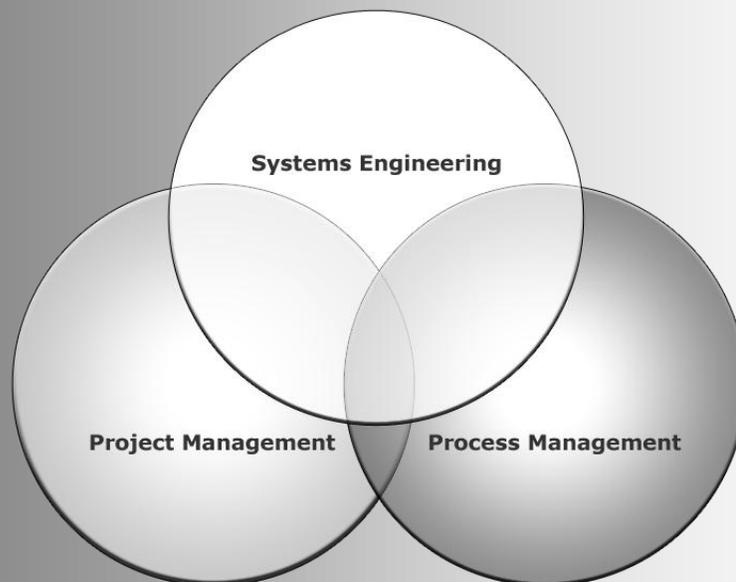


# Системная инженерия и задачи инженерной подготовки в ТПУ

---

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР



## **Проект 1.1.1.**

# **Разработка образовательных программ и создание нормативно-организационного обеспечения учебного процесса**

### **Руководитель проекта**

**Петровская Татьяна Семёновна,**  
к.т.н., зам. проректора по образовательной и международной деятельности

---

### **Руководитель рабочей группы**

**Марков Николай Григорьевич,**  
д.т.н., зав. кафедрой вычислительной техники ИК

### **Члены рабочей группы<sup>1</sup>**

**Заворин Александр Сергеевич,**  
д.т.н., зав. кафедрой парогенераторостроения и парогенераторных установок ЭНИН

**Воронова Гульнара Альфридовна,**  
к.х.н., ведущий эксперт УМО

**Кудинов Антон Викторович,**  
к.т.н., доцент кафедры вычислительной техники ИК

**Мирошниченко Евгений Александрович,**  
к.т.н., доцент кафедры вычислительной техники ИК

**Тайлашева Татьяна Сергеевна,**  
к.т.н., доцент кафедры парогенераторостроения и парогенераторных установок ЭНИН

**Юнак Александр Львович,**  
ведущий программист Лаборатории № 7 ИФВТ

---

<sup>1</sup> В алфавитном порядке

## СОДЕРЖАНИЕ

Содержание .....	3
Введение .....	4
1. Понятие и принципы системной инженерии .....	6
1.1. Определение системной инженерии .....	6
1.2. Принципы системной инженерии.....	6
2. Качества и компетенции системного инженера .....	10
2.1. Личные качества .....	10
2.2. Профессиональные компетенции.....	11
3. Стандарты в области системной инженерии .....	12
4. Системная инженерия в СССР .....	15
4.1. Опыт создания сложных систем «с нуля» .....	15
4.2. Системотехника .....	15
4.3. Теория систем и системный анализ.....	16
4.4. СМД-методология .....	18
4.5. Автоматизация производства и управления.....	18
5. Образование в области системной инженерии.....	20
5.1. Зарубежный опыт .....	20
5.2. Отечественный опыт .....	21
6. Задачи становления системной инженерии в России.....	23
6.1. Задачи промышленности.....	23
6.2. Задачи системы образования.....	23
7. Анализ ООП магистратуры ТПУ.....	25
8. Предложения по организации преподавания системной инженерии в ТПУ	27
9. Список использованных источников.....	30
Приложение 1. Объекты и виды профессиональной деятельности и компетенции по направлениям магистерской подготовки ТПУ .....	31

## ВВЕДЕНИЕ

Рост масштабов и усложнение способов организации человеческой деятельности по созданию систем, повышение степени ответственности за её результаты, быстрое возрастание сложности возникающих при этом научных, технических и управленческих проблем привели к появлению в середине XX века новой прикладной системной методологии — системной инженерии.

По результатам исследования, проведенного CNN Money<sup>2</sup> совместно с PayScale<sup>3</sup> в 2009 году, профессия системного инженера считается в США наиболее престижной и перспективной.

Появление и возрастание роли системной инженерии — вполне закономерное явление, поскольку очевиден значительный рост сложности современных технических систем. Например, конструкция морской нефтяной платформы содержит до 10 млн. деталей и рассчитывается на эксплуатацию до 100 лет. В некоторых крупных проектах насчитывается до 1000 подрядчиков на один проект, у каждого подрядчика свой профессиональный язык общения. Многие системы носят комплексный и мультидисциплинарный характер и взаимосвязанным образом включают в себя технические, информационные и организационные аспекты. Требования и спецификации проекта поступают с самых разных сторон и непрерывно меняются.

Практически значимые эффекты системная инженерия обеспечивает за счет использования общего междисциплинарного языка, позволяющего договориться участникам проекта, целенаправленного поиска и использования информации, уменьшающей проектные риски, исправления ошибок на как можно более ранней стадии, когда сделать это еще относительно дешево. Понимая под жизненным циклом развитие системы, продукта, услуги, проекта или другого созданного человеком объекта от появления замысла и формирования концепции до изъятия из обращения, системная инженерия в качестве цели управления жизненным циклом ставит достижение организацией состояния, когда она способна на выстроенной надлежащим образом методической основе выбирать и реализовывать эффективные процессы жизненного цикла. В результате система, представляющая интерес для заинтересованных сторон, развивается на протяжении жизненного цикла и приобретает способность удовлетворять установленным требованиям.

Сегодня мировое научное и индустриальное сообщества признают системную инженерию в качестве методологической основы организации и осуществления деятельности по созданию систем любого класса и назначения. Современная практика показывает, что 8% от стоимости проекта, затраченных на внедре-

---

<sup>2</sup> CNN Money — крупное американское финансовое издание

<sup>3</sup> PayScale — крупнейшая мировая компания по оценке заработной платы и рынка труда

ние системной инженерии, дают экономию в 20% стоимости проектов, и на 50% увеличивают вероятность окончания проекта в срок.

С учетом сказанного, системная инженерия и для многих крупных корпораций, занятых на глобальном рынке, и для ведущих зарубежных технических университетов стала сегодня важнейшей, ключевой дисциплиной, овладение которой в целом наряду с углубленным изучением её важнейших разделов является обязательным для специалистов, предполагающих заниматься созданием сложных систем.

Ведущие мировые организации и компании, занятые созданием и эксплуатацией сложных систем, уже около 20 лет используют достижения системной инженерии на практике. Среди них: US Department of Defense, US Federal Aviation Administration (FAA), National Aeronautics and Space Administration (NASA), MITRE Corporation, Boeing и другие. Применение стандартов системной инженерии обязательно для контрактов военных ведомств развитых стран и государственных заказчиков сложных систем (строительство атомных станций, тоннелей и мостов, инженерной инфраструктуры). Последнее время системная инженерия стала выходить из ниши оборонной и аэрокосмической промышленности. Особенно интенсивно она стала осваиваться в сфере телекоммуникаций и информационных технологий. В электроэнергетике системная инженерия стала использоваться в атомной энергетике, так как в ней жестко предъявляются требования по безопасности.

Можно с полной ответственностью сказать, что принципы системной инженерии становятся принципиальной основой любой инженерной деятельности, а квалификация системного инженера в настоящее время является высшей ступенью инженерной квалификации.

# 1. ПОНЯТИЕ И ПРИНЦИПЫ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

## 1.1. Определение системной инженерии

Определений системной инженерии немало, и все они при формальном различии верно отражают те или иные аспекты этой дисциплины.

Международный совет по системной инженерии (International Council on Systems Engineering, INCOSE) определяет её как «междисциплинарный подход и средства для создания успешных систем».

Справочное руководство NASA по системной инженерии даёт следующую формулировку: «системная инженерия — робастный<sup>4</sup> подход к проектированию, созданию и функционированию систем».

Военный стандарт США Mil-Std 499B определяет системную инженерию как «междисциплинарный подход, охватывающий все технические усилия по развитию и верификации интегрированного и сбалансированного в жизненном цикле множества системных решений, касающихся людей, продукта и процесса, которые удовлетворяют потребности заказчика».

Бывший президент INCOSE Д. Хитчинс характеризует системную инженерию как «искусство и науку создания эффективных систем на основе целостного подхода к системе и принципам её жизни».

Президент российского отделения INCOSE А. И. Левенчук даёт неформальное и по форме шутовское, но очень точное по сути определение: «Системная инженерия — это про то, как создать что угодно (от зубочистки до марсохода) в соответствии с требованиями заказчика, и при этом соблюсти бюджет и сроки».

## 1.2. Принципы системной инженерии

Общие определения не дают конкретного понимания того, какие принципы составляют суть системной инженерии как междисциплинарного подхода. Ниже даётся краткое перечисление десяти подходов, гармонизацию которых в своем составе предполагает системная инженерия.

### 1. Переход от редуционистского к системному подходу

Целое невозможно свести к сумме частей этого целого — вот суть системного подхода. Само выделение целого как «фигуры из фона» не может быть произвольным, то же относится к элементам системы: важна цель системы, важно взаимодействие элементов для достижения этой цели, а не просто наличие произвольно выбранных частей. Любая система имеет надсистему и подсистемы, системы иерархичны. Границы системы с окружающими её системами

---

<sup>4</sup> Робастный (robust) — обеспечивающий хорошее качество управления

важны и требуют явного определения: все участники междисциплинарного обсуждения должны говорить об одной и той же системе в одних и тех же границах, чтобы не подменять системы в ходе их обсуждения.

