

12+

ВИКТОР НИКОЛАЕВИЧ ПОТЕХИН

**ПОДГОТОВКА КАДРОВ
КОМПАНИЙ БУДУЩЕГО**

АРХИТЕКТУРА ПРОРЫВА



Виктор Потехин
Подготовка кадров
Компаний Будущего.
Архитектура прорыва

<https://litres.ru/74306972>

ISBN 9785007088176

Аннотация

Эта книга адресована руководителям, собственникам и стратегам, которые сознательно выстраивают организации нового типа уже сегодня.

Если вы строите Компанию Будущего, эта книга станет вашей системой координат и набором рабочих инструментов. Потому что в новую технологическую эру входят не те, у кого просто лучше оборудование, а те, кто сумел выстроить архитектуру прорыва из людей, способных эту технологию создать, защитить и масштабировать.

Содержание

Подробное оглавление	5
Предисловие	16
Введение	20
Характер кадров	33
Особенности подготовки кадров	56
Процессы подготовки кадров, происходящие в Фазе 1	79
Проблемы и риски в подготовке кадров	111
Конец ознакомительного фрагмента.	116

Подготовка кадров Компаний Будущего Архитектура прорыва

**Виктор Николаевич
Потехин**

© Виктор Николаевич Потехин, 2026

ISBN 978-5-0070-8817-6

Создано в интеллектуальной издательской системе Ridero

Подробное оглавление

Предисловие

Введение

Современная эпоха и технологические циклы. Логика технологического цикла: почему подготовка кадров на каждой фазе — это разные миры? Почему эта книга важна именно сейчас? Эта книга — о Фазе 1. Фаза 1 — это не «начало». Это архитектура будущего. О чём эта книга? Главный тезис книги. Для кого эта книга? Обещание читателю. Последний вопрос

Характер кадров

Междисциплинарное мышление (T-shaped профиль). Ориентация на системное мышление. Ориентация на практику, а не на теорию. Способность к непрерывному обучению и адаптации. Готовность учиться без «дорожной карты». Высокая толерантность к неопределённости и стрессу. Коллаборативность и открытость. Предпринимательская инициативность. Долгосрочная ориентация и вера в идею. Инициативность и ответственность за результат. Критическое мышление и готовность оспаривать устоявшиеся представления. Этическая ответственность и осознание последствий технологий. Способность работать в условиях ограниченных ресурсов. Готовность к межкультурной и межинституциональной коммуникации

Особенности подготовки кадров

Отсутствие готовых образовательных программ. Междисциплинарный характер компетенций. Акцент на практических, а не теоретических навыках. Высокая роль неформального обучения. Подготовка кадров — это часть научных исследований и научных разработок, а не HR-функция. Ориентация на формирование «архитекторов будущего», а не исполнителей. Психологическая устойчивость к неопределённости и неудачам. Глубокая вовлечённость в миссию и смысл работы. Отсутствие чётких границ между ролями и функциями. Обучение как процесс совместного осмысления, а не передачи знаний. Минимальная формализация и максимальная гибкость процессов обучения. Интеграция обучения с научной и инженерной документацией. Высокая роль обратной связи от внешней среды как источника обучения. Обучение через создание инфраструктуры будущего

Процессы подготовки кадров, происходящие в Фазе 1

Формирование междисциплинарных команд. Разработка внутренних образовательных программ. Привлечение внешней экспертизы. Обучение методам экспериментальной работы. Подготовка к работе в условиях неопределённости. Формирование культуры «архитекторов будущего». Создание условий для психологической безопасности. Интеграция обучения, исследований и производства. Систематизация и фиксация «живого» опыта с первого дня. Проектирование

карьерных траекторий как часть вовлечения. Создание «песочниц» для безопасного экспериментирования. Раннее вовлечение органов регулирования и ключевых стейкхолдеров в процесс обучения. Создание «минимально жизнеспособной образовательной системы» (MVES) параллельно с MVP продукта. Формирование «команды-ядра» как носителя технологического ДНК. Ключевые различия процессов «формирования междисциплинарных команд» и «создания команды-ядра»

Проблемы и риски в подготовке кадров

Дефицит междисциплинарных специалистов на рынке труда. Высокая стоимость подготовки (время, ресурсы, экспертиза). Риск ухода ключевых сотрудников после получения уникальных компетенций. Отсутствие стандартизации, каждый проект требует своей программы. Зависимость от «звёзд» — успех может быть привязан к одному-двум людям. Недооценка роли неформального знания и его утраты. Сопротивление со стороны «старой» культуры компании. Отсутствие долгосрочной стратегии удержания кадров в будущем. Несоответствие между скоростью технологического прорыва и инерционностью организационных процессов. Отсутствие метрик эффективности обучения, адекватных условиям Фазы I. Недооценка времени на «вживание» в технологию. Отсутствие ранней интеграции HR в технологический процесс. Недооценка роли психологической поддержки в условиях высокой неопределённо-

сти. Отсутствие механизма раннего выявления и развития внутренних лидеров. Недооценка этической нагрузки при работе с прорывными технологиями

Стратегические действия компании

Проведение аудита компетенций и дефицитов. Создание междисциплинарной команды первопроходцев. Разработка авторских образовательных программ. Привлечение внешней экспертизы. Формирование культуры экспериментирования. Обеспечение психологической устойчивости команды. Создание системы передачи и сохранения знаний «из головы в систему». Проектирование карьерных траекторий уже на этапе Фазы 1. Изолирование инновационной команды от давления «старой» культуры. Создание «инновационного ядра» как основы технологического суверенитета. Формирование репутации как центра притяжения для талантов и партнёров. Интеграция требований внешней среды в сам процесс освоения технологии. Параллельное создание образовательного ядра вместе с технологическим прототипом. Создание «минимально жизнеспособной образовательной системы» (MVES) параллельно с MVP продукта. Формирование «команды-ядра» как носителя технологического ДНК. Создание «песочниц» для безопасного экспериментирования

Затраты при грамотной подготовке кадров

Разработка образовательных программ. Привлечение внешней экспертизы. Организация пилотного обучения. Пси-

хологическая и организационная поддержка. Инвестиции в удержание и развитие ключевых кадров. Создание инфраструктуры передачи знаний «из головы в систему». Создание «инновационной среды» как условия для эффективно-го обучения. Инвестиции в раннее выявление и развитие внутренних талантов. Инвестиции в «языковую и культурную интеграцию» междисциплинарных команд. Формирование «долгосрочного контракта доверия» с командой. Инвестиции в раннее вовлечение органов регулирования и ключевых стейкхолдеров. Инвестиции в создание «минимально жизнеспособной образовательной системы» (MVES) параллельно с MVP продукта. Инвестиции в формирование «команды-ядра» как носителя технологического ДНК. Создание «песочниц» для безопасного экспериментирования. Инвестиции в раннюю интеграцию HR-функции в технологический процесс. Инвестиции в этическую рефлексию и ответственное внедрение

Эффект от грамотной подготовки кадров

Ускорение цикла «идея — прототип — пилот». Сокращение сроков освоения технологии в 2—3 раза. Снижение рисков технологических тупиков за счёт междисциплинарного подхода. Снижение затрат на исследования и разработки за счёт целенаправленных экспериментов. Повышение качества пилотных партий за счёт глубокого понимания процессов. Формирование корпоративной памяти с первого дня. Формирование корпоративной культуры экспериментирова-

ния и непрерывного обучения. Сохранение ключевых кадров в условиях высокой неопределённости. Создание кадрового ядра для будущего масштабирования. Обеспечение технологического суверенитета и снижение зависимости от внешних решений. Формирование репутации как инновационного лидера. Ускорение выхода на международные рынки за счёт готовности к требованиям глобальных органов регулирования. Повышение инвестиционной привлекательности и доступ к стратегическому финансированию. Формирование внутреннего рынка инноваций и стимулирование следующих технологических циклов. Повышение устойчивости к кризисам и внешним шокам

Время наступления эффекта от грамотной подготовки кадров

Краткосрочный эффект (1—3 месяца). Среднесрочный эффект (6—12 месяцев). Долгосрочный эффект (1—2 года и далее)

Стратегические пути реализации

Экстенсивный подход в подготовке кадров

Массовый найм «на всякий случай». Закупка готовых коммерческих курсов. Обучение в классах, оторванное от реальных задач и практики. Полная зависимость от внешних консультантов. Отсутствие связи между обучением, исследованиями и разработками. Отсутствие междисциплинарного взаимодействия. Игнорирование неформального знания и опыта. Отсутствие стратегии удержания ключе-

вых кадров. Оценка эффективности по формальным метрикам. Подавление экспериментальной культуры и страх перед неопределённостью. Фрагментация знаний и отсутствие единой картины технологии. Отсутствие механизма передачи знаний «из головы в систему». Отсутствие раннего вовлечения HR в технологический процесс. Игнорирование этического и социального измерения новой технологии

Интенсивный подход в подготовке кадров

Подготовка малой, но междисциплинарной команды первопроходцев. Обучение в потоке работы (on-the-job). Акцент на практических навыках, а не на теории. Опора на внутреннюю экспертизу с точечным привлечением внешних специалистов. Создание и сохранение гибких, адаптивных программ. Системное документирование опыта и создание корпоративной памяти «с первого дня». Формирование культуры психологической безопасности и экспериментирования. Проектирование карьерных траекторий уже на этапе Фазы 1. Организационная и культурная защита команды от давления «старого» бизнеса. Фокус на развитии сквозных компетенций, а не только технических навыков. Создание «инновационного ядра» как основы технологического суверенитета. Интеграция обучения с процессом принятия стратегических решений. Формирование «живого цифрового следа» как основы будущего масштабирования. Раннее вовлечение органов регулирования и ключевых стейкхолдеров как часть образовательного процесса. Создание минимально жизне-

способной образовательной системы (MVES) параллельно с MVP продукта

Стратегическое значение подготовки кадров

Формирование ядра компетенций. Снижение рисков будущего. Задание темпа технологического обновления. Создание культуры инноваций, постоянного обновления. Обеспечение технологического суверенитета. Формирование репутации технологического лидера. Создание «инновационного мультипликатора» для будущих циклов. Превращение человеческого капитала в стратегический актив. Формирование «цифрового ДНК» компании как основы масштабируемости. Укрепление устойчивости к внешним шокам и кризисам. Создание условий для этически ответственного внедрения технологий. Формирование экосистемного влияния и способности задавать правила игры. Обеспечение устойчивого финансирования через демонстрацию зрелости команды. Создание основы для глобальной экспансии и технологического экспорта

Последствия неграмотной подготовки кадров

Затягивание Фазы 1. Низкое качество пилотных партий. Отсутствие ядра для масштабирования. Технологические тупики. Высокая текучесть и демотивация кадров. Рост совокупной стоимости проекта. Потеря технологического суверенитета. Формирование токсичной культуры страха и избегания рисков. Упущенная возможность стать лидером отрасли. Разрушение доверия внутри компании и на рынке.

