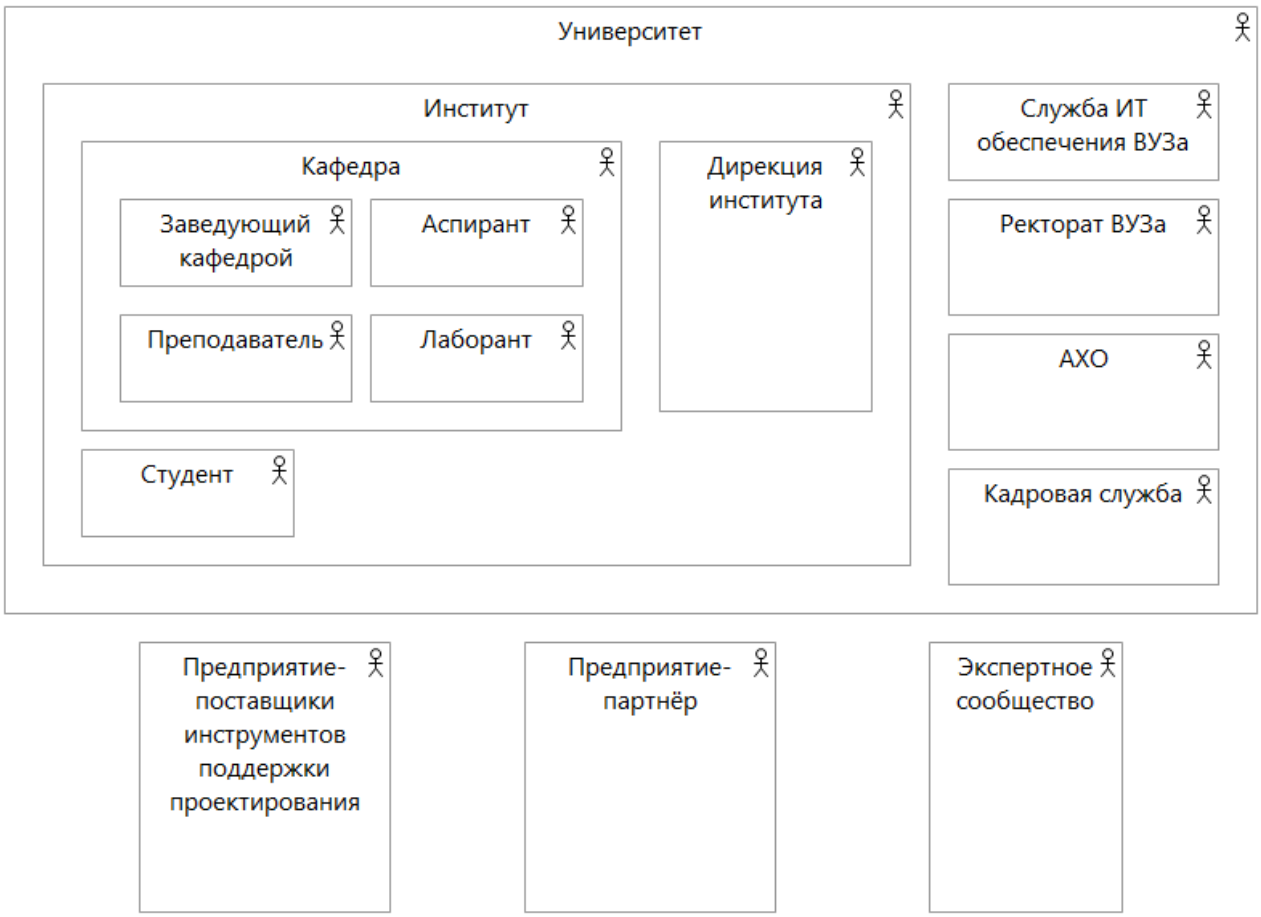

Рис. 1. Концептуальная модель организации цифрового предприятия

2.2 Модель организации разделения функций в проектной команде

Выполнение каждого отдельно взятого проекта возможно только при наличии достаточных ресурсов по каждому из обозначенных аспектов. В рамках рассматриваемого примера предполагается, что целеполагание в рамках учебных проектов, обеспечение предметными и управленческими компетенциями при выполнении проекта берут на себя предприятия-партнеры и преподаватели кафедры. Компетенции в области обеспечения современной среды инженерной деятельности предоставляют экспертное сообщество и предприятия-партнеры.

Непосредственное выполнение проектов обеспечивается за счет распределения задач на студентов и аспирантов кафедры.

Контроль качества выполнения поставленных задач проекта и образовательного процесса выполняется внешним по отношению к команде проекта аудитором, на основании плана прохождения образовательных траекторий.