Это достаточно просто звучит, но по факту «редукционистский» (выделение отдельных черт исследуемого или проектируемого объекта, без обсуждения принципов, по которым эти отдельные черты были выделены) или «натуральный» («естественный», «здорового смысла») подход применяется повсеместно до сих пор. Системное мышление не становится системным только потому, что в текстах упоминается слово «система» и «выделяются части системы».

## **2. Переход от структурного к процессному подходу**

Главное, что происходит в системе — это её изменения во времени. Рассмотрения системы (организации, двигателя внутреннего сгорания, человека или даже общества) с точки зрения его структуры (схемы, отражающей связи элементов-подсистем) совершенно недостаточно, нужно рассматривать изменения во времени и взаимодействия, разворачиваемые во времени.

Например, в организационных системах сейчас повсеместно переходят от органиграммы<sup>5</sup> как основного средства представления организации к процессным диаграммам. Управление проектами — это отражение того же тренда: сетевой график проекта намного лучше отражает положение дел, чем список декомпозиции работ.

Сюда же обычно относят концепцию полного жизненного цикла, все варианты проектного подхода и связанные с ним методы управления жизненным циклом.

## **3. Переход от одной группы описаний ко множественности групп описаний**

Никакой одной профессиональной точки зрения недостаточно, чтобы получить более или менее полное реализационное описание системы. Для системы должны быть получены различные группы взаимосвязанных описаний, часто получаемые междисциплинарно. В системной инженерии это ISO 42010, стандарт архитектурных описаний.

## **4. Переход от рабочего проектирования (конструирования, дизайна) к обязательному предварительному архитектурному**

Вместо того, чтобы сразу работать с «кодом» программ, «чертежами» оборудования, «инструкциями» организации и прочими реализационными описаниями систем, для начала нужно сделать сущностное, не зависящее от деталей реализации описание создаваемой системы: архитектуру. Архитектура описывает основные подсистемы и их взаимодействие в языке, свободном от деталей ре-

---

<sup>5</sup> Органиграмма — схема организационно-кадровой структуры с указанием всех подразделений предприятия и руководящих должностей

лизации. Одной архитектуре может соответствовать множество разных реализаций. Архитектура более живуча, чем её реализации.

### **5. Переход от непосредственной реализации к моделицентричной реализации**

Вместо того, чтобы строить реальную систему, для начала создаются всевозможные модели системы — как абстрактные архитектурные, так и имитационные, зависящие от реализации. Эти модели представляют более-менее адекватное реальности подробное описание системы, к которому возможно задавать вопросы «а что если» (то есть речь идет, прежде всего, об имитационном моделировании, включая имитационные прогоны архитектурных моделей). Сначала система «строится» в идеальном мире моделирования, и только затем в реальном мире: все ошибки убираются на этапе моделирования, а не на этапе реального воплощения в мире.

Сюда же относится идея о том, что описания системы (включая архитектурные описания) должны быть представлены не на естественном языке, а на формальном языке, подразумевающим возможность какого-то отчужденного от чтения человеком «машинного исполнения».

### **6. Переход от документоцентризма к датацентризму**

Различные описания системы не должны готовиться в форме отдельных документов. Все эти описания должны храниться в виде взаимосвязанных отдельных информационных единиц-данных, готовых для объединения в той или иной форме — речь идет о хранении информации в виде базы данных и доступе к этой информации с разнообразными запросами. Более того, работа с изменениями должна вестись в терминах отдельных данных, а не «документов». Думать об информации таким образом очень трудно, ибо базы данных (тем более — распределенные базы данных) появились в истории человечества совсем недавно, а вся материальная культура и язык поддерживает работу с «документами-на-листах-бумаги».

### **7. Переход от работы «для одного хозяина» к работе со множеством заинтересованных сторон**

Для любой системы всегда есть множество заинтересованных сторон, мнение которых нужно учитывать. Это означает, что требования к системе всегда противоречивы, исходят из самых разных источников, и нужна специальная работа по их согласованию — значительная часть этой работы сводится не к техническим решениям, а к проведению переговоров между заинтересованными лицами. Наличие множества заинтересованных в системе сторон существенно меняет содержание инженерной деятельности: эта деятельность по «инженерии требований» уже не проходит в мире исключительно технических решений, а должна учитывать противоречивые интересы самых разных людей.

### **8. Переход от «проверки» к отдельным верификации и валидации**

Идея верификации (проверка на соответствие формальным требованиям) всем привычна. Много более трудно воспринимается идея, что такой проверки явно

недостаточно: важно не столько соответствие требованиям, сколько то, чтобы системой можно было пользоваться — ибо при разработке системы ошибка могла закрасться в сами требования. Поэтому необходима не только *верификация*, но и *валидация* — проверка того, что требования конкретного внешнего потребителя или пользователя продукта, услуги или системы удовлетворены.

### **9. Переход от методов «предсказания будущего» к использованию гибких методов**

Идея о том, что любые предсказания будущего (в том числе в таких формах, как тщательно разработанные планы) являются заведомо неполными и неточными, и с планами нужно работать как с «прогнозами», а не «обещаниями», воспринимается очень тяжело. Особенно трудно перейти к риск-ориентированным формам жизненного цикла, подразумевающим пошаговое выделение ресурсов на основе постоянного пересмотра структуры их выделения на основе непрерывно меняющихся оценок проектной ситуации. Гибкие методы ведут к модификациям основных практик системной инженерии, когда планировать приходится в условиях отсутствия прецедентов (так, идея о том, что требования должны меняться в течение всего жизненного цикла, понимается очень трудно — ведь в методах «предсказания будущего» все полные и детальные требования должны быть «предсказаны» в самом начале разработки).

### **10. Переход от «технологического конвейера» к «заказам-поставкам»**

Процесс управления жизненным циклом нельзя считать «конвейером», просто выполнением серии технологически предписанных работ (в теории управления организационными процессами это называют «оркестровка»). В жизни независимые действующие лица участвуют в процессе, выполняя контракт на оказание услуги по своей части участия в общем процессе (в теории управления организационными процессами это называют «хореография»). В системной инженерии этот вопрос обсуждается как отдельная группа контрактных практик, причем самым трудным тут является понимание того факта, что контракты могут быть не только явные между различными юридическими лицами, но и неявные внутри действующих лиц в рамках одной организации.

## 2. КАЧЕСТВА И КОМПЕТЕНЦИИ СИСТЕМНОГО ИНЖЕНЕРА

### 2.1. Личные качества

В публикации NASA были названы 11 *личных качеств*, которыми должен обладать хороший системный инженер:

- ♦ интеллектуальная любознательность, выражающаяся в первую очередь в способности и желании постоянно учиться новому;
- ♦ способность видеть целое даже при наличии множества мелких деталей, включающая, в частности, умение не терять основную главную цель и объединять для разговора на одном языке ученых, разработчиков, операторов и другие заинтересованные стороны, невзирая на изменения, возникающие по мере развития жизненного цикла;
- ♦ способность к выделению общесистемных связей и закономерностей, с помощью которой первоклассный системный инженер может помочь другим членам команды проекта в установлении места их системных решений в общей картине и в работе на достижение общих системных целей;
- ♦ высокая коммуникабельность — способность слушать, писать и говорить таким образом, который способствует наведению мостов между инженерами и управленцами на основе использования единых терминов, процессов и процедур;
- ♦ выраженная готовность к лидерству и к работе в команде, предполагающая, в частности, наличие глубоких и многосторонних технических знаний, энтузиазма в достижении поставленных целей, креативности и инженерного инстинкта;
- ♦ готовность к изменениям, предполагающая в числе прочего и понимание неизбежности изменений;
- ♦ приспособленность к работе в условиях неопределенности и недостаточности информации, предполагающая, в частности, способность к толкованию неполных и противоречивых требований;
- ♦ специфическая убежденность в том, что следует надеяться на лучшее, но планировать худшее, предполагающая, в частности, что системный инженер постоянно проверяет и перепроверяет детали, имеющие отношение к обеспечению технической целостности системы;
- ♦ наличие разнообразных технических навыков — способность применять обоснованные технические решения, что требует от системного инженера знания множества технических дисциплин на уровне эксперта;
- ♦ уверенность в себе и решительность, но не высокомерие, так как даже хороший системный инженер может ошибиться;
- ♦ способность строго выполнять предписания по реализации процесса при понимании того, когда надо остановиться и внести изменения, что предполагает способность системного инженера не только формально описать, но и «почувствовать» процессы.

## 2.2. **Профессиональные компетенции**

Среди важнейших *компетенций* системного инженера, в частности, называются:

- ◆ умение управлять требованиями на всех уровнях системной иерархии;
- ◆ владение современными методами и инструментами разработки систем включая архитектурный подход;
- ◆ владение методами и инструментами анализа систем включая моделирование, анализ надежности, анализ рисков, анализ технико-экономических характеристик и т. п.
- ◆ умение организовывать и проводить испытания систем и анализировать результаты испытаний;
- ◆ умение налаживать эффективное человеко-машинное взаимодействие;
- ◆ умение реализовывать интегрированные системные решения, учитывающие гетерогенность и возможную распределённость элементов, составляющих систему;
- ◆ владение процессным подходом;
- ◆ умение управлять изменениями.

### 3. СТАНДАРТЫ В ОБЛАСТИ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Важнейшим компонентом методологического базиса системной инженерии являются официальные международные стандарты, содержащие описание подходов и методов создания систем различных классов и назначения, а также задающие правила работы, применимые в сфере системной инженерии. Такие стандарты выделены в семейство стандартов системной и программной инженерии (СПИ), развитие которых идет не только путем совершенствования системы официальных международных стандартов СПИ, но и за счет ускоренного формирования развитого набора фактических стандартов.

Среди официальных стандартов СПИ главенствующее место сегодня занимают спецификации, разрабатываемые седьмым подкомитетом Объединенного технического комитета 1 ИСО и МЭК — Системная и программная инженерия (ISO/IEC JTC1/SC7 Software and systems engineering), а также некоторыми другими подкомитетами.