Отсутствие «цифрового ДНК» и невозможность масштабирования обучения. Игнорирование этического измерения и репутационные катастрофы. Потеря возможности привлечь стратегическое финансирование. Неспособность выйти на международные рынки

Сравнение грамотной и неграмотной подготовки кадров

Общие системные риски подготовки кадров

Неправильная оценка сроков. Конфликт поколений. Потеря связи с рынком. Недооценка мягких навыков. Отсутствие механизма передачи знаний между поколениями проекта. Избыточная зависимость от одного-двух «звёздных» экспертов. Недооценка этических и социальных дилемм. Отсутствие стратегической связи между обучением и бизнес-целями. Недооценка роли регуляторной среды на ранних этапах. Отсутствие чёткой связи между подготовкой кадров и HR-стратегией компании. Отсутствие «цифрового следа» с самого начала проекта. Недооценка роли психологической устойчивости в условиях радикальной неопределённости. Отсутствие раннего вовлечения HR в технологический процесс. Недооценка необходимости создания минимально жизнеспособной образовательной системы (MVES)

Риски экстенсивного подхода подготовки кадров

Иллюзия движения. Зависимость от внешних экспертов. Размывание корпоративной культуры. Несовместимость знаний. Текущее на старте. Отсутствие способ-

ности к адаптации и обучению в реальном времени. Формирование «иллюзорной компетентности». Неспособность создать ядро для будущего масштабирования. Отсутствие связи между обучением и реальными задачами проекта. Игнорирование этического и социального измерения технологии. Отсутствие раннего вовлечения HR в технологический процесс. Неспособность выйти на международные рынки из-за локальной ориентации подготовки. Отсутствие «цифрового следа» и невозможность воспроизводимости опыта. Подавление экспериментальной культуры и формирование страха перед неопределённостью

Риски интенсивного подхода подготовки кадров

Зависимость от ключевых специалистов. Выгорание пионеров. Избыточная специализация. Высокая стоимость ошибки. Риск «замкнутой экосистемы» и потери внешней референции. Замедление принятия решений из-за чрезмерного перфекционизма. Сложность масштабирования самой модели подготовки. Недооценка роли формальных структур и регламентов. Недооценка роли HR-стратегии и карьерных перспектив. Риск «элитарности» и разрыва с корпоративной культурой. Недооценка необходимости раннего вовлечения органов регулирования и внешних стейкхолдеров. Отсутствие чёткой связи между подготовкой кадров и общей бизнес-стратегией компании. Недооценка необходимости создания минимально жизнеспособной образовательной системы (MVES). Отсутствие «цифрового ДНК» как

основы будущего масштабирования

Заключение

Что такое Фаза 1 на самом деле? Два пути — два результата. Что получает компания, выбирая интенсивный путь? Что теряет компания, выбирая экстенсивный путь? Главный выбор. Что делать прямо сейчас? Финальная мысль

Станьте частью экосистемы

Что такое эта экосистема? Как вы можете стать её частью? Ваш следующий шаг

Предисловие

В эпоху, когда прорывные технологии рождаются в условиях радикальной неопределённости, а рынки формируются быстрее, чем регуляторы успевают написать первые стандарты, подготовка кадров перестаёт быть функцией HR. Она становится главным инструментом технологического суверенитета — тем самым нереплицируемым активом, который нельзя купить, скопировать или импортировать.

Фаза 1 — «Освоение и внедрение новой научно-технической идеи» — это этап, когда нет учебников, готовых специалистов и проверенных методологий. Здесь технология существует только как гипотеза, а команда — как её единственный носитель. Именно в этой точке решается, станет ли научная идея основой нового промышленного уклада или навсегда останется «лабораторной игрушкой». И этот выбор определяется не мощностью оборудования, не объёмом финансирования и даже не гениальностью отдельного учёного. Он определяется архитектурой подготовки кадров — способностью организации выращивать людей, которые умеют действовать в тумане, учиться на собственных ошибках и превращать неопределённость в управляемый процесс создания будущего.

В книге, которую вы держите в руках, рассматриваются теоретические основы подготовки кадров именно для Фазы

1. Теория здесь — не абстракция, а фундамент. Без понимания природы радикальной неопределённости, без осознания того, что обучение в Фазе 1 не предшествует работе, а сливается с ней, без принятия междисциплинарности как операционной нормы — любые тренинги, курсы и цифровые платформы рискуют стать «косметикой» поверх устаревшей модели, унаследованной от эпохи стабильности. Теория задаёт правильные вопросы: как сформировать команду-ядро? Как превратить ошибку в топливо для обучения? Как заложить этическую рефлексию в архитектуру технологии с первого дня? Практика — находит на них ответы через конкретные кейсы и инструменты.

Базовая модель архитектурного строения технологических циклов, на которой построена эта работа, была разработана моим отцом — доктором экономических наук, профессором Николаем Алексеевичем Потехиным. Его концепция стала тем интеллектуальным фундаментом, который мы развиваем и адаптируем к реалиям ускоренных технологических сдвигов. Фаза 1 — это та точка, где концепция обретает особую остроту: здесь цена ошибки в подготовке кадров измеряется не квартальными показателями, а упущенным рыночным окном, потерей технологического суверенитета и невозвратными кадровыми потерями.

Именно поэтому данный раздел служит смысловым фундаментом для трёх последующих книг, каждая из которых посвящена Фазам 2, 3 и 4 технологического цикла — мас-

штабированию, зрелости и трансформации. Там вы найдёте рабочие инструменты для управления сотнями и тысячами сотрудников, для выстраивания корпоративных университетов, для интеграции технологии в глобальные цепочки создания стоимости. Но без понимания логики Фазы 1 — без осознания того, как рождается команда-носитель технологии, — все последующие решения рискуют оказаться механическими, лишёнными стратегического компаса.

Читайте эту часть не как учебник, а как систему координат. Она поможет вам выстроить архитектуру подготовки кадров, в которой:

- люди не «догоняют» технологию, а становятся её соавторами;
- ошибка — не повод для наказания, а источник данных;
- стажёр может оспорить гипотезу ведущего учёного, а регулятор становится партнёром, а не инспектором.

А главное — она напомнит: в Фазе 1 побеждает не тот, кто знает больше, а тот, кто быстрее всех учится на собственных ошибках. И Компании Будущего создаются не патентами и не оборудованием, а людьми, которые умеют действовать там, где ещё нет карт, и именно поэтому способны эти карты нарисовать.

Открытая экосистема и поддержка проекта

Эта книга — часть открытой экосистемы знаний о подготовке кадров Компаний Будущего.

Мы убеждены, что управление технологическими циклами и развитие человеческого капитала не должны быть привилегией крупных корпораций, а становиться стандартом управления для любой организации, региона или отрасли.

Если вы считаете, что такие материалы полезны, вы можете поддержать развитие проекта: [https://
втораяиндустриализация.рф/kadri/](https://втораяиндустриализация.рф/kadri/).

Введение

«В начале было не оборудование. Была идея. И люди, которые рискнули в неё поверить».

Современная эпоха и технологические циклы

Мы живём в эпоху, когда технологические циклы сжимаются до предела. То, что ещё вчера было прорывом, сегодня становится стандартом, а завтра — устаревшим активом на балансе компании. Глобальная конкуренция, разрыв цепочек поставок, санкционное давление, ускоряющаяся цифровизация и появление принципиально новых рынков — всё это создаёт среду, в которой побеждает не тот, у кого больше денег или патентов. Побеждает тот, кто умеет выращивать людей, способных создавать то, чего ещё нет.

Эта книга — о том, как это делать.

Известно, что технологический цикл — это закономерная последовательность этапов (фаз), каждая из которых имеет свою логику, задачи, сроки, риски и стратегические приоритеты:

- Фаза 1 «Освоение и внедрение новой научно-технической идеи»;
- Фаза 2 «Расширение и тиражирование сферы применения новой научно-технической идеи»;
- Фаза 3 «Модернизация применения научно-техниче-

ской идеи»;

— Фаза 4 «Потенциал исчерпан, модернизация неэффективна, необходим переход к более прогрессивной научно-технической идее».

Они подробно рассмотрены нами в первой книге «Технологические циклы» серии «Подготовка кадров Компаний Будущего».

Настоящая книга «Архитектура прорыва» — посвящена подготовке кадров в первой, самой ответственной и одновременно самой уязвимой фазе технологического цикла — Фазе 1 «Освоение и внедрение новой научно-технической идеи». Это не производственный этап. Это научно-инженерная и экспериментальная территория, где абстракция впервые встречается с реальностью, где гипотеза проверяется практикой, а научное открытие — инженерной дисциплиной. Здесь технология существует лишь в виде идеи, прототипа или пилотного проекта. Её нет в учебниках. На неё нет готовых специалистов на рынке труда. Отраслевые стандарты ещё не сформированы. А процессы только начинают рождаться — в реальном времени, в диалоге между дисциплинами, в ошибках и прозрениях.

И именно здесь решается всё.

Логика технологического цикла: почему подготовка кадров на каждой фазе — это разные миры?

Прежде чем говорить о подготовке кадров, важно понять

саму природу технологического цикла. Любая научно-техническая идея проходит через четыре принципиально разные фазы — не просто этапы одного процесса, а качественно иные состояния, каждое со своей физикой, своей культурой и своими правилами выживания. Переход между фазами — это не продолжение движения, а смена парадигмы.