За основную модель разделения обязанностей на стадиях жизненного цикла указанных в табл. 2 можно принять модель технических процессов и процессов технического управления в стандарте ISO 15288 (переведен как ГОСТ 57193).

При этом очевидно, что поддержать ресурсами все эти процессы в рамках цифрового предприятия вуза на практике крайне затратно и с высокой вероятностью лишено смысла в рамках образовательного процесса поскольку:

- Описываемые процессы, в том числе, являются зонами ответственности вуза как системы, обеспечивающей образовательный процесс (например, процессы соглашения, большинство процессов организационного обеспечения);
- Требует значительных вложений сил и средств, ограниченно доступных в рамках образовательных проектов (например, такие процессы технического управления как «управление информацией», «оценка и контроль проекта» или процессов «реализации» (изготовления), «комплексирования» (интеграции)).
- Выходит за рамки требований образовательных компетенций. Как например, процессы «передача», «функционирование», «сопровождение», «изъятие и списание» из группы технических процессов.

В работе проанализированы возможные варианты разделения зон ответственности между привлекаемыми экспертами, сотрудниками кафедры и обучаемыми. Как достаточная в отношении образовательного процесса к подробной проработке предлагается следующая модель процессов (см. рис. 2)

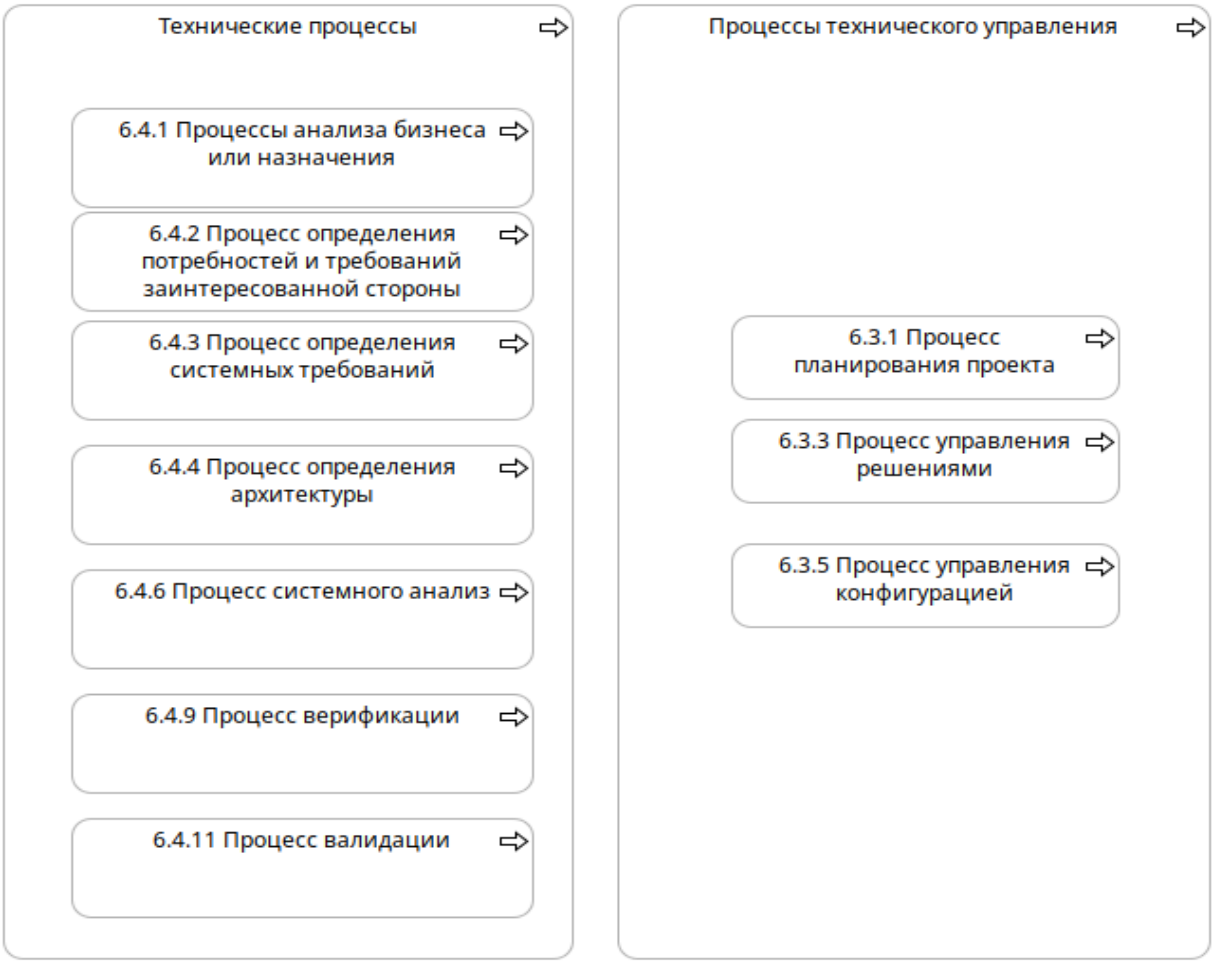

Рис. 2. Модель процессов цифрового предприятия

2.3 Общий вид организационной структуры цифрового предприятия

Исходя из представленной в табл. 2 структуры, разделения зон ответственности, и принимая подход организации по продуктовым командам, предлагается следующая ролевая модель организационной структуры (см. рис. 3).