В составе стандартов СПИ традиционно выделяют четыре группы спецификаций:

- ◆ стандарты основ СПИ;
- ◆ стандарты создания систем;
- ◆ стандарты управления и оценки свойств систем и процессов;
- ◆ стандарты описания систем и процессов.

Важной характеристикой системы стандартов СПИ является целостность. В плане повышения целостности JTC1/SC7 проводит работы по горизонтальной, вертикальной и межотраслевой гармонизации стандартов СПИ. Горизонтальная гармонизация ведется в разрезе процессы СПИ — зрелость процессов — качество процессов, вертикальная — в разрезе системы в целом — домены — отдельные процессы, а межотраслевая путем согласования планов и содержания работ по стандартизации, проводимых различными группами. Одним из важных итогов этой работы является появление в 2008 г. гармонизированных между собой стандартов:

- ◆ **«ISO/IEC 15288:2008 — СПИ. Процессы жизненного цикла систем»**. Устанавливает общие принципы описания ЖЦ систем, созданных людьми. Определяет набор процессов ЖЦ и соответствующую терминологию.
- ◆ **«ISO/IEC 12207:2008 — СПИ. Процессы жизненного цикла программных средств»**. Устанавливает, используя четко определенную терминологию, общую систему процессов ЖЦ ПС, на которую можно ориентироваться в программной индустрии.

На сегодняшний момент это *основные, базовые стандарты* в области СПИ, на основе которых разрабатываются фактические стандарты для отдельных отраслей и процессов. Также развитие фактической стандартизации в области СПИ сегодня связано с формированием сводов правил и рекомендаций по приме-

нению, или, как их ещё называют, руководств по архитектуре (Architecture Framework). В этих руководствах описываются особенности практического использования апробированных архитектурных стилей и передового опыта разработки в различных отраслях хозяйственной деятельности.

Среди *фактических стандартов* можно выделить следующие:

- ♦ ISO/IEC TR 24748 — СПИ. Руководство по управлению ЖЦ. В контексте стандартов ISO/IEC 15288 и ISO/IEC 12207 определяет порядок использования моделей ЖЦ.
- ♦ ISO/IEC TR 19760:2003 — СИ. Руководство по применению ISO/IEC 15288. Содержит рекомендации по адаптации стандарта ISO/IEC 15288 к конкретным системам и проектам.
- ♦ ISO/IEC/IEEE 16326:2009 — СПИ. Процессы ЖЦ. Управление проектами. Взамен ISO/IEC TR 16326:1999 — Программная инженерия. Руководство по применению ISO/IEC 12207 при управлении проектами.
- ♦ ISO/IEC 16085:2006 — СПИ. Процессы ЖЦ. Управление рисками. Определяет процесс управления рисками в ЖЦ. Может использоваться самостоятельно или в качестве дополнения к процессам ЖЦ, определенным в ISO/IEC 15288 и ISO/IEC 12207.
- ♦ ISO/IEC 15939:2007 — СПИ. Процесс измерения. Определяет процесс измерения, пригодный для использования в области СПИ, а также менеджмента.
- ♦ ISO/IEC TR 24774:2007 — СПИ. Управление жизненным циклом. Руководство по описанию процесса. Устанавливает общие правила построения эталонных моделей процессов ЖЦ с использованием характеристик целей процесса, его результатов, выполняемых действий и работ.

Упомянутые спецификации *не являются стандартами прямого действия*. Они содержат рекомендации и положения относительно того, что следует делать, оставляя решение о том, как это делать, на усмотрение сторон, создающих систему и управляющих проектом.

Современные рекомендации по системной инженерии предполагают, что каждая отрасль или крупная корпорация разрабатывает на основе стандартов, подобных ISO/IEC 15288 и ISO/IEC 12207, собственные нормативные документы, адаптированные к корпоративным нуждам, а с учетом полученных результатов определяется совокупность методов и инструментов управления процессами ЖЦ при создании систем.

Среди *профессиональных стандартов* на процессы разработки важнейшими следует считать стандарт IEEE Std. 1220 — 2005 — Применение и управление процессом разработки систем (Application and Management of the Systems Engineering Process) и стандарт Американского национального института стандартов (American National Standards Institute — ANSI) и Альянса электронной индустрии (Electronic Industries Alliance — EIA) ANSI/EIA 632 — Процессы разработки систем (Processes for Engineering a System).

В России в области системной инженерии сегодня официально локализованы всего три международных стандарта:

- ◆ ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005 «Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем»;
- ◆ ГОСТ Р ИСО 15926-1-2008 «Промышленные автоматизированные системы и интеграция. Интеграция данных жизненного цикла для перерабатывающих предприятий, включая нефтяные и газовые производственные предприятия»;
- ◆ ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010 «Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств».

## 4. СИСТЕМНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ В СССР

### 4.1. Опыт создания сложных систем «с нуля»

В СССР было реализовано большое количество сложных и крупных проектов, как гражданских, так и военных. В качестве примеров можно назвать Новокузнецкий и Магнитогорский металлургический комбинаты, Волжский каскад ГЭС, АвтоВАЗ, проекты по созданию крупнейших нефтегазовых промыслов, атомного оружия и атомных электростанций, и, разумеется, космическую программу. Соответственно, был накоплен колоссальный опыт как в области управления проектами и процессами, так и в области собственно инженерной.

Таким образом, вопрос о том, существовали ли в СССР системные инженеры (не по названию, а по сути), даже не рассматривается. Например, генеральный конструктор С. П. Королёв, согласно мнению современных специалистов, — это настоящий «стихийный» системный инженер. Слово «стихийный» означает отсутствие специального образования, поскольку ни системных инженеров, ни генеральных конструкторов в советских вузах не готовили.

В Советском Союзе существовал высокий уровень секретности, вследствие чего информация об управленческих и инженерных методологиях была и до сих пор остаётся недоступной исследователям, а большинство инженерных руководителей этих проектов уже ушли из жизни. Это, к сожалению, привело к тому, что имеющийся комплексный опыт создания сложнейших социотехнических систем «с нуля» остался фактически вне системы образования и инженерной науки СССР и России. Данный вопрос ещё только ждёт своих исследователей.

### 4.2. Системотехника

В 1961 г. в СССР вышел перевод первой в мире книги по системной инженерии Г. Х. Гуда и Р. Э. Макола «System engineering». Авторы рассматривали системную инженерию как дисциплину, дающую ключ к разработке крупных, сложных, высокоавтоматизированных технических систем, впервые описав основные признаки систем большого масштаба и указав на то, что при их создании широко используются коллективные методы работы и возникают проблемы не только технического, но и организационно-управленческого характера.

Редакции издательства «Советское радио» (в последующем «Радио и связь») не понравился буквальный перевод «системная инженерия» или «инженерия систем», и профессор Ф. Е. Темников<sup>6</sup> предложил термин «системотехника», имея в виду не системотехнику в точном смысле, а *системотехнологию*. Термин «системотехника» вошел в историю становления системных исследований

---

<sup>6</sup> Темников Федор Евгеньевич (1906-1993) – д. т. н., профессор МЭИ, один из основателей российской школы информатики, автор терминов «информатика», «телемеханика», «системотехника».

в нашей стране, хотя и претерпел огромные изменения по сравнению с первоначальным смыслом, кафедры системотехники появились во многих вузах.

Поскольку в термине в явном виде звучала «техника», термин «системотехника» довольно быстро стал использоваться в основном в приложениях системных методов только к техническим направлениям и быстро стал утрачивать первоначальный смысл прикладной теории (технологии) систем, превратившись со временем в узкое понятие из области АСУ (автоматизированных систем управления).

### 4.3. Теория систем и системный анализ

Нельзя не отметить советскую школу теории систем и системного анализа, поскольку системный анализ, несомненно, является одной из основ системной инженерии. В конце 1980-х гг. системный анализ был введен в учебные планы вузов Ф. И. Перегудовым<sup>7</sup>.

Предшественником советской школы системного анализа был А. А. Богданов, предложивший в 20-е гг. «всеобщую организационную науку тектологию».

Первые методики системного анализа в СССР были разработаны Ю. И. Черняком, С. А. Валуевым, Е. П. Голубковым. Затем начался период разработки методик структуризации, основанных на философских концепциях. Для развития этого направления при Всесоюзном научно-техническом обществе радиотехники, электроники и связи в 1973 г. был создан семинар «Системный анализ в проектировании и управлении» (Ф. Е. Темников, Ю. И. Черняк, В. Н. Волкова).