Многие руководители ошибочно воспринимают технологический цикл как линейный процесс: «сначала исследуем, потом внедряем, потом масштабируем, потом заменяем». Но это глубокое заблуждение. Каждая фаза — это отдельный мир со своими законами. Попытка применить методы одной фазы к другой — одна из главных стратегических ошибок, которую совершают компании. Она приводит либо к убийству прорыва в зародыше, либо к параличу зрелого производства, либо к застреванию в устаревшей технологии.

Чтобы понять, почему подготовка кадров в каждой из четырёх фаз — это четыре разных мира, нужно сначала разобрать саму природу этих фаз.

Чтобы понять, почему подготовка кадров в Фазе 1, Фазе 2, Фазе 3 и Фазе 4 — это четыре разных мира, нужно сначала разобрать саму природу этих фаз.

Фаза 1 «Освоение и внедрение новой научно-технической идеи» — это научно-инженерный и экспериментальный этап, где технология существует только в виде гипотезы, прототипа или пилотного проекта. Её нет в учебниках. На неё нет готовых специалистов на рынке труда. Отрасле-

вые стандарты ещё не сформированы. Процессы только начинают рождаться — в реальном времени, в диалоге между дисциплинами, в ошибках и прозрениях. Фаза 1 — это точка бифуркации, где решается, станет ли идея прорывом или останется в архиве.

Фаза 2 «Расширение и тиражирование сферы применения новой научно-технической идеи» — этап масштабирования. Технология уже доказала свою жизнеспособность в пилоте. Теперь задача — тиражировать её на новые площадки, в новые отрасли, в новые рынки. Здесь уже есть стандарты, регламенты, учебные программы, рынок подготовленных специалистов. Партия №100 должна быть такой же, как партия №1. Новая площадка в другом регионе должна работать так же, как первая.

Фаза 3 «Модернизация применения научно-технической идеи» — это этап технологической зрелости и рациональной оптимизации. Фокус смещается с масштабирования на рациональную оптимизацию, снижение издержек и повышение эффективности. На смену «носителям стандарта» приходят «оптимизаторы», чья задача — не тиражировать её на новые площадки, в новые отрасли, в новые рынки, а непрерывно совершенствовать отлаженные процессы, устранять потери и находить скрытые резервы.

Фаза 4 «Потенциал исчерпан, модернизация неэффективна, необходим переход к более прогрессивной научно-технической идее» — этап заката. Технология достигла предела

своей эволюции. Каждый процент улучшения стоит всё дороже, а конкуренты уже предлагают решения на новой технологической основе. Рынок начинает мигрировать к новым стандартам. Компания стоит перед выбором: уйти вместе с уходящей технологией или совершить переход к новой парадигме, то есть вернуться в Фазу 1, но уже с новым продуктом, в основе которого лежит принципиально новая, более прогрессивная научно-техническая идея.

Фаза 1, 2, 3 и 4 — это не этапы одного процесса. Это четыре разных мира с разными законами, разными типами людей и разными подходами к подготовке кадров.

Успешные компании понимают это и сознательно выстраивают разные системы подготовки для каждой фазы.

Почему эта книга важна именно сейчас?

Многие руководители и HR-директора до сих пор воспринимают подготовку кадров как вспомогательную функцию: «нужно обучить N человек за M дней», «закупить курсы», «провести аттестацию». Этот подход работал в эпоху стабильных производственных циклов, когда технология была известна, стандарты — утверждены, а рынок труда — предсказуем.

Но в Фазе 1 эта логика не просто неэффективна — она фатальна.

Попытка применить инструменты зрелого производства к радикальной неопределённости оборачивается системной

ошибкой. Компания закупает «коробочные» курсы, которые учат прошлому, а не будущему. Нанимает массу специалистов, которые не умеют работать на стыке дисциплин. Полагается на внешних консультантов, которые уходят, не оставив следа. Измеряет успех количеством сертификатов, а не способностью команды запустить рабочий прототип.

И получает результат: пилотный запуск затягивается на годы, ключевые специалисты уходят, технология остаётся «лабораторной игрушкой», а инвестиции превращаются в подарок конкурентам.

Эта книга — о том, как избежать этой ловушки.

Эта книга — о Фазе 1

Эта книга посвящена Фазе 1 — самой ответственной, самой уязвимой и самой решающей. Потому что именно здесь закладывается всё: станет ли идея основой нового технологического уклада или навсегда останется в лаборатории. И именно здесь подготовка кадров перестаёт быть функцией HR и становится стратегическим ядром всего проекта.

Фаза 1 — это не начало масштабирования. Это момент рождения будущего. И рождается оно не автоматически — оно выращивается через людей.

Но без понимания логики всех четырёх фаз невозможно правильно выстроить подготовку кадров в Фазе 1. Потому что только понимая, куда идёт технология, можно правильно готовить тех, кто её создаёт. Только зная, что через 2—3 года

команде-ядру предстоит тиражировать технологию на сотни сотрудников (Фаза 2), можно правильно выстроить MVES [1] и цифровой след уже сегодня. Только понимая, что через 5—7 лет технология будет оптимизироваться (Фаза 3), можно заложить в неё стандарты качества с первого дня. Только осознавая, что через 10—15 лет технология исчерпает свой потенциал (Фаза 4), можно вырастить команду, способную совершить переход к следующей парадигме.

Фаза 1 — это не изолированный этап. Это фундамент всего технологического цикла. И подготовка кадров в ней — это инвестиция не только в сегодняшний прорыв, но и в Фазы 2, 3 и 4, которые придут после.

Фаза 1 — это не «начало». Это архитектура будущего

Многие ошибочно воспринимают Фазу 1 как стартовую точку технологического цикла. На самом деле это точка бифуркации — момент, когда решается, станет ли идея прорывом или останется в архиве. Успех здесь определяется не объёмом инвестиций, а качеством человеческой архитектуры:

— не «сколько людей обучили», а «насколько быстро команда научилась учиться». Скорость итераций «гипотеза — тест — вывод» важнее совершенства первоначального плана;

— не «какие сертификаты получены», а «какие компетен-

ции созданы». В Фазе 1 нет учебников — знания генерируются в процессе работы;

— не «кто знает больше», а «кто умеет соединять несоединимое». Прорывы рождаются на стыке дисциплин: когда биолог говорит на одном языке с программистом, а технолог — с аналитиком данных;

Именно поэтому подготовка кадров в Фазе 1 — это не функция HR. Это акт стратегического лидерства. Это инвестиция не в навыки, а в способность организации к когнитивной адаптации.

О чём эта книга?

Эта книга — вторая в серии «Подготовка кадров Компаний Будущего». Она не предлагает универсальных рецептов или готовых методик. Вместо этого она даёт архитектуру мышления — систему взглядов, принципов и практик, которые позволяют превратить научную идею в промышленную реальность через людей.

Книга построена как путешествие по ключевым измерениям Фазы 1:

1. Характер кадров. Кто такие сотрудники Фазы 1? Почему это не исполнители, а соавторы технологии? Какие 14 черт отличают «архитектора будущего» от обычного специалиста? Почему Т-образный профиль, системное мышление, толерантность к неопределённости и этическая ответственность — не «мягкие навыки», а жёсткие операционные ком-

петенции?

2. Особенности подготовки. Почему в Фазе 1 нет готовых образовательных программ? Почему обучение сливается с работой, а теория рождается из практики? Почему междисциплинарность, неформальное знание и психологическая безопасность — не опции, а условия выживания прорыва?

3. Процессы подготовки. 14 ключевых процессов, которые определяют успех: от формирования междисциплинарных команд и создания «песочниц» для экспериментов до проектирования карьерных траекторий и фиксации «живого опыта» с первого дня.

4. Проблемы и риски. От дефицита междисциплинарных специалистов до зависимости от «звёзд», от сопротивления «старой» культуры до этической слепоты. И главное — как этими рисками управлять.

5. Стратегические действия. 16 действий, которые позволяют компании не просто освоить технологию, а вырастить вокруг неё устойчивую экосистему: от аудита компетенций и создания MVES (минимально жизнеспособной образовательной системы) до формирования «команды-ядра» как носителя технологического ДНК.

6. Затраты и эффект. Почему инвестиции в подготовку кадров в Фазе 1 — это не расходы, а стратегические инвестиции с отсроченной, но многократной отдачей. Как измеряется эффект: от краткосрочных операционных улучшений

до долгосрочного технологического лидерства.

7. Интенсивный или экстенсивный подход. Два принципиально разных пути. Почему экстенсивный подход — это иллюзия контроля, ведущая к провалу? Почему интенсивный — стратегия с высокой плотностью ответственности, но единственно надёжный мост от идеи к суверенитету?

8. Стратегическое значение. Как подготовка кадров в Фазе 1 формирует ядро компетенций, снижает риски будущего, обеспечивает технологический суверенитет, создаёт «инновационный мультипликатор» для будущих циклов и превращает человеческий капитал в главный стратегический актив.

Главный тезис книги

Технологии не создаются в лаборатории. Они рождаются в пространстве между людьми — в их знаниях, доверии, смелости и способности учиться вместе.

В Фазе 1 побеждает не тот, кто тратит больше денег на оборудование или закупает дорогие консультации. Побеждает тот, кто инвестирует глубже — в людей, в их способность учиться вместе и создавать будущее.

Потому что в эпоху ускоряющихся циклов главный актив — не оборудование, не патенты и даже не идеи. Главный актив — это команда, способная осваивать неизвестное, работать в условиях неопределённости и превращать научные идеи в промышленную реальность.

Для кого эта книга?

Эта книга написана для:

- руководителей и собственников бизнеса, которые понимают, что технологический прорыв — это не вопрос бюджета, а вопрос человеческого капитала;
- HR-директоров и руководителей по развитию, которые хотят превратить подготовку кадров из административной функции в стратегический рычаг;
- технических директоров и главных инженеров, которые знают: даже самая передовая технология мертва без команды, способной её освоить;
- руководителей инновационных проектов и подразделений НИОКР, которые проходят Фазу 1 и хотят избежать типичных ловушек;
- преподавателей и исследователей в области управления технологическими инновациями, организационного развития и управления знаниями.