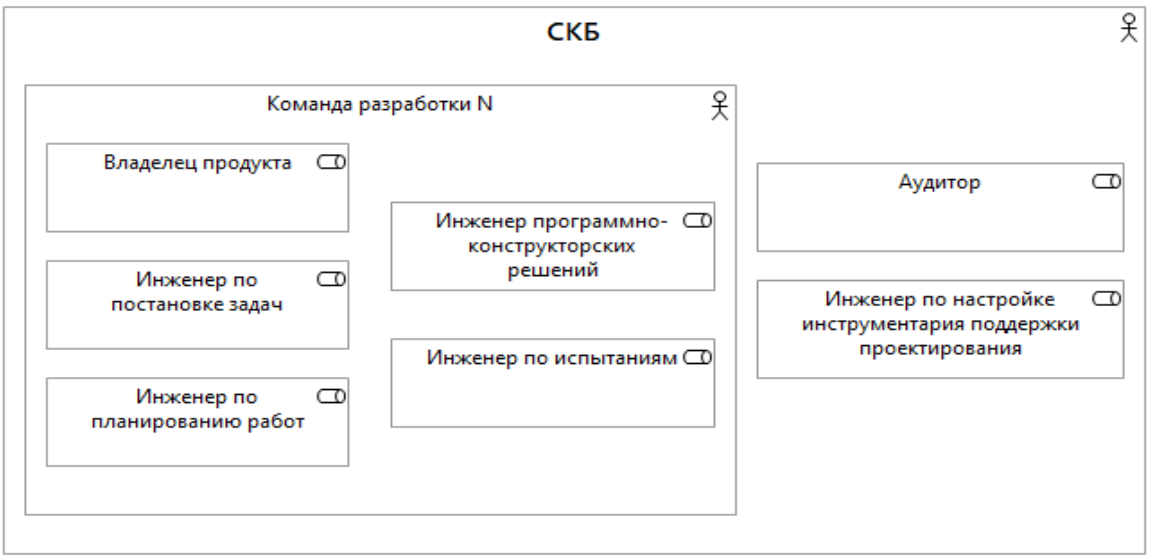

Рис. 3. Ролевая модель организационной структуры цифрового предприятия

Заключение

В целях повышения эффективности современного инженерного образования актуально обеспечить в вузах инфраструктуру цифрового предприятия. Это позволит добиться получения студентами необходимых инженерных и управленческих компетенций, относящихся к умениям и навыкам работы в командной, междисциплинарной среде, имитирующей среду реального предприятия, при создании сложного инженерного изделия от концепции до прототипирования.

В работе авторы представили в качестве артефактов организационно-методического обеспечения цифрового предприятия матрицу компетенций, модель деятельности, организационную структуру, модель организации разделения функций в проектной команде.

Внедрение полученных результатов в образовательный процесс вуза позволит достичь одной из ключевых целей – увеличения количества выпускников, способных работать в едином информационном пространстве современных предприятий.

Литература

1. INCOSE Systems Engineering Vision 2035. – www.incose.org/sevision.
2. *Rapeepan P., Shashank Alai, Hazim El-Mounayri*. Innovative Digital Manufacturing Curriculum for Industry 4.0// Procedia Manufacturing 34. Pennsylvania, 2019: 1043-1050.
3. *Королев А.С., Егоров И.И, Щербаков В.В.* Информационные технологии поддержки управления жизненным циклом сложных технологических объектов// Информатизация и связь −Таганрог: Издательство ЮФУ, №6, 2020. С.61-65.
4. *Королев А.С., Кюрчева С.Г.* Проблематика и описание подхода к интеграции инструментов системного проектирования// International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 9, no. 8, 2021. С.16-22.
5. NASA Systems Engineering Handbook. – NASA SP-2016-6105 Rev2. – 287 p.
6. INCOSE Systems Engineering Handbook. A guide for system life cycle processes and activities. 4th Edition. – Wiley, 2015. – 305 p.
7. Профессиональный стандарт «Специалист по автоматизированным системам управления машиностроительным предприятием». Утвержден приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 28.09.2020. №658н.
8. *Jeff Sutherland*. Scrum: The Art of Doing Twice the Work in Half the Time. – Currency; Illustrated edition, 2014. – 256 p.