Наиболее известные первые школы прикладных системных исследований СССР, а также школы системного анализа в современных вузах России:

- ♦ школа Ф. Е. Темникова в Московском энергетическом институте. С 1980-х гг. развитие основных идей этой школы продолжается в Ленинградском политехническом институте (Санкт-Петербургском государственном политехническом университете) В. Н. Волковой и её учениками;
- ♦ школа Л. Т. Кузина, зав. кафедрой кибернетики Московского инженерно-физического института;
- ♦ школа Б. С. Флейшмана, развивавшего системологию в институте океанологии применительно к экологическим и техническим системам;
- ♦ школа Ю. И. Черняка в Центральном экономико-математическом институте, проводившего работы по применению системного анализа в экономике, по исследованию закономерностей целеобразования;
- ♦ школа С. А. Валуева в Московском экономико-статистическом институте, а в последующем — в Государственной академии (университете) управления;
- ♦ школа Е. П. Голубкова в Московском институте народного хозяйства им. Плеханова;

---

<sup>7</sup> Заместителем Министра высшего и среднего образования СССР того периода

- ♦ школа томских вузов (ТПИ/ТПУ, ТИАСУР/ТУСУР, ТГУ). Под руководством Ф. И. Перегудова при активном участии Ф. П. Тарасенко, В. З. Ямпольского, Л. В. Кочнева развивались методы системных исследований, разработана одна из первых методик системного анализа, основанная на философской концепции В. Н. Сагатовского; под ред. Ф. И. Перегудова выпущена одна из первых монографий по прикладному системному анализу «Основы системного подхода и их приложение к территориальным АСУ»; в настоящее время работы продолжаются проф. В. А. Силичем (ТПУ) и А. М. Кориковым (ТУСУР);
- ♦ одесская школа, развиваемая лабораторией под руководством А. И. Уёмова;
- ♦ латвийская школа Л. А. Растригина, развивавшего системный анализ применительно к теории управления;
- ♦ школа прогнозирования при Ленинградском Доме научно-технической пропаганды (В. А. Чабровский);
- ♦ школа системного анализа НИИ проблем высшей школы (НИИ ВШ). Развивалась с 1974 г. применительно к управлению научными исследованиями по проблемам высшей школы под руководством В. Н. Волковой;
- ♦ школа концептуального метамоделирования в МИРЭА (В. В. Нечаев, ученик Ф. А. Темникова);
- ♦ школа «Системный анализ и принятие решений» в СПб. гос. университете аэрокосмического приборостроения (Е. И. Перовская);
- ♦ школа общей системологии в СПб. гос. электротехническом университете (Б. Ф. Фомин);
- ♦ школа «Системный анализ в информационных интеллектуальных технологиях» в МИРЭА (Л. С. Болотова);
- ♦ школа «Модели развития, изменения, сохранения организационных систем управления» в Международном университете в Москве (Г. И. Москинова);
- ♦ школы системного анализа в экономике: в Московском гос. университете экономики, статистики, информатики (А.А. Емельянов) (с 2004 г. — в Международном московском институте эконометрики, информатики, права); в СПб. гос. инженерно-эконометрической академии (университете) (И. М. Шистеров); в Ростовской гос. экономической академии (В. А. Долятовский и Г. Н. Хубаев); в Таганрогском радиотехническом университете (В. Е. Ланкин);
- ♦ школа системного проектирования сложных технических комплексов в Северо-Западном заочном политехническом институте (И. Б. Арефьев);
- ♦ школа «Автоматизация и системные методы в проектировании» в Ульяновском техническом университете (А. Ф. Похилько, ученик А. А. Денисова);
- ♦ школа «Информационные технологии и организация управления» в Казанском ГТУ (Л. Ю. Емалетдинова);
- ♦ школа «Моделирование сложных систем» в Ижевском ГТУ (В. А. Тененев и Б. А. Якимович).

#### 4.4. СМД-методология

В 1952-1954 гг. образовался Московский логический кружок (А. А. Зиновьев, Г. П. Щедровицкий, Б. А. Грушин, М. К. Мамардашвили и др.), впоследствии преобразованный в Московский методологический кружок. Это был период разработки содержательно-генетической логики, запрещенной в те годы в СССР кибернетики и разворачивающихся системных исследований. Была сформирована так называемая *СМД-методология* (системо-мыследеятельностная методология) и движение на её основе. Обычно СМД-методологию связывают с именем Г. П. Щедровицкого<sup>8</sup>.

В 1957-1979 гг. участники движения заняты разработкой теории деятельности и теории мышления, исследованиями в теории систем, системным проектированием и дизайн-программами.

Результаты деятельности СМД-методологов во многом предвосхитили западные успехи в области системного анализа и системной инженерии. Однако эти результаты с настороженностью принимались советским философским и научным истеблишментом. Немалую роль в этом сыграли как невероятно сложный и запутанный язык, используемый СМД-методологами, так и радикальные философские идеи. Был арестован тираж сборника «Проблемы исследования систем и структур» (1965), рассыпан набор монографии «Педагогика и логика» (1968); монография «Разработка и внедрение автоматизированных систем в проектировании» (1975) вышла в отраслевом издательстве небольшим тиражом и повлекла репрессии против издателей. Перспективное инженерно-философское направление исследований не получило, к сожалению, ни поддержки, ни признания.

Движение существует до сих пор, в настоящий момент этому подходу пытаются следовать несколько сотен человек, хотя движение раздробилось на множество конкурирующих «кружков», и текущее состояние дел неизвестно.

#### 4.5. Автоматизация производства и управления

60-е годы XX в. характеризовались активным созданием автоматизированных систем управления предприятиями (АСУП). К одной из первых таких систем по праву можно отнести АСУ «Кунцево». АСУ «Кунцево» позиционировалась как комплексная или типовая система управления производством Московского радиотехнического завода (20 тыс. сотрудников) на базе использования электронно-вычислительных машин Минск-22 и позднее Минск-32.

В результате обобщения накопленного опыта и использования принципов системного подхода в указанных процессах и разработках оборонного значения

---

<sup>8</sup> Щедровицкий Георгий Петрович (1929—1994) — советский философ и методолог, в 1958—1960 гг. — редактор издательства АПН РСФСР, в 1990—1994 гг. — главный редактор журнала «Вопросы методологии», с 1988 года — председатель Комитета по СМД Правления Союза научных и инженерных обществ СССР.

был издан «Справочник проектировщика систем автоматизации производством»<sup>9</sup>, в котором нашли отражение такие понятия как «системный подход», «анализ операций» и «системный анализ».

В 1977-1979 гг. были подготовлены и вступили в силу государственные стандарты (ГОСТ) класса 19 «Единая система программной документации» (ЕСПД). Таким образом, на имеющихся в то время средствах вычислительной техники выделились две системы: АСУ (АСУП) и ЕСПД.

Принципы системного подхода, опробованные при создании АСУ «Кунцево», широко применялись на предприятиях оборонных министерств. В частности в Министерстве среднего машиностроения (ныне «Росатом») были разработаны и внедрены первые очереди АСУ «Томь» (Сибирский химический комбинат, г. Северск, Томская обл.) и АСУ «Бирюса» (Горно-химический комбинат, г. Железногорск, Красноярский край).

Проектные решения по указанной проблеме были заимствованы в Управлении организации производства (УОП) объединения «АвтоВАЗ». Принципы системного подхода реализовывались в подсистеме «Контроль хода производства» (синхронизация и управление почти 200-ми км конвейерных линий) и в других подсистемах.

Активное развитие процессов автоматизации производства, совершенствование технической базы и ЭВМ привело к созданию в 1980–1985 гг. ГОСТ 24 класса «Единая система стандартов автоматизированных систем управления». Один из значимых ГОСТов этого класса ввел понятия «Типовых проектных решений» в функциональных и обеспечивающих частях АСУ и достаточно близко приблизился к использованию термина «(структурные) элементы АСУ».

Дальнейшее обобщение опыта создания систем различного назначения в самых разнообразных предметных областях привело к созданию и утверждению ГОСТ 34 класса «Информационная технология», изданных в 1989–1995 гг., который фактически «поглотил» и расширил стадии ГОСТов 19 класса: требования, концепция, техническое задание, эскизный проект, технический проект, рабочая документация, ввод в действие, сопровождение.

---

<sup>9</sup> Справочник проектировщика систем автоматизации производством / под ред. Г. Л. Смилянского. — М.: Машиностроение. — 1976. — 590 с.

## 5. ОБРАЗОВАНИЕ В ОБЛАСТИ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

### 5.1. Зарубежный опыт

Сегодня во всем мире складывается положение, когда организации, занятые созданием сложных систем и их элементов, испытывают дефицит высококвалифицированных кадров. Это в значительной мере относится к современным инженерам, которых выпускается недостаточно. Ситуация такова, что многие зарубежные эксперты, включая представителей работодателей и высшей школы, стали говорить о зарождающемся кризисе инженерного образования. Существует множество причин, вызывающих указанное состояние, но ключевыми являются очень высокие требования к уровню квалификации инженера, занятого разработкой продукции высоких технологий и систем на их основе и сравнительно невысокий уровень оплаты таких специалистов по сравнению, например, с юристами, банковскими служащими или серьезными менеджерами.

С учетом сказанного понятен интерес, который системная инженерия вызывает сегодня в качестве образовательного направления.

Поскольку востребованность системных инженеров со стороны индустрии растет год от года, все большую актуальность приобретает проблема подготовки профессиональных кадров по этой специальности. При этом сотрудничество западных университетов с производителями сложных систем находится на высоком уровне. Например, Массачусетский технологический институт, являющийся одним из лидеров по подготовке системных инженеров, при реализации образовательных программ в этой области сотрудничает с более чем 20 крупнейшими мировыми компаниями, среди которых Amazon.com, Inc.; Boeing Company; Dell; Harley-Davidson; General Dynamics; General Motors; Honeywell; Intel; Nokia; Northrop Grumman; Novartis AG; Raytheon и т.д. Годовой бюджет этих программ по приблизительной оценке составляет около 100 млн. долларов.

Практически все ведущие технические университеты мира имеют в своих программах комплексный блок дисциплин, посвященных изучению методологии и практики системной инженерии. Реализуется множество программ повышения квалификации и переподготовки кадров в области системной инженерии. Примечательно, что только в США имеется около 130 программ обучения системной инженерии в 73 высших учебных заведениях, готовящих специалистов для промышленности и правительства. В целом, программы подготовки по системной инженерии для дипломированных специалистов (Systems Engineering Graduate Programs) сегодня реализуются более чем в двухстах зарубежных вузах. Только за последние 3 года по рассматриваемой тематике на английском языке издано более 50 учебных книг.

Наконец, крупнейшие правительственные учреждения и ведущие мировые компании различных стран разрабатывают собственные руководства по системной инженерии и активно содействуют повышению квалификации в этой области своих сотрудников.

Осознание необходимости унификации и актуализации практической направленности инженерного образования привело в 2004 г. к созданию так называемой инициативы (концепции) CDIO<sup>10</sup>, инициаторами которой были Массачусетский технологический институт и ряд крупных вузов Северной Европы. Основной принцип программы CDIO состоит в том, что инженерное образование должно вестись в контексте разработки и внедрения жизненного цикла продуктов и систем. Контекст инженерного образования предполагает создание культурной среды, в которой технические знания и личностные умения и навыки передаются, практикуются и осваиваются.