Обещание читателю

Эта книга не даст вам готовых рецептов. Вместо этого она предложит:

- систему взглядов на подготовку кадров в условиях радикальной неопределённости.
- практические инструменты: от методов DoE (дизайна экспериментов) [2] и MVES до «живого цифрового следа» и «энциклопедии неудач»;

— реальные примеры — как российские, так и международные, показывающие, как принципы работают на практике;

— честный разговор о рисках — как экстенсивного, так и интенсивного подходов, и как ими управлять;

— стратегическую рамку, которая позволит вам принимать решения не на основе модных трендов, а на основе глубокого понимания природы Фазы 1.

Последний вопрос

Прежде чем вы начнёте читать, задайте себе один вопрос: «Что для вас подготовка кадров в Фазе 1 — статья расходов или инвестиция в будущее?»

Если вы выбрали второе — эта книга для вас.

Потому что в конечном счёте Фаза 1 — это не про технологии. Это про выбор: остаться в прошлом, где всё предсказуемо, но обречено на упадок, или создать будущее — через людей, готовых верить в то, чего ещё нет.

И этот выбор всегда делается через людей.

Добро пожаловать в архитектуру будущего. Она строится не станками и не патентами. Она строится людьми, которые понимают, в какой фазе они находятся, и действуют соответственно.

Примечания:

[1] MVES (Minimum Viable Educational System) — это ми-

нимально жизнеспособная образовательная система. Это базовый каркас подготовки, достаточный для передачи сути новой технологии первым новичкам, партнёрам и внешним командам — ещё до того, как технология полностью стабилизирована.

MVES — это не полноценная учебная программа, а «зародыш» будущей обучающей экосистемы, который растёт синхронно с технологией и превращается в полноценную систему обучения уже на этапе Фазы 2 (масштабирования).

[2] DoE (Design of Experiments, дизайн экспериментов) — это статистический метод планирования экспериментов, который позволяет получить максимум информации при минимуме испытаний. Вместо того чтобы перебирать параметры «методом тыка» (один за другим), DoE математически планирует, какие комбинации факторов нужно проверить, чтобы выявить не только влияние каждого параметра, но и их взаимодействие.

Простыми словами: Представьте, что у вас есть 5 переменных (температура, давление, pH, концентрация, время), и каждая может принимать 3 значения. Полный перебор дал бы $3^5 = 243$ эксперимента. DoE позволяет получить ту же информацию за 12—16 экспериментов, спланированных математически.

Характер кадров

Фаза 1 «Освоение и внедрение новой научно-технической идеи» представляет собой наиболее динамичный и неопределённый этап технологического цикла. Здесь нет готовых решений, устоявшихся процессов или чётких регламентов. Есть только гипотеза, ресурсы и люди, способные превратить идею в рабочую реальность.

Именно в этот период раскрывается подлинная природа кадров: они перестают быть исполнителями инструкций и становятся соавторами технологии. Их характер формируется под давлением уникальных условий — необходимости действовать в условиях неполной информации, брать на себя ответственность без гарантий успеха и создавать решения там, где их раньше не существовало.

Далее описаны ключевые черты характера кадров Фазы 1. Вместе они формируют портрет архитектора технологического будущего — редкого, стратегически ценного специалиста, без которого прорыв остаётся лишь лабораторной гипотезой:

1. Междисциплинарное мышление (T-shaped профиль).

Сотрудник в Фазе 1 — это «Т-образный» (T-shaped) специалист:

— вертикаль «Т» — глубокая экспертиза [1] в своей об-

ласти (например, молекулярная биология или лазерная физика);

— горизонталь «Т» — широкое понимание смежных дисциплин (автоматизация, программирование, нормативное регулирование, материаловедение).

Горизонтальная ось выступает не просто как «общая эрудиция», а как когнитивный мост, позволяющий переводить ограничения одной области в возможности другой. В Фазе 1 именно на стыках дисциплин рождаются инновации, а Т-образный специалист выступает их «катализатором», предотвращая разрывы в коммуникации и проектировании.

Он свободно «переводит» с языка одной науки на язык другой, видит связи там, где другие видят границы, и легко участвует в диалоге с коллегами из других областей.

Такой подход минимизирует «слепые зоны» на стыках дисциплин и обеспечивает целостность технологического решения на ранних этапах разработки.

Пример: При разработке автономного агробота ведущий инженер-конструктор обладал Т-shaped профилем: глубокая экспертиза в механике шасси (вертикаль) плюс понимание алгоритмов компьютерного зрения и агрономических норм (горизонталь). Благодаря этому «когнитивному мосту» он сразу спроектировал раму с оптимальным размещением лидаров и заложил логику объезда препятствий, учитывающую фазы роста культур. Это исключило дорогостоящую переделку «железа» на этапе полевых тестов и ускорило получение

ние отраслевого сертификата на 4 месяца. Инженер видел не просто детали, а целостную систему, где механика, код и биология работают в унисон.

2. Ориентация на системное мышление.

Сотрудник в Фазе 1 видит не только свою задачу, но и её место в общей цепочке создания ценности: от поставщика до конечного пользователя. Он задаёт вопросы:

- «Как моё решение повлияет на производство?»;
- «Как это скажется на обслуживании продукта?»;
- «Что подумает клиент?».

За этими вопросами стоит способность отслеживать причинно-следственные петли второго и третьего порядка: понимать, что локальная оптимизация (например, упрощение компонента для экономии) может вызвать каскадные проблемы в логистике, сервисе или безопасности. Системный мыслитель не просто «видит целое», он моделирует его поведение во времени и при изменении внешних условий.

Он (сотрудник) понимает, что технология существует не в вакууме, а в экосистеме, и проектирует решения с учётом всей системы, а не только своей части. Он учитывает влияние своих решений на смежные процессы, включая производство, сервис, логистику и пользовательский опыт.

Это снижает количество итераций на поздних этапах и повышает жизнеспособность решения в реальных условиях эксплуатации.

Пример: При разработке алгоритма предсказания поломок турбин data scientist [2] не просто оптимизировал точность модели — он моделировал её влияние на всю цепочку: как ложное срабатывание остановит производство, как задержка предупреждения сорвёт график ТО, как это отразится на складе запчастей и договорах с клиентами. Благодаря системному мышлению он заложил в архитектуру пороговые значения, учитывающие не только физику датчиков, но и экономику простоя. Это снизило ложные срабатывания на 40%, ускорило внедрение у трёх ключевых клиентов и повысило LTV контракта [3] на 25%. Решение стало не «технически точным», а «жизнеспособным в экосистеме», потому что инженер видел не код, а всю систему: от датчика до бизнес-модели.

3. Ориентация на практику, а не на теорию.

В условиях высокой неопределённости Фазы 1 приоритет смещается с теоретического прогнозирования на эмпирическую проверку. Сотрудник отдаёт предпочтение быстрой проверке гипотез через прототипирование и эксперимент, а не длительному теоретическому моделированию. Он рассматривает ошибки как источник критически важной обратной связи, а не как провал.

Такой сотрудник мыслит через действие:

- он не ждёт идеального плана, он делает, чтобы понять;
- для него ошибка — это не провал, а источник данных;

— он предпочитает прототипировать, а не бесконечно моделировать.

Это не отказ от аналитики, а смена эпистемологической парадигмы: знание извлекается не из абстрактных моделей, а из физического или цифрового взаимодействия с реальностью. В Фазе 1, где данные фрагментарны, а рынки не сформированы, именно эмпирическая проверка становится главным фильтром жизнеспособности идеи.

Его девиз: «Лучше рабочий прототип сегодня, чем идеальная схема через год».

Пример: При разработке имплантируемого электрода инженер не тратил 4 месяца на in-silico моделирование биосовместимости в симуляторе — он собрал физический макет и поместил его в тканевую среду на 3-й день. Уже на второй неделе тестов выявилась критическая проблема: материал, идеальный по проводимости, вызывал фиброз. Решение (композитное покрытие) родилось не из уравнений, а из данных. Практика стала ускорителем: то, что теоретическое моделирование показало бы через полгода, прототип обнаружил за 14 дней. Конструкция стала материализованной гипотезой, а ошибка — самым ценным источником данных.

4. Способность к непрерывному обучению и адаптации.

Сотрудник в Фазе 1 не считает, что «уже всё знает». Он воспринимает обучение как постоянную часть работы, как

неотъемлемую часть профессиональной деятельности. Его компетенции — не статичный набор знаний, а динамическая система, которая обновляется с каждым новым вызовом.

- он быстро осваивает новые инструменты (например, переходит с Excel на Python для анализа данных);
- он ищет обратную связь, а не избегает её;
- он готов менять свои убеждения, если появляются новые данные.

Это проявляется как «когнитивная пластичность» и «готовность к разучиванию» (unlearning) — способность отказаться от устаревших ментальных моделей, когда они перестают работать. В Фазе 1 адаптивность важнее первоначальной экспертизы, потому что правила игры формируются в реальном времени, а вчерашние лучшие практики сегодня могут стать тормозом.

Такой подход обеспечивает адаптивность команды к быстро меняющимся технологическим и рыночным условиям.

Пример: Инженер по ДВС, переходя к разработке водородных двигателей, за 6 месяцев осваивает основы электрохимии, проходит онлайн-курсы по топливным элементам и участвует в международных вебинарах — не потому что обязан, а потому что понимает: без этого он не сможет внести вклад в проект. Его мотивация является не внешним контролем, а внутренней потребностью в профессиональной релевантности. Такие сотрудники становятся «живыми сенсорами» организации: они рано фиксируют сдвиги в технологи-

ях, приносят внешние идеи внутрь и ускоряют коллективное обучение, превращая индивидуальный рост в организационную способность к эволюции.

5. Готовность учиться без «дорожной карты».

В Фазе 1 нет готовых курсов, наставников, инструкций. Поэтому сотрудник должен быть: самостоятельным в обучении, способным добывать знания из неструктурированных источников (патенты, статьи, переписка с экспертами), комфортным в состоянии «я не знаю, но узнаю».

Это не просто самообразование, а активная навигация в информационном хаосе: умение отличать сигнал от шума, синтезировать разрозненные данные и превращать их в рабочие гипотезы. Такой сотрудник обладает высокой «эпистемической скромностью» — он не боится признать пробел, потому что воспринимает его как точку входа, а не как профессиональную слабость.

Он не боится признать незнание, потому что видит в этом точку роста, а не слабость.

Данное качество критически важно на этапе, когда знания ещё не систематизированы и не передаются через стандартные каналы.

Пример: При разработке системы управления полётом для eVTOL-аппаратов (электрические воздушные суда вертикального взлёта и посадки) инженеры столкнулись с полным отсутствием стандартов и готовых методик. Они само-

стоятельно навигировали в информационном хаосе: изучали патенты, академические препринты и отчёты регуляторов, превращая разрозненные данные в рабочие гипотезы. Команда внедрила практику «открытого дешифрования»: еженедельно фиксировали неудачные алгоритмы как ценные данные, делились сырыми решениями в общем репозитории и не боялись признавать пробелы. За 8 месяцев это превратило отсутствие дорожной карты в преимущество скорости: инженеры создали рабочую архитектуру, которая позже стала отраслевым стандартом. Успех обеспечила не индивидуальная гениальность, а «эпистемическая скромность» и готовность учиться в состоянии «я не знаю, но разберусь».

6. Высокая толерантность к неопределённости и стрессу.

Работа в Фазе 1 — это постоянные неудачи, изменение целей, отмена решений и состояние неопределённости. Успешный сотрудник: не теряет мотивацию при провалах, сохраняет ясность мышления в условиях хаоса, видит в неопределённости пространство для творчества и поиска решений, а не угрозу. Он сохраняет продуктивность и мотивацию в условиях постоянных изменений, неудач и отсутствия чётких целей.

Толерантность здесь — не пассивная выносливость, а активная когнитивная регуляция. Она включает метакогнитивный контроль: способность отслеживать собственные

стресс-реакции, отделять личность от результата эксперимента и воспринимать неудачу как источник данных, а не как личный провал.

Он умеет работать без гарантий результата, потому что верит в идею, а не в KPI.

Это снижает риски выгорания и обеспечивает устойчивость команды в условиях высокой волатильности.

Пример: Команда разработчиков биофармацевтического препарата прошла более 50 итераций оптимизации процесса культивации, рассматривая каждый неудачный запуск как шаг к финальному решению. Команда выжила благодаря «институционализации обучения на ошибках»: каждый провал документировался, классифицировался по типу гипотезы и транслировался как валидные данные. Метрикой успеха стала не «количество удачных запусков», а «скорость извлечения уроков», что превратило стресс в топливо для итеративного прогресса.

7. Коллаборативность и открытость.

В Фазе 1 никто не знает всего. Поэтому критически важны: готовность делиться знаниями без страха «потерять статус эксперта», умение слушать и учиться у коллег из других дисциплин, отказ от иерархии в пользу горизонтального диалога.

Это преодоление инстинкта «удержания экспертизы» и статусной тревоги. Истинная коллаборативность требует

«ликвидности знаний»: восприятия компетенций не как личного капитала, а как циркулирующего актива команды. Сотрудники сознательно снижают когнитивные барьеры, задавая «наивные» вопросы, которые часто вскрывают системные слепые зоны.

Для такого сотрудника команда — не формальность, а интеллектуальный ресурс, без которого невозможно продвинуться. Сотрудник стремится к открытому обмену знаниями, отказывается от иерархических барьеров и активно участвует в межфункциональном диалоге.

Такой подход создаёт среду коллективного интеллекта, где решения рождаются на пересечении компетенций.

Пример: При запуске платформы клеточного синтеза биологи, инженеры микрофлюидики и data-специалисты [4] работали в единой «комнате решений» с общими дашбордами и без формальной иерархии. Младший аналитик мог оспорить гипотезу ведущего учёного, если данные указывали на ошибку. Эта «ликвидность знаний» сократила цикл итераций с 6 недель до 10 дней и выявила критическую оптимизацию буфера, которую при отдельной работе упустили бы на месяцы. Коллаборация стала не ценностью, а операционной системой.

8. Предпринимательская инициативность.

Сотрудник в Фазе 1 — это внутренний предприниматель: — он самостоятельно выявляет проблемы;

- он не ждёт указаний, он предлагает решения;
- он берёт на себя ответственность за их реализацию, даже если это выходит за рамки формального функционала;
- он берёт ответственность за участок, даже если это «не в должностной инструкции»;
- он думает о результате, а не о соблюдении процесса.

Это не хаотичная активность, а «структурированный интрапренерство»: сочетание распознавания возможностей с ресурсной изобретательностью. Такой сотрудник умеет мобилизовать кросс-функциональную поддержку, находить микро-бюджеты и запускать MVP (минимально жизнеспособный продукт) без ожидания многоуровневых согласований.

Его мотивация — создать нечто новое, а не просто «выполнить план».

Такое поведение сокращает время реакции на вызовы и ускоряет цикл инноваций.

Пример: Молодой инженер в крупнейшей нефтегазохимической компании при разработке цифрового двойника не дождался ТЗ, вместо этого он сам собрал прототип на базе открытых данных и показал его руководству. Проект был запущен. Ключевым фактором стала не просто смелость инженера, а наличие в компании «протокола быстрого старта»: возможность запускать тесты до утверждения полного бюджета, если риски локализованы, а потенциальная ценность высока. Это превратило индивидуальную инициативу в си-

стемный ускоритель проверки идей.

9. Долгосрочная ориентация и вера в идею.

Мотивация сотрудника связана не с краткосрочными KPI, а с участием в создании долгосрочного технологического актива. Он готов инвестировать усилия в задачи, эффект от которых проявится спустя месяцы или годы.

Такой сотрудник работает не ради зарплаты, а ради миссии:

- он понимает, что эффект наступит позже;
- он готов инвестировать время и силы в то, что не принесёт немедленной отдачи;
- он видит себя частью большего движения — создания нового технологического уклада.

Это требует когнитивной устойчивости к естественной склонности человека переоценивать немедленную выгоду. Долгосрочная ориентация поддерживается через «якорение цели»: постоянное визуальное и нарративное связывание ежедневных задач с макро-миссией, прозрачные вехи прогресса и признание «обучающих побед» на ранних этапах.

Такой подход обеспечивает устойчивость проекта в условиях отсутствия немедленной коммерческой отдачи.

Пример: При бурении сверхкритических скважин на глубину 5+ км команда работала в условиях, где 60% параметров среды нельзя было измерить заранее: каждый метр проходки приносил новые данные о температуре, давлении и

химическом составе флюида. Инженеры не ждали «полной картины» — они принимали решения на основе фрагментарных данных, корректируя режимы бурения каждые 2 часа. «Туман неопределённости» стал не препятствием, а рабочей средой: команда выработала протоколы быстрого переключения между сценариями и культуру «обучающих побед» на каждом шаге. Это позволило пройти первые 100 метров за 3 недели вместо ожидаемых 6 месяцев и избежать остановки проекта при встрече с непредсказуемым пластом.

10. Инициативность и ответственность за результат.

Сотрудник в Фазе 1 фокусируется на достижении конечного результата, а не на формальном выполнении процесса.

Сотрудник не ждёт указаний сверху. Он инициирует действия, направленные на решение проблемы, независимо от зон ответственности. Он сам замечает проблему, предлагает решение и берёт на себя ответственность за его реализацию, даже если это выходит за рамки его формальной должности.

Это не спонтанная активность, а сформированная «ментальная модель владения»: человек воспринимает проект не как набор задач, а как общую систему, где его зона ответственности расширяется до границы проблемы, а не должностной инструкции. В Фазе 1 такая модель ускоряет цикл «обнаружение-действие-проверка» в разы, заменяя бюрократические согласования быстрыми экспериментами.

Он говорит не «Это не моя зона», а «Давайте я помогу разобраться». Он не боится брать на себя риск, потому что понимает: без экспериментов нет прогресса.

Такой подход минимизирует бюрократические задержки и повышает операционную гибкость.

Пример: Молодой химик на заводе заметил, что реакция в одном из процессов даёт побочный продукт, который можно использовать как сырьё для другого направления. Вместо того чтобы просто доложить начальству, он собрал пилотную установку в лаборатории, провёл серию опытов и предложил решение, которое сократило отходы на 18% и принесло дополнительный доход. Успех обеспечен не только личной смелостью сотрудника, но и наличием в компании «коридоров быстрого старта»: возможностью запускать микро-прототипы до утверждения полного бюджета, если риски локализованы, а потенциальная ценность высока. Это превратило индивидуальную инициативу в системный ускоритель оптимизации процессов.

11. Критическое мышление и готовность оспаривать устоявшиеся представления.

Сотрудник в Фазе 1 не принимает решения на веру, даже если они исходят от авторитетных коллег или основаны на «общепринятой практике». Он задаёт вопросы:

— «Почему именно так?»

— «Какие данные это подтверждают?»

— «Что будет, если сделать иначе?»

Это конструктивный скептицизм, укоренённый в научном методе: любое решение рассматривается как гипотеза, требующая эмпирической проверки. В Фазе 1, где нет устоявшихся стандартов, именно способность «ломать рамку» предотвращает преждевременное закрепление субоптимальных решений и открывает путь к парадигмальным сдвигам.

Он понимает, что прорыв часто начинается с отказа от догм. Его скептицизм конструктивен: он не разрушает, а проверяет гипотезы, чтобы найти более эффективное решение.

Такое мышление предотвращает преждевременную «заморозку» решений и позволяет выйти за рамки существующих парадигм.

Пример: При разработке биосимиляра команда биотехнологической компании подвергла сомнению стандартный подход к очистке белка, предложенный западными органами регулирования — ЕМА [5]. В результате был найден более эффективный метод, сокративший время производства на 30% и получивший одобрение ЕМА. Ключевым фактором стала не просто смелость оспорить стандарт, а наличие аргументации, основанной на объективных данных, и готовность пройти дополнительную валидацию. Команда не отвергла регуляторную логику, а предложила эквивалентный по безопасности, но технологически превосходящий путь,

превратив критическое мышление в конкурентное преимущество.

12. Этическая ответственность и осознание последствий технологий.

Сотрудник в Фазе 1 осознаёт, что его работа имеет долгосрочные социальные, экологические и этические последствия. Он задаётся вопросами:

- «Как эта технология повлияет на общество?»
- «Какие риски она несёт?»
- «Можно ли её использовать во вред?»