В настоящее время к инициативе CDIO присоединились более восьмидесяти вузов мира, в том числе три вуза из РФ: Томский политехнический университет, Сколковский институт науки и технологии и Астраханский государственный университет.

## 5.2. Отечественный опыт

Парадоксально, но немногие в России вообще слышали о профессии системного инженера. Это подтверждают результаты исследования по России, проведенного ВЦИОМ. В отечественных рейтингах такая профессия не значится.

Немногочисленные примеры российского практического опыта использования практик системной инженерии можно найти среди отдельных проектов, реализуемых государственной корпорацией «Росатом» и ОАО «РусГидро». По косвенным признакам можно судить об использовании элементов системной инженерии в некоторых отечественных телекоммуникационных и IT-компаниях.

Российские специалисты оценивают состояние дел по образованию в области системной инженерии в РФ как катастрофическое. Констатируется, что в области создания сложных систем и управления их жизненным циклом в нашей стране сегодня, по существу, нарушена целостность системы подготовки квалифицированных кадров. В этой системе и в её связях с внешней средой произошли серьезные разрывы, нарушена преемственность.

Наша страна и отечественные специалисты, несмотря на более чем двадцатилетний застой в деятельности по созданию сложных систем и развитию новых технологий, еще не утратили способности к разработке высокотехнологичных систем и поддержке их полного жизненного цикла. Некоторые из подобных систем, прототипы которых были созданы еще советскими учеными и инженерами, и сегодня продолжают оставаться относительно конкурентоспособными на отечественном и мировом рынках. Среди них можно упомянуть некоторые космические и авиационные системы, отдельные системы вооружений, системы атомной энергетики и ряд других. Однако в целом конкурентоспособность систем, создаваемых отечественными специалистами в последние годы, имеет тенденцию к снижению.

---

<sup>10</sup> Conceive — Design — Implement — Operate (задумать — спроектировать — осуществить — эксплуатировать)

Последние 20 лет «технологического застоя», когда практически не было крупных строительных проектов, не проводилась модернизация эксплуатируемого оборудования, существенно были ограничены ремонтные программы, бесследно исчезли НИОКР, привели к тому, что ряды инженеров, проектировщиков, энергостроителей значительно поредели, а используемые технические решения и технологии работы застыли на уровне достижений середины прошлого века. В результате, сложилась ситуация, когда работы выполняются более длительное время, чем в аналогичных зарубежных проектах, со значительным отставанием от плана-графика и отклонением от нормативов, дорого, на неудовлетворительном техническом уровне и нередко с низким качеством. Между тем, применяемые, например, в электроэнергетике технологии активно развивались, и в настоящее время они характеризуются высокой степенью сложности и комплексности, т.е. теми свойствами, которые делают эффективными подход и методы системной инженерии.

Для управления созданием и развитием таких систем специалисты должны обладать новыми техническими и организационными компетенциями. Очевидно, что все эти обстоятельства создают острую потребность в новых управленческих и инженерных кадрах, подготовленных на основе современных стандартов и практик организации инженерной деятельности и обеспечивающих управление жизненным циклом технических систем в энергетике на уровне лучших мировых образцов.

В целом специалисты констатируют, что сегодня в нашей стране практически отсутствует персонал, готовый к планомерному, профессиональному применению положений и рекомендаций системной инженерии в практике создания систем и управления их полным жизненным циклом, причем такой персонал планомерно и целенаправленно, с опорой на понимание нужд индустрии и общества в целом никто не готовит.

Остаётся не осознанной, по существу, сама необходимость современного образования в системной инженерии. Учебно-методическое и другое ресурсное обеспечение такого образования планомерно не развивается. Вся работа ложится на плечи отдельных энтузиастов. Благодаря их усилиям курс «Системная инженерия» читается сегодня в МФТИ, МИРЭА и МИСиС, в Уральском федеральном университете. Программа обучения системной инженерии в 2012 г. включена в каталог учебных программ и курсов учебно-методического центра Всероссийского научно-исследовательского института по эксплуатации атомных электростанций (ВНИИАЭС).

## 6. Задачи становления системной инженерии в России

Специалисты указывают на актуальность следующих задач становления системной инженерии в России.

### 6.1. Задачи промышленности

Практическое освоение подходов и методов системной инженерии должно стать базовой задачей крупных промышленных компаний. Это потребует переосмысления и внедрения новых методов и инструментов управления жизненным циклом технических систем, и для организации данной работы необходимо будет создавать корпоративные центры компетенций по системной инженерии. Задачей таких центров будет не только освоение и применение для решения практических задач новых стандартов, методов, инструментов, но и формирование специальных условий для интенсивного «выращивания» системных инженеров организации. Создание «центров компетенций» в сферах, сохраняющих научно-технические заделы мирового уровня, предусматривает Стратегия инновационного развития РФ на период до 2020 г.

Важно организовать межкорпоративный обмен профессиональным опытом и координацию исследовательских программ, направленных на адаптацию и развитие различных методов и инструментов в применении к техническим системам в российской промышленности. Кооперация профессионального сообщества системных инженеров может быть организована на координационных площадках различного типа, например, на базе российского отделения INCOSE.

Необходимо организовать разработку стандартов в отраслях промышленности на основе лучшей практики управления жизненным циклом технических систем и использования подходов и методов системной инженерии.

### 6.2. Задачи системы образования

Критически важно сформировать образовательные программы в сфере системной инженерии. Помимо обучения студентов необходима программа повышения квалификации профессиональных инженеров и менеджеров, уже имеющих практический опыт управления техническими системами. Такие программы могут быть созданы на базе специализированных государственных учебных заведений.

При разработке образовательных программ необходимо учитывать, что в процессе обучения потребуется преодолеть старые парадигмы (стереотипы) в инженерном и менеджерском сознании. Их преодоление возможно в ходе специальным образом организованной практики и процессов обучения, не сводящихся к лекционным курсам и чтению учебников, а использующих так называемые активные методы. Необходимо в процессе обучения обеспечить переход от старых мыслительных парадигм к новым по многим аспектам: от редуционистского подхода — к системному, от рабочего проектирования — к

обязательному предварительному архитектурному (системному) проектированию, от документоцентризма — к датацентризму, от работы «для одного хозяина» — к работе со множеством заинтересованных сторон, переход к моделицентричной реализации проектов создания и развития технических систем и другие.

При формировании системы подготовки квалифицированных системных инженеров полезно принять во внимание, что в основе успешного функционирования подобной системы за рубежом лежит несколько факторов, среди которых можно выделить:

- ♦ наличие готового к использованию методологического базиса системной инженерии и управления ЖЦ, созданного силами крупнейших технических университетов, индустрии и профессиональных организаций, таких как IEEE и INCOSE;
- ♦ активную работу по совершенствованию и развитию этого базиса с одновременным привлечением ведущих специалистов высшей школы, науки и индустрии;
- ♦ наличие сертифицированных программ дополнительного образования, реализуемых под эгидой ведущих профессиональных организаций,
- ♦ активное участие работодателей в формировании и реализации программ дополнительной подготовки системных инженеров;
- ♦ наличие качественного и разнообразного учебно-методического обеспечения с возможностью практически свободного доступа к нему, а также к нормативно-технической документации включая международные стандарты и стандарты организаций;
- ♦ формирование системы дистанционного образования, предлагающей открытые образовательные ресурсы высокого качества;
- ♦ наличие квалифицированных преподавателей, имеющих, помимо опыта методической работы, большой опыт работы в ведущих мировых корпорациях – разработчиках систем и в организациях – разработчиках стандартов (например, многие ведущие специалисты ISO/IEC/JTC1, включая ряд руководителей, являются одновременно университетскими профессорами).

Первостепенную важность для нашей страны имеет сегодня создание эффективной системы переподготовки и повышения квалификации кадров по системной инженерии. И начинать эту работу надо и с подготовки профильных преподавателей по системной инженерии, поскольку в сегодняшней России их, по существу, нет.

## 7. Анализ ООП магистратуры ТПУ

Рассмотрение с точки зрения преподавания системной инженерии 25-ти действующих в ТПУ ООП магистерской подготовки и 1-ой подготовленной к вводу в действие позволяет в целом констатировать:

- ♦ требования ООП к подготовке магистров в области техники и технологий в той или иной мере включают в себя элементы и терминологию системной инженерии;
- ♦ ни одна ООП прямо или косвенно не противоречит подходам, принципам и стандартам системной инженерии;
- ♦ объекты и виды профессиональной деятельности магистров реализуемых в ТПУ направлений подготовки в области техники и технологий напрямую связаны с системной инженерией, жизненными циклами систем и объектов, управлением и предвидением изменений в области сложных систем (см. Приложение 1); **в меньшей мере это относится к профессиональным компетенциям магистров.**

Вместе с тем относительно объектов профессиональной деятельности и этапов их жизненного цикла, а также формируемых компетенций образовательные программы магистратуры весьма неоднородны. Условно их можно разделить на три группы, каждая из которых имеет разный исходный уровень и ориентирована на разный уровень подготовки и набор требований с позиции системной инженерии.

**Первая группа включает в себя 6 ООП**, связанных с автоматизацией технологических процессов и IT-технологиями. Эти ООП в наибольшей мере отвечают требованиям подготовки магистров с компетенциями в области системной инженерии. Магистранты изучают дисциплины, в которых им преподносятся основная терминология, понятия, методы и подходы, используемые в системной инженерии. Частичная база закладывается на уровне предшествующей бакалаврской подготовки. При этом только в одной ООП по направлению 230400 «Информационные системы и технологии» (Институт кибернетики, кафедра ВТ) введена на основе требований ФГОС дисциплина «Системная инженерия».