Это проактивная этическая рефлексия, выходящая за рамки комплаенса [6]. В Фазе 1, когда архитектура технологии только формируется, именно этика становится «дизайн-фильтром»: вопросы безопасности, приватности, экологического воздействия и социальной справедливости закладываются в код, формулу или процесс на этапе прототипирования, а не добавляются постфактум.

Он (сотрудник) не ограничивается технической реализацией, а стремится к созданию ответственных, безопасных и устойчивых решений.

Данное качество особенно важно в чувствительных отраслях — биофармацевтике, энергетике, ИИ, где технологические решения напрямую влияют на здоровье, безопасность и будущее человечества.

Пример: Ведущий частный космический холдинг при

проектировании систем сверхтяжёлой многоразовой ракеты изначально закладывал принципы многократного использования ключевых узлов и минимального воздействия на окружающую среду, понимая, что освоение космоса должно быть устойчивым, а не эксплуатационным. Этическая осознанность здесь стала не моральным дополнением, а инженерным стандартом: многоразовость изначально проектировалась как ядро архитектуры, что в долгосрочной перспективе снизило стоимость вывода груза на орбиту на порядок и сформировало технологический лидерский нарратив, привлекающий глобальные партнёры.

13. Способность работать в условиях ограниченных ресурсов.

В Фазе 1 редко бывает избыток бюджета, оборудования или времени. Успешный сотрудник умеет достигать максимального результата при минимальных затратах:

- он находит нестандартные решения вместо дорогих аналогов;
- использует инструменты с открытым исходным кодом, когда коммерческие недоступны;
- оптимизирует процессы, чтобы обойтись без дополнительного персонала.

Это не просто экономия, а «бережливая инновация»: восприятие ограничений как катализатора креативности. Когда ресурсы ограничены, мозг переключается с поиска «идеаль-

ного решения» на поиск «достаточно хорошего, но быстрого и адаптивного», что в Фазе 1 критически ускоряет цикл валидации.

Он мыслит не категориями «что нужно», а «как достичь цели с тем, что есть». Эта бережливость не снижает амбиции — она делает их реалистичными.

Такой подход формирует культуру эффективности с самого начала проекта, предотвращая зависимость от бесконечного финансирования.

Пример: Команда разработчиков в крупнейшей нефтегазохимической компании при создании первого цифрового двойника использовала открытые библиотеки Python и внутренние вычислительные мощности вместо закупки дорогостоящего ПО. Решение оказалось не только экономичным, но и более гибким для дальнейшей модификации. Ограниченность бюджета заставила архитектуру быть модульной и открытой, что в итоге дало преимущество перед коммерческими «чёрными ящиками»: код можно было адаптировать под специфику производства, интегрировать с существующими системами и масштабировать без лицензионных барьеров. Бережливость стала драйвером технологической независимости.

14. Готовность к межкультурной и межинституциональной коммуникации.

Фаза 1 часто требует взаимодействия с международными

партнёрами, органами регулирования, научными центрами и стартапами, говорящими на разных профессиональных и культурных языках. Сотрудник в Фазе 1 способен:

- адаптировать стиль общения под аудиторию (от учёного до чиновника);
- учитывать культурные особенности при совместной работе (например, отношение к иерархии, срокам, обратной связи);
- находить общий смысл за различиями в терминологии и подходах.

Это культурный интеллект, который в Фазе 1 выступает «переводческим мостом» между разными логиками: академической (поиск истины), инженерной (поиск работоспособности), регуляторной (поиск безопасности) и бизнесовой (поиск монетизации). Без культурного интеллекта даже технологически совершенное решение рискует быть отвергнутым из-за непонимания контекста или коммуникационных барьеров.

Такое качество особенно критично при глобальной экспансии, участии в международных консорциумах или работе с зарубежными регуляторами.

Пример: При регистрации биосимиляра в ЕС команда биотехнологической компании не просто перевела документы, а адаптировала логику доказательной базы под европейскую регуляторную культуру, что позволило пройти регистрацию на 8 месяцев быстрее среднего срока. Ускоре-

ние обеспечено не лингвистической точностью, а глубоким пониманием институциональной логики ЕМА: команда предвосхитила ожидания органа регулирования, перестроила нарратив клинических данных под европейские стандарты доказательности и выстроила диалог на языке взаимных рисков, а не односторонних требований. Коммуникация стала стратегическим ускорителем входа в рынок.

Сотрудник Фазы 1 — это не просто специалист, а архитектор будущего. Его ценность определяется не объёмом текущих знаний, а способностью генерировать новые решения в условиях неопределённости, ограниченных ресурсов и отсутствия готовых шаблонов. Он сочетает глубокую экспертизу с системным мышлением, практическую прагматику с этической ответственностью, инициативу с командной открытостью. Сотрудник в Фазе 1 — это одновременно исследователь, инженер, предприниматель и наставник. Он мыслит системно, учится непрерывно, действует через эксперимент, открыто взаимодействует с другими и верит в будущее, которого пока не существует. Он не ждёт идеальных условий — он создаёт условия для прорыва. Он не выполняет задачи — он формулирует новые возможности. Его ценность определяется не объёмом знаний, а скоростью обучения, широтой мышления и смелостью действий. Такие люди — редкий и стратегически ценный ресурс.

Эти люди не появляются по заказу. Их нельзя «натрени-

ровать» за несколько недель или заменить внешними консультантами. Их нельзя заменить алгоритмом, автоматизировать или масштабировать через шаблоны. Они вырастают в среде, где ценится смелость мысли, поощряется эксперимент, а неудача рассматривается как этап познания. Их нужно вовремя увидеть, беречь, вдохновлять и давать им пространство для творчества.

Именно такие люди становятся ядром следующего технологического цикла и инвестиции в их развитие сегодня определяют технологический суверенитет завтра. От них зависит, превратится ли научная идея в устойчивый промышленный прорыв или так и останется лабораторной находкой без выхода в реальный мир.

Поэтому управление кадрами в Фазе 1 — это не подбор и адаптация, а выявление и культивирование стратегического капитала. Инвестиции в таких сотрудников — это не затраты на персонал, а закладка фундамента технологического суверенитета, конкурентоспособности и долгосрочного лидерства. И начинать их выращивать нужно сегодня, пока ещё есть время, ресурсы и стабильность.

В эпоху ускоряющихся циклов и глобальной конкуренции побеждают не те, кто быстрее копирует, а те, кто умеет выращивать людей, способных создавать то, чего ещё нет.

Примечания:

[1] Экспертиза — это совокупность живых, неявных зна-

ний и навыков, которые накапливаются у ключевых специалистов в процессе освоения новой технологии. Это не просто «знания из учебника», а уникальный опыт, который формируется через практику, ошибки и эксперименты.

[2] Data scientist (специалист по данным) — это специалист, который превращает сырые данные в полезные решения для бизнеса, науки и технологий. Он находится на стыке трёх областей: математики/статистики, программирования и предметной экспертизы (биологии, инженерии, финансов и т.д.).

Чем занимается data scientist?

- сбор и подготовка данных — очистка, структурирование, объединение данных из разных источников;
- построение моделей — создание алгоритмов машинного обучения (ML), нейросетей, статистических моделей для прогнозирования, классификации, кластеризации;
- анализ и интерпретация — поиск скрытых закономерностей, выявление аномалий, формулирование гипотез;
- визуализация и коммуникация — перевод сложных результатов в понятные решения для бизнеса и инженеров;
- внедрение решений — интеграция моделей в реальные продукты, системы и процессы.

[3] LTV контракта (от англ. Lifetime Value — «пожизненная ценность») — это совокупная прибыль (или выручка), которую компания получает от клиента за весь период сотрудничества по контракту, а не только за одну сделку.

[4] Data-специалист — это обобщающий термин для профессионалов, которые работают с данными на всех этапах их жизненного цикла: от сбора и хранения до анализа, интерпретации и превращения в бизнес-решения.

Это «зонтичное» понятие, объединяющее несколько ролей с разными фокусами: data analyst (аналитик данных), data scientist (специалист по данным), data engineer (инженер данных), ML engineer (инженер машинного обучения), analytics engineer (гибрид аналитика данных и инженера данных), BI-разработчик, BI-аналитик.

Data-специалист — это не просто человек, который умеет строить графики. Это мост между данными и решениями, способный:

- задать правильный вопрос,
- найти нужные данные,
- применить подходящий метод,
- интерпретировать результат,
- донести его до бизнеса так, чтобы он привёл к действию.

[5] EMA (European Medicines Agency) — Европейское агентство по лекарственным средствам.

[6] Комплаенс (от англ. compliance — «соответствие», «соблюдение») — это система обеспечения соответствия деятельности компании требованиям законодательства, отраслевых стандартов, внутренних регламентов и этических норм.

Особенности подготовки кадров

Фаза 1 «Освоение и внедрение новой научно-технической идеи» представляет собой уникальный этап технологического цикла, где граница между исследованием, разработкой и производством стирается. Здесь технология только начинает выходить из лаборатории, но ещё не оформилась в устойчивый промышленный процесс. В таких условиях традиционные подходы к обучению и управлению персоналом теряют свою эффективность.

Подготовка кадров в Фазе 1 принципиально отличается от всех последующих этапов: она не является вспомогательной функцией, а становится неотъемлемой частью самого процесса создания технологии. Сотрудники здесь — не исполнители заранее заданных инструкций, а соавторы новой реальности, чьи действия напрямую формируют облик будущего продукта, процесса и даже рынка.

Именно поэтому подготовка кадров в этот период требует особых подходов: гибких, междисциплинарных, практико-ориентированных и глубоко вплетённых в саму ткань инновационного процесса. Она строится не на передаче готовых знаний, а на их совместном порождении; не на стандартах, а на экспериментах; не на формальных ролях, а на живом взаимодействии.

Далее описаны ключевые особенности подготовки кадров

в Фазе 1:

1. Отсутствие готовых образовательных программ.

Технология новая — значит, нет учебников, стандартов, курсов. Всё приходится разрабатывать «с нуля».

Новая технология по определению не имеет аналогов в массовом применении. Следовательно, нет учебников, сертифицированных курсов, государственных образовательных стандартов (ФГОС), методических пособий или готовых тренажёров. Вузы не готовят специалистов под эту технологию, потому что она ещё не вошла в учебные планы. На рынке нет коммерческих тренингов, потому что спрос пока узкий или его вовсе нет. Даже производители оборудования часто не имеют готовых программ, они сами учатся вместе с заказчиком.