**Вторая группа объединяет 11 ООП** (141100 «Энергетическое машиностроение»<sup>11</sup>, 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника», 150700 «Машиностроение» и др.), направленных на формирование компетенций, необходимых для создания, эксплуатации и сервисного обслуживания устройств, аппаратов и агрегатов. Эти ООП призваны обеспечивать подготовку магистров, которые потенциально готовы применять системную инженерию в своей профессиональной деятельности. Их отличает сравнительно большая проектная практика, почти во всех ООП этой группы в той или мере представлены дисциплины профессионального цикла, где закладываются основы, знания и навыки проектирования,

---

<sup>11</sup> ООП на стадии подготовки к аккредитации.

конструирования, дизайна, а в отдельных случаях элементы системного анализа. Из ступени бакалаврской подготовки магистранты выносят опыт проектирования объектов профессиональной деятельности, однако как в ООП магистратуры, так и в предшествующей бакалаврской подготовке они практически не погружены в предмет системной инженерии, международные стандарты и в малой степени владеют современной терминологией.

**Третья группа включает в себя 9 ООП** (150100 «Материаловедение и технология материалов», 240100 «Химическая технология» и др.), в том числе к ней примыкает ООП по направлению 112000 «Физика». Общим и доминирующим признаком этой группы ООП является направленность на формирование компетенций, связанных с технологическими процессами и явлениями, относящимися к естественным наукам. Магистерские программы ориентированы на анализ процессов, проектирование и управление ими в сфере технологий. Как и ООП второй группы, они не закладывают значимого базиса для системной инженерии.

В Приложении 1 перечислены объекты и виды профессиональной деятельности, общекультурные и профессиональные компетенции по направлениям магистерской подготовки ТПУ, разделённых на три группы.

## 8. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПРЕПОДАВАНИЯ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ В ТПУ

Как показано выше, появление и возрастание роли системной инженерии в мировом индустриальном сообществе — закономерный процесс. Именно системная инженерия является методологической основой при осуществлении деятельности по созданию и эксплуатации сложных систем, устройств и технологий. В ведущих технологических университетах мира системная инженерия стала важной и обязательной дисциплиной при подготовке магистров, предполагающих заниматься разработкой и эксплуатацией таких систем и технологий.

Анализ значительного числа ООП подготовки магистров техники и технологии в ТПУ, сделанный на основе зарубежного опыта преподавания системной инженерии, позволяет сформулировать следующие **выводы**.

1. Только в магистерской программе на основе ФГОС по направлению 230400 «Информационные системы и технологии» ИК введена дисциплина «Системная инженерия».
2. В большинстве анализируемых магистерских программ объекты и виды профессиональной деятельности, методы проектирования систем не противоречат методологии системной инженерии (системный подход, основы системного анализа и т.д.). В нескольких магистерских программах (150700 Машиностроение, 221400 Управление качеством и т.д.) элементы системной инженерии явно отсутствуют.
3. Магистерские программы ТПУ по ряду определяющих признаков (объекты профессиональной деятельности, этапы их жизненного цикла, формируемые компетенции и др.) могут быть разделены на три группы с позиции подготовки в области системной инженерии.

Опираясь на серьезный зарубежный и скромный отечественный опыт, а также на проведенный анализ ООП подготовки магистров в области техники и технологии, можно сформулировать следующие **предложения** по становлению преподавания системной инженерии в ТПУ.

1. Элементы системной инженерии целесообразно и необходимо вводить в ООП бакалавриата. Для быстрого решения этой задачи начала прикладного системного анализа могут быть встроены в виде модулей в существующие дисциплины второго семестра первого курса и в дисциплины второго курса. В рамках таких модулей рекомендуется также знакомить студентов с языками архитектурного описания систем (Archimate, SysML). Азы управления проектами должны даваться студентам перед началом творческих проектов (второй семестр) в рамках многосеместрового модуля *Подготовка к комплексной инженерной деятельности*, при этом руководителями образова-

тельных программ должна быть выстроена стратегия формирования компетенции проектной и исследовательской деятельности.

2. Учитывая большое разнообразие магистерских ООП в ТПУ и возможность разделения всех ООП магистратуры, как показал вышеприведенный анализ, по трем группам, провести разработку трёх унифицированных дисциплин «Системная инженерия» разной сложности. При этом для второй и третьей групп ООП магистратуры эти курсы могут иметь одинаковую теоретическую часть, но различаться по наполнению практической составляющей.
3. Руководителям и разработчикам ООП рекомендовать включить в Общие положения ООП (в цели, результаты обучения, или уже в декомпозированные знания, умения и владения, в зависимости от направления и уровня подготовки) подходы и понятия системной инженерии для органичной интеграции и акцентировании внимания в рамках ООП.
4. При экспертизе разрабатываемых ООП учитывать и оценивать соответствие формируемых компетенций выпускника требованиям и стандартам системной инженерии как в Общих положениях ООП, так и на уровне рабочих программ дисциплин (особенно вариативных, профильных, специфичных).
5. Организовать разработку 1-2 интегрированных компетенций по системной инженерии и рекомендовать всем руководителям ООП (в области техники и технологий) включение таких компетенций в свои образовательные программы.
6. Необходимо решить проблему подготовки преподавательского состава, обладающего необходимыми знаниями и навыками в области
  - ♦ проектирования дисциплин «Основы прикладного системного анализа» и «Основы управления проектами» в рамках бакалаврских ООП и проектирования дисциплины «Системная инженерия» в рамках магистерских программ.
  - ♦ преподавания вышеуказанных дисциплин.

Представляется рациональным, прежде всего, обучить основам системной инженерии руководителей бакалаврских и магистерских ООП. Для таких руководителей также следует создать методические рекомендации, позволяющие им при проектировании ООП логично встраивать в программы модули вышеуказанных дисциплин (или дисциплины) и дисциплину «Системная инженерия».

Затем организовать обучение основам системной инженерии или основам прикладного системного анализа преподавателей, вовлеченных в реализацию магистерских ООП, и/или обучение управления проектами преподавателей, обеспечивающих все (!) дисциплины программ подготовки бакалавров. Проектный метод обучения должен использоваться в той или иной мере преподавателями всех дисциплин, что обеспечит последовательное фор-

мирование навыков проектирования, личностных и межличностных умений студентов, формирование соответствующих компетенции выпускников.

Безусловно, продолжить начатую в 2011-12 гг. практику проведения методических семинаров по расширению внедрения проектного метода обучения.

7. Организовать оказание дополнительных образовательных услуг по дисциплинам «Системная инженерия» или «Основы системной инженерии» при переподготовке специалистов проектных институтов и промышленных предприятий. Это будет иметь и обратное воздействие со стороны предприятий-заказчиков выпускаемых университетом специалистов в части влияния их на формирование ООП, в том числе на формирование требований к компетенциям выпускников в сфере системной инженерии и проектно-исследовательской деятельности.

## 9. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Батоврин В. К.<sup>12</sup> Образование в системной инженерии – проблемы подготовки специалистов для создания конкурентоспособных систем // Интернет – журнал «Открытое образование». — 2010, №2.
2. Батоврин В. К. Современное состояние международных стандартов системной и программной инженерии // Бизнес-информатика. — 2009, №3.
3. Волкова В. Н. Из истории теории систем и системного анализа. — СПб.: Изд-во СПбГТУ. — 2001.
4. Кузнецова Н. И. Познающее мышление и социальное действие. Наследие Г. П. Щедровицкого в контексте отечественной и мировой философской мысли. — М.: Ф.А.С.-медиа. — 2004.
5. Левенчук А. И.<sup>13</sup> Десять гармонизированных подходов системной инженерии // <http://ailev.livejournal.com/699665.html> (30.06.2009).
6. Левенчук А. И. Проблемы в «Искусстве и науке системной инженерии» // <http://ailev.livejournal.com/803770.html> (25.02.2010).
7. Сенченя Г. И.<sup>14</sup> Инновационное развитие России // Информационное агентство «ПРОАтом» (08.06.2012).
8. Холкин Д. В.<sup>15</sup> Системная инженерия — новая профессия для новой энергетики // Энергоразвитие. — 2010, №3 (13) .
9. Учебно-методический центр ВНИИАЭС<sup>16</sup>. Каталог программ повышения квалификации, профессиональной переподготовки на 2012 г.
10. Buede, D. M. The engineering design of systems. Models and methods. John Wiley & Sons, 2009.
11. Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK) version 0.75.
12. NASA Systems Engineering Handbook. NASA. 1995. SP-610S.
13. Systems Engineering Handbook, version 2a. INCOSE, 2004.
14. The CDIO Standards // <http://www.cdio.org/implementing-cdio/standards/12-cdio-standards>, 2004.