Это создаёт уникальную ситуацию: компания становится не просто пользователем технологии, а её первым педагогом.

Что делают компании?

- разрабатывают авторские программы силами своих команд исследователей и разработчиков;
- создают внутренние академии или «лаборатории знаний»;
- используют обратную связь от пилотных запусков как основу для обучения.

Пример: При запуске внутренней LLM-платформы [1] не существовало готовых курсов по тонкой настройке мо-

делей под производственные данные. Команда разработала программу обучения на основе собственных экспериментов, превращая ошибки в учебные кейсы. За 4 месяца специалисты освоили адаптацию моделей под бизнес-задачи, а разработанные протоколы стали внутренним стандартом. Обучение не предшествовало работе — оно было её частью.

2. Междисциплинарный характер компетенций.

Специалист должен понимать не только свою узкую область, но и смежные. Например, биотехнолог должен понимать молекулярную биологию (клеточные линии), автоматизацию (управление биореакторами), нормативное регулирование (GMP [2], регистрация в Росздравнадзоре); инженер по аддитивным технологиям должен разбираться в металлургии (поведение порошков при спекании), оптике (настройка лазеров), механике (моделирование термических напряжений в ПО типа ANSYS).

Без такого синтеза компетенций невозможно обеспечить целостность решения: ошибка в одной дисциплине может обесценить достижения в другой.

Что делают компании?

- формируют кросс-функциональные команды, где каждый учится у другого;
- вводят «языковые мосты» — общие термины, совместные словари, визуальные модели;
- поощряют ротация ролей даже на ранних этапах.

Пример: В компании в сфере аддитивных технологий инженеры по 3D-печати металлов изначально настраивали только оборудование, игнорируя металлургию сплавов, что приводило к 38% брака из-за скрытых пор и термических трещин. После внедрения кросс-функциональных стажировок, где инженеры совместно с металлургами изучали фазовые диаграммы, кинетику кристаллизации и остаточные напряжения, уровень брака упал до 9%, а время корректировки параметров сократилось в 2,5 раза. Междисциплинарный синтез превратил разрозненные знания в единый контур решений: теперь параметры печати корректируются с учётом микроструктуры материала ещё до запуска принтера, а не методом дорогостоящих проб и ошибок.

3. Акцент на практических, а не теоретических навыках.

Обучение происходит в процессе работы (on-the-job) [3]: через пилотные запуски, итерации, ошибки, корректировки, а не в классе.

Теория здесь — не основа, а справочный материал. Реальность всегда сложнее модели.

Формы обучения на данном этапе:

- обучение через запуск пилотных партий;
- обучение действием через цикл «сделай — проверь — проанализируй — улучши» (learning by doing) [4];
- ошибка как ресурс: каждая неудача фиксируется, ана-

лизируется и вносится в базу знаний.

Почему это необходимо? Теория часто не работает в реальных условиях из-за неучтённых факторов, нестабильности сырья, особенностей оборудования. Только практика позволяет выявить истинные закономерности.

Пример: При освоении 3D-печати титановых лопаток турбин команда не изучала теорию термических напряжений в симуляторах — она печатала партии, анализировала микротрещины под микроскопом и корректировала мощность лазера, скорость сканирования и стратегию слоёв. Цикл «напечатал — проверил — проанализировал — улучшил» повторялся каждые 3 дня. Каждая неудачная партия фиксировалась в базе знаний с привязкой к параметрам. За 6 месяцев команда нашла устойчивый режим печати, который теоретические модели предсказать не могли: выход годных деталей вырос с 30% до 92%, а цикл освоения технологии сократился с 14 до 6 месяцев. Практика стала не «дополнением к теории», а единственным способом познания реальности.

4. Высокая роль неформального обучения.

Знания в Фазе 1 не структурированы, не закодифицированы, не стандартизированы. Они живут в головах людей и передаются неформально.

Неформальное обучение позволяет передавать тактильные, контекстные, интуитивные знания, которые невозможно описать в документации: например, «температуру нужно

держат не по прибору, а по цвету пламени».

Эти «неявные знания» часто становятся ключом к стабильности процесса — они содержат опыт, накопленный в реальных, а не идеальных условиях.

Основные каналы передачи знаний на данном этапе:

- наставничество: опытный специалист работает бок о бок с новичком;
- совместные эксперименты: «давай попробуем вместе»;
- разбор кейсов после каждой итерации: «что пошло не так?», «как повторить успех?»;
- неформальная коммуникация: обсуждения за кофе, чаты, совместные поездки на испытания.

Пример: При запуске линии углепластиковых деталей для авиации ключевые знания передавались не через сухие мануалы, а «из рук в руки». Опытный технолог учил операторов определять правильную вязкость смолы не по датчику, а «на слух и по тягучести» при перемешивании. Ежедневные 15-минутные разборы прямо у автоклава и совместные эксперименты («давай попробуем изменить угол укладки») позволили новой команде достичь стабильного качества за 3 недели вместо 3 месяцев. Неформальный обмен инсайтами в рабочих чатах и за кофе позже был систематизирован и стал ядром официальной базы знаний компании.

5. Подготовка кадров — это часть научных исследований и научных разработок, а не HR-функция.

В Фазе 1 обучение = (равно) исследованию и научным разработкам. Программы подготовки разрабатывают не HR-менеджеры, а ведущие учёные, инженеры, технические лидеры, потому что только они понимают суть технологии.

HR здесь выступает не как разработчик, а как фасилитатор: организует процессы, обеспечивает инфраструктуру, но не определяет содержание.

Как это реализуется?

- руководитель проекта лично участвует в обучении;
- методические материалы пишутся по ходу освоения, а не заранее;
- оценка эффективности не по тестам, а по результатам пилотных запусков.

Последствия такого подхода:

- обучение максимально приближено к реальным задачам;
- нет «воды» и формализма — только то, что прямо влияет на успех проекта;
- сотрудники чувствуют, что их обучение — часть большого дела, а не бюрократическая процедура.

Пример: При создании микробного препарата для засухоустойчивости культур обучающие материалы писались учёными прямо в ходе полевых испытаний. HR координировал процессы, но не определял содержание. Оценка препарата проводилась не по тестам, а по приживаемости штаммов и прибавке урожая. За 6 месяцев команда вышла на стабиль-

ный эффект, а методики остались внутри компании как ноу-хау. Обучение стало частью научных исследований и научных разработок, а не отдельным курсом.

6. Ориентация на формирование «архитекторов будущего», а не исполнителей.

В Фазе 1 компания не готовит сотрудников к выполнению заранее известных задач — она выращивает людей, способных создавать новые задачи и находить в них смысл. Такие специалисты сочетают исследовательское любопытство, инженерную дисциплину, предпринимательскую смелость и наставническую ответственность.

Их подготовка строится не на повторении шаблонов, а на:

- постановке собственных вопросов;
- проектировании решений в условиях неопределённости;
- принятии ответственности за результат, даже если он не предусмотрен регламентом.

Цель — не «подготовить к работе», а «включить в процесс создания будущего».

Пример: При разработке нового штамма микроводорослей для улавливания CO_2 молодые биологи и инженеры не просто следовали лабораторным протоколам. Они сами сформулировали гипотезы по оптимизации фотосинтеза, спроектировали нестандартную компоновку фотобиореактора и инициировали диалог с экологами для разработки

превентивных мер биобезопасности. Презентуя результаты напрямую совету директоров, они брали на себя ответственность не только за «выращивание культуры», но и за стратегию её будущего масштабирования. Это превратило их из исполнителей-лаборантов в соавторов новой климатической технологии, закладывающих правила игры ещё до её коммерческого запуска.

7. Психологическая устойчивость к неопределённости и неудачам.

Фаза 1 — это территория постоянного «неизвестно». Нет чётких инструкций, гарантированных результатов, стабильных процессов. Поэтому ключевая компетенция — способность работать в условиях тумана, не теряя мотивации и фокуса.

Без психологической устойчивости даже самые талантливые специалисты быстро выгорают.

Что делают компании? Они — компании — развивают эту устойчивость через:

- культуру, где ошибка — не повод для наказания, а источник обучения;
- поддержку психологической безопасности («ты можешь говорить о проблемах без страха»);
- чёткое разделение между провалом проекта и ценностью человека.

Пример: При запуске нового алгоритма скоринга для ма-

лого бизнеса прототипы регулярно давали сбои на реальных данных. Вместо поиска виноватых компания внедрила практику «разбора без обвинений»: каждый отказ фиксировался как учебный кейс, а команда получала время на анализ и перезагрузку. Это снизило выгорание на 55%, сохранило ключевых data-специалистов [5] и позволило провести 30 итераций модели за 6 месяцев. Ошибка перестала быть угрозой — она стала рабочим инструментом улучшения.

8. Глубокая вовлечённость в миссию и смысл работы.

Обучение в Фазе 1 работает только тогда, когда сотрудник видит за своей задачей большую цель: спасти жизни, изменить отрасль, защитить планету. Без этого мотивация быстро иссыкает в условиях высокой нагрузки и неопределённости.

Смысл здесь — не декларация, а операционный ресурс.

Поэтому компании:

- честно рассказывают, зачем нужна эта технология;
- показывают реальных бенефициаров (например, пациентов, которым поможет новый препарат);
- включают сотрудников в обсуждение этических и социальных последствий их работы.

Пример: При разработке платформы для прогнозирования засухи команду не ограничивали офисом: инженеров и агрономов привезли в хозяйства, где из-за климатических аномалий фермеры теряли до 40% урожая. Общение с людьми, чье благополучие напрямую зависело от точности

алгоритмов, превратило абстрактные «метрики модели» в «спасенные гектары». Когда система давала сбой, разработчики исправляли её не ради закрытия технического тикета, а ради продовольственной безопасности региона. Смысл стал операционным ресурсом: текучесть кадров в пилоте составила 0%, а интенсивная работа воспринималась не как нагрузка, а как личный вклад в устойчивость отрасли.

9. Отсутствие чётких границ между ролями и функциями.