---

<sup>12</sup> Батоврин В. К. — к. т. н., заведующий кафедрой «Информационные системы» Московского государственного института радиотехники, электроники и автоматики, член российского отделения INCOSE

<sup>13</sup> Левенчук А. И. — президент российского отделения INCOSE, гендиректор консалтинговой компании TechInvestLab.com

<sup>14</sup> Сенченя Г. И. — заместитель директора Департамента инновационного и корпоративного управления Минэкономразвития России

<sup>15</sup> Холкин Д. В. — директор по инновационному развитию в электроэнергетике ЗАО «Агентство по прогнозированию балансов в электроэнергетике»

<sup>16</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций

## Приложение 1. Объекты и виды профессиональной деятельности и компетенции по направлениям магистерской подготовки ТПУ

Направление подготовки магистратуры	Объекты профессиональной деятельности	Виды профессиональной деятельности	Общекультурные компетенции Профессиональные компетенции
<b>Группа 1</b>			
10400 — Прикладная математика и информатика	Высокопроизводительные вычисления и технологии параллельного программирования; вычислительные нанотехнологии; интеллектуальные системы; биоинформатика; системное программирование; средства, технологии, ресурсы и сервисы электронного обучения и мобильного обучения; прикладные Интернет-технологии; автоматизация научных исследований; языки программирования, алгоритмы, библиотеки и пакеты программ, продукты системного и прикладного программного обеспечения; автоматизированные системы вычислительных комплексов		Способность управлять проектами/подпроектами, планировать научно-исследовательскую деятельность, анализировать риски, управлять командой проекта; способность разрабатывать и оптимизировать бизнес-планы научно-прикладных проектов; исследование операций и системный анализ; оптимизация и оптимальное управление; системное программирование
220700 — Автоматизация технологических процессов и производств	Системы автоматизации производственных и технологических процессов изготовления продукции различного служебного назначения, управления её жизненным циклом и качеством, контроля, диагностики и испытаний	Исследования в области автоматизации технологических процессов и производств, управления жизненным циклом продукции и её качеством; проектирование архитектурно-программных комплексов автоматизированных и автоматических систем управления, контроля, диагностики и испытаний общепромышленного и специального назначения для различных отраслей национального хозяйства	Составление описаний принципов действия и устройств проектируемых технических средств и систем автоматизации, управления, контроля и диагностики технологических процессов и производств; поиск оптимальных решений при создании продукции, разработке автоматизированных технологий и производств, средств их технического и аппаратно-программного обеспечения с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты обеспечение необходимой жизнестойкости средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления при изменении действия внешних факторов, снижающих эффективность их функционирования и планирование мероприятий по постоянному улучшению качества продукции; разработка функциональной, логической и технической организации автоматизированных и автоматических производств, их элементов, технического, алгоритмического и программного обеспечения на базе современных методов, средств и технологий проектирования
230400 — Информационные системы и технологии	Информационные процессы, геоинформационные системы и технологии, их инструментальное (программное, техническое, организационное) обеспечение; способы и методы проектирования, отладки, производства и эксплуатации геоинформационных систем и технологий	Управление технологическими процессами; разработка стратегии проектирования, определение целей проектирования, критериев эффективности, ограничений приме-	Нахождение компромисса между различными требованиями (стоимости, качества, сроков исполнения) как при долгосрочном, так и при краткосрочном планировании, нахождение оптимальных решений; разработка и исследование теоретических и экспериментальных моделей объектов профессиональной деятельности; разработка и исследование методик анализа, синтеза, оптимизации и прогнозирования качества процессов функционирования этих объектов;

Направление подготовки магистратуры	Объекты профессиональной деятельности	Виды профессиональной деятельности	Общекультурные компетенции Профессиональные компетенции
		нимости; прогнозирование развития информационных систем и технологий	подготовка заданий на проектирование компонентов информационных систем и технологий на основе методологии системной инженерии
220400 — Управление в технических системах	Продукция и оборудование различного служебного назначения предприятий и организаций, производственные и технологические процессы её изготовления; системы автоматизации производственных и технологических процессов изготовления продукции различного служебного назначения, управления её жизненным циклом и качеством, контроля, диагностики и испытаний; средства технологического оснащения автоматизации, управления, контроля, диагностирования, испытаний основного и вспомогательного производств, их математическое, программное, информационное и техническое обеспечение в различных отраслях национального хозяйства	Поддержка единого информационного пространства планирования и управления предприятием на всех этапах жизненного цикла производимой продукции	Способностью использовать современные технологии обработки информации, современные технические средства управления, вычислительную технику, технологии компьютерных сетей и телекоммуникаций при проектировании систем автоматизации и управления; готовностью участвовать в поддержании единого информационного пространства планирования и управления предприятием на всех этапах жизненного цикла производимой продукции
221700 — Стандартизация и метрология	Продукция (услуги) и технологические процессы; оборудование предприятий и организаций, метрологических и испытательных лабораторий; методы и средства измерений, испытаний и контроля; техническое регулирование, системы стандартизации, сертификации и управления качеством, метрологическое обеспечение научной, производственной, социальной и экологической деятельности		Обеспечение выполнения заданий по разработке новых, пересмотру и гармонизации действующих технических регламентов, стандартов и других документов по техническому регулированию, стандартизации, сертификации, метрологическому обеспечению и управлению качеством; разработка процедур по реализации процесса подтверждения соответствия; обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами; обеспечение надежности и безопасности на всех этапах жизненного цикла продукции; поддерживать единое информационное пространство планирования и управления предприятием на всех этапах жизненного цикла изделий
230100 — Информатика и вычислительная техника	Вычислительные машины, комплексы, системы и сети; автоматизированные системы обработки информации и управления; системы автоматизированного проектирования и информационной поддержки жизненного цикла промышленных изделий; программное обеспечение средств вычислительной техники и автоматизированных систем (программы, программные комплексы и системы); математическое, информационное, техническое, лингвистическое, программное, эргономическое, организационное и правовое обеспечение перечисленных систем		Поиск оптимальных решений при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты
<b>Группа 2</b>			
20700 — Геология	Земля, земная кора, литосфера, горные породы, подземные воды; месторождения твердых и жидких полезных ископаемых; минералы, кристаллы, геохимические поля и процессы; подземные воды, геологическая среда природные и техногенные геологические процессы		Способен свободно и творчески пользоваться современными методами обработки и интерпретации комплексной геологической, геофизической, геохимической, гидрогеологической, нефтегазовой и эколого-геологической информации для решения научных и практических задач, в том числе находящихся за пределами непосредственной сферы деятельности
131000 — Нефтегазо-	Технологические процессы и устройства для строительства, ремонта,		Разрабатывать и обосновывать технические, технологические, тех-

Направление подготовки магистратуры	Объекты профессиональной деятельности	Виды профессиональной деятельности	Общекультурные компетенции Профессиональные компетенции
вое дело	реконструкции и восстановления нефтяных и газовых скважин на суше и на море; технологические процессы и устройства для добычи нефти и газа, сбора и подготовки скважинной продукции на суше и на море; технологические процессы и устройства для промышленного контроля и регулирования извлечения углеводородов; технологические процессы и устройства для трубопроводного транспорта нефти и газа, подземного хранения газа; технологические процессы и устройства для хранения и сбыта нефти, нефтепродуктов и сжиженных газов		нико-экономические, социально-психологические и другие необходимые показатели характеризующие технологические процессы, объекты, системы, проекты, нефтегазовые организации; осуществлять поиск оптимальных решений при создании технологий и оборудования нефтегазовых предприятий с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты; проводить многокритериальную оценку выгод от реализации технологических процессов, проектов, работы нефтегазовой организации
151900 — Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств	Машиностроительные производства, их основное и вспомогательное оборудование, комплексы, инструментальная техника, технологическая оснастка, средства проектирования, автоматизации и управления; производственные и технологические процессы машиностроительных производств, средства их технологического, инструментального, метрологического, диагностического, информационного и управленческого обеспечения, их исследование, проектирование, освоение и внедрение; складские и транспортные системы машиностроительных производств; системы машиностроительных производств, обеспечивающие подготовку производства, управление им, метрологическое и техническое обслуживание, безопасность жизнедеятельности, защиту окружающей среды; средства, методы и способы, предназначенные для создания и эксплуатации станочных, инструментальных, робототехнических, информационно-измерительных, диагностических, информационных, управляющих и других технологически ориентированных систем для нужд машиностроения		Структурный подход к проектированию, изготовлению, эксплуатации и переработки машиностроительных изделий; методы решения научных и технических проблем в машиностроении
140100 — Теплоэнергетика и теплотехника	Тепловые и атомные электрические станции; энергетические паровые, водогрейные котлы; реакторы и парогенераторы атомных электростанций; паровые и газовые турбины; энергоблоки, парогазовые и газотурбинные установки; тепловые насосы, вспомогательное оборудование тепловых электростанций (тепло- и массообменные аппараты, насосы, вентиляторы, компрессоры, системы топливо- и воздушоснабжения, удаления остаточных продуктов технологического процесса, трубопроводы); тепловые сети систем централизованного теплоснабжения; технологии и оборудование для проведения аварийных и плановых ремонтов энергетического оборудования		Готовность проведения технических расчетов по проектам, технико-экономического и функционально- стоимостного анализа эффективности проектных решений; методы создания и анализа моделей, позволяющих прогнозировать свойства и поведение объектов профессиональной деятельности; выбирать оптимальные пути решения производственных проблем в соответствии с профилем подготовки; определять оптимальные производственно-технологические режимы работы промышленных объектов
140400 — Электроэнергетика и электротехника	Электрические станции и подстанции; электроэнергетические системы и сети; системы электроснабжения объектов техники и отраслей хозяйства; электроэнергетические, электротехнические, электрофизические и технологические установки высокого напряжения; устройства автоматического управления и релейной защиты в электроэнергетике; энергетические установки, электростанции и комплексы на базе нетрадиционных и возобновляемых источников		Готовностью применять методы анализа вариантов, разработки и поиска компромиссных решений; способностью применять методы создания и анализа моделей, позволяющих прогнозировать свойства и поведение объектов профессиональной деятельности; готовностью использовать элементы экономического анализа в организации и проведении практической деятельности на предприятии

Направление подготовки магистратуры	Объекты профессиональной деятельности	Виды профессиональной деятельности	Общекультурные компетенции Профессиональные компетенции
	<p>энергии; электрические машины, трансформаторы, электромеханические комплексы и системы, включая их управление и регулирование; электрические и электронные аппараты, комплексы и системы электромеханических и электронных аппаратов, автоматические устройства и системы управления потоками энергии; электрическая изоляция электроэнергетических и электротехнических устройств, кабельные изделия и провода, электрические конденсаторы, материалы и системы электрической изоляции кабелей, электрических конденсаторов; электрический привод и автоматика механизмов и технологических комплексов в различных отраслях хозяйства; электротехнологические установки и процессы, установки и приборы электроннагрева; различные виды электрического транспорта и средства обеспечения оптимального функционирования транспортных систем; элементы и системы электрического оборудования автомобилей и тракторов; судовые автоматизированные электроэнергетические системы, преобразовательные устройства, электроприводы энергетических, технологических и вспомогательных установок, их систем автоматизации, контроля и диагностики; электроэнергетические системы, преобразовательные устройства и электроприводы энергетических, технологических и вспомогательных установок, их системы автоматизации, контроля и диагностики на летательных аппаратах; электрическое хозяйство промышленных предприятий, все заводское электрооборудование низкого и высокого напряжения, электротехнические установки, сети предприятий, организаций и учреждений</p>		
150700 — Машиностроение	<p>Объекты машиностроительного производства, технологическое оборудование и инструментальная техника; сварочное оборудование и средства его автоматизации; производственные технологические процессы, их проектирование, разработка и освоение новых технологий; средства информационного, метрологического, диагностического и управленческого обеспечения технологических систем для достижения качества выпускаемых изделий</p>		<p>Способность обеспечивать управление программами освоения новой продукции и технологий, проводить оценку производственных и непроизводственных затрат на обеспечение требуемого качества продукции, анализировать результаты деятельности производственных подразделений</p>
200400 — Опотехника	<p>Взаимодействие электромагнитного излучения оптического диапазона с веществом; разработка, создание, использование оптических, оптико-электронных, лазерных приборов, систем и комплексов; технологии производства оптических элементов, материалов, приборов и систем; лазерные технологии различного назначения; элементная база оптической, оптико-электронной и лазерной техники; программное обеспечение и компьютерные технологии в опотехнике</p>		<p>Анализировать, критически оценивать и интегрировать опыт практической деятельности и исследований в профессиональной области и социально-личностной среде; навыками нахождения оптимальных решений при создании оптической продукции с учетом требований качества, стоимости, сроков исполнения, конкурентоспособности и безопасности жизнедеятельности</p>
200100 — Приборостроение	<p>Электронно-механические, магнитные электромагнитные, оптические, теплофизические, акустические и акустооптические методы; приборы, комплексы, системы и элементная база приборостроения;</p>		<p>Способность принимать решения по результатам расчетов по проектам и результатам технико-экономического анализа эффективности проектируемых приборных систем</p>

Направление подготовки магистратуры	Объекты профессиональной деятельности	Виды профессиональной деятельности	Общекультурные компетенции Профессиональные компетенции
	технология производства элементов, приборов и систем, а также программное обеспечение и информационно-измерительные технологии в приборостроении		
210100 — Электроника и нанoeлектроника	Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования, технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач, современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и нанoeлектроники		Способностью владеть методами проектирования технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства; готовностью участвовать в поддержании единого информационного пространства планирования и управления предприятием на всех этапах жизненного цикла производимой продукции
222000 — Инноватика	Программы и проекты инновационного развития территорий, предприятий и организаций; теория управления инновационными процессами		Способностью критически анализировать современные проблемы инноватики, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать соответствующие методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты
141100 — Энергетическое машиностроение	Паровые и водогрейные котлы и котлы-утилизаторы; парогенераторы; камеры сгорания; ядерные реакторы и энергетические установки; паро- и газотурбинные установки и двигатели; средства автоматизации энергетических установок и комплексов; энергетические установки на основе нетрадиционных и возобновляемых видов энергии; вспомогательное оборудование, обеспечивающее функционирование энергетических объектов; технологии и оборудование для энергетического машиностроения		Готовностью осуществлять анализ различных вариантов, искать и вырабатывать компромиссные решения; способностью использовать знание теоретических основ рабочих процессов в энергетических машинах, аппаратах и установках, методов расчетного анализа объектов профессиональной деятельности; готовностью на основе системного подхода строить и использовать модели для описания и прогнозирования различных явлений, осуществлять их качественное и количественное состояние объектов профессиональной деятельности, анализировать и разрабатывать рекомендации по дальнейшей эксплуатации
<b>Группа 3</b>			
240100 — Химическая технология	Химические вещества и материалы; методы и приборы определения состава и свойств веществ и материалов; оборудование, технологические процессы и промышленные системы получения веществ, материалов, изделий, а также системы управления ими и регулирования;		Поиск оптимальных решений при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения; разработка различных вариантов технологического процесса, анализ этих вариантов прогнозирование последствий, нахождение компромиссных решений в условиях многокритериальности и неопределенности, планирование реализации проекта; оценка производственных и непроизводственных затрат на обеспечение качества продукции, проведение маркетинга и подготовка бизнес-планов выпуска и реализации перспективной и конкурентоспособной продукции
22000 — Экология и природопользование	Природные, антропогенные, природно-хозяйственные, эколого-экономические, производственные, социальные, общественные территориальные системы и структуры на глобальном, национальном, региональном и локальном уровнях, а также государственное планирование, контроль, мониторинг, экспертиза экологических составляющих всех форм хозяйственной деятельности	Проведение комплексных исследований отраслевых, региональных, национальных и глобальных экологических проблем, разработка	

Направление подготовки магистратуры	Объекты профессиональной деятельности	Виды профессиональной деятельности	Общекультурные компетенции Профессиональные компетенции
		рекомендаций по их разрешению	
241000 — Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Основные химические, нефтехимические и биотехнологические производства; процессы и аппараты в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии; промышленные установки и технологические схемы, включая системы автоматизированного управления; автоматизированные системы научных исследований и системы автоматизированного проектирования; сооружения очистки сточных вод и газовых выбросов, переработки отходов, утилизации теплоэнергетических потоков и вторичных материалов; методы и средства оценки состояния окружающей среды и защиты её от антропогенного воздействия; системы искусственного интеллекта в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии; многоассортиментные производства химической и смежных отраслей промышленности		Способностью к проектной деятельности в профессиональной сфере на основе системного подхода и использования моделей для описания и прогнозирования ситуаций, осуществления качественного и количественного анализа процессов в целом и отдельных технологических стадий
150100 — Материаловедение и технология материалов	Основные типы современных конструкционных и функциональных неорганических (металлических и неметаллических) и органических (полимерных и углеродных) материалов; композитов и гибридных материалов; сверхтвердых материалов; интеллектуальных и наноматериалов, пленок и покрытий; методы и средства испытаний и диагностики, исследования и контроля качества материалов, пленок и покрытий, полуфабрикатов, заготовок, деталей и изделий, все виды исследовательского, контрольного и испытательного оборудования, аналитической аппаратуры, компьютерное программное обеспечение для обработки результатов и анализа полученных данных, моделирования поведения материалов, оценки и прогнозирования их эксплуатационных характеристик; технологические процессы производства, обработки и модификации материалов и покрытий, деталей и изделий; оборудование, технологическая оснастка и приспособления; системы управления технологическими процессами	Связывать физические и химические свойства материалов и явления, протекающие в них, с технологическими процессами производства, обработки и переработки материалов и их эксплуатационной надежностью и долговечностью	Знает и умеет использовать основные категории и понятия общего и производственного менеджмента в профессиональной деятельности, владеет навыками анализа технологического процесса как объекта управления, проведения стоимостной оценки основных производственных ресурсов, обобщения и анализа информации по использованию ресурсов предприятия
201000 — Биотехнические системы и технологии	Приборы, системы и комплексы медико-биологического и экологического назначения; методы и технологии выполнения медицинских, экологических и эргономических исследований; автоматизированные системы обработки биомедицинской и экологической информации; биотехнические системы управления, в контур которых в качестве управляющего звена включен человек-оператор; биотехнические системы обеспечения жизнедеятельности человека и поддержки процессов жизнедеятельности других биологических объектов; системы автоматизированного проектирования и информационной поддержки биотехнических систем и технологий; биотехнические системы и технологии для здравоохранения; системы проектирования, технологии производства и обслуживания биоме-		Основные принципы системного подхода, на которых базируется анализ и синтез биотехнических систем и технологий

Направление подготовки магистратуры	Объекты профессиональной деятельности	Виды профессиональной деятельности	Общекультурные компетенции Профессиональные компетенции
	дицинской техники		
221400 — Управление качеством	Системы менеджмента качества, образующие их организационные структуры, методики, процессы и ресурсы, способы и методы их исследования, проектирования, отладки, эксплуатации, аудирования и сертификации в различных сферах деятельности. Объектами управления качеством являются организации промышленности, сельского хозяйства, энергетики, транспорта, торговли, медицины, образования и т.д. Всех форм собственности; технологические, производственные и бизнес-процессы, охватывающие все этапы жизненного цикла продукции		Способностью прогнозировать динамику, тенденции развития объекта, процесса, задач, проблем, их систем, пользоваться для этого формализованными моделями, методами; способностью формулировать цели проекта (программы) решения задач (проблем), критерии и показатели достижения целей, выстраивать структуры их взаимосвязей
280100 — Природообустройство и водопользование	Геосистемы различного ранга и их компоненты: почвы, грунты, поверхностные и подземные воды, воздушные массы тропосферы, растительный и животный мир; природно-техногенные комплексы: мелиоративные системы, инженерно-экологические системы, системы рекультивации земель, природоохранные комплексы, водохозяйственные системы и другие природно-техногенные комплексы, повышающие полезность компонентов природы		Основные принципы и подходы системного анализа для построения оптимизированных моделей ситуаций принятия решений, исследования моделей и определения оптимального плана при управлении природно-техногенными комплексами
280700 — Техносферная безопасность	Человек и опасности, связанные с его деятельностью; опасности среды обитания, связанные с деятельностью человека; опасности среды обитания, связанные с опасными природными явлениями; опасные технологические процессы и производства; методы и средства оценки опасностей, риска; методы и средства защиты человека и среды обитания от опасностей; правила нормирования опасностей и антропогенного воздействия на окружающую природную среду; методы, средства и силы спасения человека		Понятия, концепции, принципы и методы системного анализа, обеспечения и совершенствования безопасности процессов и систем производственного назначения
11200 — Физика	Государственные и частные научно-исследовательские и производственные организации, связанные с решением физических проблем		Способность самостоятельно с применением современных компьютерных технологий анализировать, обобщать и систематизировать результаты физических работ