В Фазе 1 жёсткое разделение труда не только неэффективно — оно опасно. Технология настолько нова, что её «стыковые зоны» (например, между биологией и автоматизацией, между материалами и программным управлением) становятся местом наибольших рисков и, одновременно, главным источником прорывов. Поэтому сотрудники вынуждены выходить за рамки своих должностных обязанностей: биолог участвует в настройке программируемого логического контроллера, инженер изучает требования нормативной документации, программист помогает валидировать процессы.

Эта «Т-образная» или даже «л-образная» компетентность — не опция, а необходимость. Сотрудник должен глубоко знать свою область и уметь эффективно взаимодействовать с другими дисциплинами.

Как это реализуется?

— вводятся гибридные роли: «инженер-биолог», «анали-

тик по качеству данных», «технолог-эксперт по GMP [6]»;
— поощряется совместное решение задач на междисциплинарных сессиях;
— оценивается не только техническая экспертиза [7], но и способность к мостообразованию между функциями.

Пример: При разработке биосимиляра в биотехнологической компании ключевую роль сыграл специалист, который одновременно понимал клеточную биологию, работу SCADA-систем [8] и требования EMA [9], ответственное за оценку и контроль лекарственных препаратов. Именно он заметил, что колебания температуры в биореакторе, незаметные для инженеров, критически влияли на гликозилирование белка — параметр, который регуляторы считают ключевым для безопасности препарата.

10. Обучение как процесс совместного осмысления, а не передачи знаний.

В условиях радикальной новизны никто — даже руководитель проекта — не обладает полной картиной. Знание рождается коллективно, в диалоге, споре, совместном анализе неудач. Поэтому обучение в Фазе 1 — это не «мастер учит ученика», а сообщество исследователей, которое вместе строит понимание.

Обучение здесь — не вертикальная передача, а горизонтальное сотворчество.

Это проявляется в:

— регулярных рефлексивных сессиях после каждого эксперимента: «Что мы думали? Что получилось? Почему? Что теперь думаем?»;

— использовании визуальных методов совместного мышления: маппинг процессов на стенах [10], совместное моделирование в цифровых средах;

— отказе от иерархии в обсуждении идей: лучший аргумент побеждает, независимо от должности.

Пример: При разработке платформы малых спутников готовых инструкций не существовало, поэтому команда заменила традиционные лекции еженедельными «сессиями совместного осмысления». Инженеры, физики и разработчики ПО вместе анализировали телеметрию тестов, рисовали причинно-следственные карты прямо на стенах и спорили до нахождения истины, где звание не имело значения, а побеждал только лучший аргумент. Благодаря такому горизонтальному сотворчеству критическая проблема резонанса антенн была решена за 2 недели (вместо ожидаемых 2 месяцев), так как решение родилось в междисциплинарном диалоге, а не было спущено сверху в виде регламента.

11. Минимальная формализация и максимальная гибкость процессов обучения.

В Фазе 1 любая преждевременная стандартизация подавляет эксперимент и замедляет поиск решений. Поэтому процессы подготовки намеренно остаются гибкими, адаптивными

ми и слабо формализованными. Нет жёстких учебных планов, фиксированных сроков или обязательных этапов. Обучение развивается синхронно с технологией: сегодняшний урок может быть полностью переписан завтра на основе результатов вчерашнего пилота.

Формализация здесь — не цель, а результат: она появляется только тогда, когда решение доказало свою устойчивость.

Как это реализуется?

- обучение строится по принципу «минимально жизнеспособной программы» [11], которая обновляется ежедневно;

- вместо курсов — живые сессии, основанные на актуальных задачах проекта;

- оценка знаний происходит через участие в реальных рабочих циклах, а не через тесты.

Пример: При разработке бионического протеза кисти команда сознательно отказалась от фиксированного учебного плана: каждую неделю формировался «живой лист задач», например, «изучить статью по артефактам ЭМГ [12] — собрать макет электрода — провести тест на фантоме — представить выводы». Если вчерашний тест выявлял новую проблему (например, дрейф сигнала при потении), сегодняшняя обучающая сессия переписывалась под неё. Оценкой служило не прохождение теста, а успешное участие в рабочем цикле: смог ли инженер воспроизвести результат и передать его коллегам. Благодаря такой гибкости команда без опыта в

биомедицине создала рабочий прототип за 7 месяцев вместо планируемых 14, а «минимально жизнеспособная программа» обучения эволюционировала в корпоративную LMS [13] только на этапе масштабирования.

12. Интеграция обучения с научной и инженерной документацией.

В Фазе 1 граница между «обучающими материалами» и «технической документацией» стирается. Лабораторные журналы, отчёты по пилотам, чертежи, код, протоколы испытаний — всё это становится одновременно источником знаний и инструментом обучения.

Новый сотрудник не читает «курс по технологии» — он изучает реальные данные, анализирует ошибки предшественников и участвует в написании следующей главы технической истории проекта.

Как это реализуется?

- все материалы хранятся в едином цифровом пространстве с возможностью комментирования и версионности;
- приём на работу включает «погружение в архив»: новичок изучает историю проекта как детективное расследование;
- каждый сотрудник обязан вносить вклад в документацию, даже если это просто заметка «почему не сработало».

Пример: При разработке нового фермента для переработки пластика команда отказалась от классических вводных

курсов. Вместо этого новый биоинженер получал доступ к единому цифровому лабораторному журналу с версионированием. Его первый день начинался с «детективного расследования»: анализа записи о неудачном эксперименте месячной давности («Почему белок денатурировал при 45°C ? Какие параметры буфера изменили после этого?»). Проведя собственный тест, сотрудник обязан был не просто сдать отчёт, а оставить комментарий в живом протоколе: «При добавлении реагента X скорость выросла, но стабильность упала — предлагаю скорректировать pH». Граница между обучением и работой стёрлась: документация стала живым организмом, а среднее время выхода инженера на полную мощность сократилось с 2 месяцев до 3 недель.

13. Высокая роль обратной связи от внешней среды как источника обучения.

В Фазе 1 компания не учится только внутри себя. Критически важными становятся сигналы извне: реакция клиентов, замечания регуляторов, вопросы инвесторов, отзывы партнёров, даже критика конкурентов. Эти внешние данные не просто корректируют продукт — они формируют саму логику подготовки кадров.

Обратная связь от рынка становится учебным планом: то, что не понял клиент, — тема следующего разбора; то, что запросил орган регулирования, — основа нового модуля.

Как это реализуется?

— после каждого взаимодействия с внешней средой проводится «рефлексивный круг»: «Что мы думали? Что услышали? Как это меняет наше понимание?»;

— ключевые цитаты клиентов и регуляторов включаются в обучающие материалы как «голос реальности»;

— сотрудники напрямую участвуют во встречах с заказчиками, чтобы услышать запрос «из первых рук».

Пример: При запуске системы точного земледелия каждый запрос фермеров («не понятно, когда поливать») превращался в учебный кейс для команды. Инженеры изучали не абстрактные алгоритмы, а реальные диалоги с пользователями: «Почему интерфейс не сработал? Как изменить визуализацию?». Эти вопросы стали основой модулей обучения. За 4 месяца адаптация новых разработчиков ускорилась на 50%, а удовлетворённость клиентов выросла на 35%. Внешняя обратная связь стала не отчётом, а учебным планом.

14. Обучение через создание инфраструктуры будущего.

В Фазе 1 сотрудники не только осваивают технологию — они одновременно строят ту среду, в которой эта технология будет жить: лаборатории, пилотные линии, цифровые двойники, системы управления знаниями. Процесс создания этой инфраструктуры становится мощнейшим обучающим инструментом.

Когда человек сам проектирует тренажёр, он глубже по-

нимает технологию, чем если бы прошёл сотню курсов на готовом симуляторе.

Как это реализуется?

— новые сотрудники участвуют в проектировании и сборке пилотных установок;

— команды самостоятельно разрабатывают первые версии цифровых моделей и интерфейсов;

— обучение включает этап «построй свой инструмент» — от простого чек-листа до сложного сценария симуляции.

Пример: При запуске пилотного модуля «зелёного» водорода команда не получила готовое оборудование. Инженерам выделили бюджет и задачу: спроектировать и собрать электролизёр с системой мониторинга. В процессе они освоили электрохимию, программирование контроллеров и гидравлику, параллельно разрабатывая цифровые интерфейсы и протоколы безопасности. Готовая установка стала одновременно первым промышленным активом и «живым» тренажёром, где обучение шло через проектирование, а не через инструктаж.

Подготовка кадров в Фазе 1 — это не функция, а форма существования инновации. Она не предшествует созданию технологии и не следует за ней — она происходит одновременно с ней, в том же потоке экспериментов, ошибок, прозрений и решений.

Подготовка кадров в Фазе 1 — это не обучение в привыч-

ном смысле. Это совместное создание нового знания, новых процессов и новой реальности. Здесь нет готовых ответов, учебников или инструкций — есть только вопросы, эксперименты и люди, готовые искать решения вместе.

В этих условиях обучение перестаёт быть передачей знаний и становится совместным их порождением. Сотрудник — не получатель информации, а активный участник конструирования нового технологического уклада. Его компетенции формируются не в классе, а на границе возможного: в пилотных запусках, междисциплинарных диалогах, неудачных испытаниях и этических дискуссиях.

Здесь обучение сливается с работой, теория рождается из практики, а каждый сотрудник становится не исполнителем, а соавтором технологии. Успех зависит не от дипломов или опыта в прошлых циклах, а от способности учиться в реальном времени, мыслить на стыке дисциплин, действовать в условиях неопределённости и верить в миссию, которая ещё не стала очевидной для других.

Именно поэтому подготовка кадров в Фазе 1 невозможно стандартизировать, автоматизировать или измерить формальными KPI. Её эффективность проявляется не в процентах прошедших курсов, а в способности команды создавать то, чего ещё нет и делать это сообща, с пониманием, ответственностью и верой в смысл своего труда.

Компании, которые это понимают, не ищут «готовых специалистов». Они создают условия, в которых люди становят-

ся архитекторами будущего — здесь и сейчас, в процессе самого прорыва.

Именно такие команды закладывают фундамент не просто нового продукта, а новой технологической цивилизации.

Примечания:

[1] LLM-платформа (от англ. Large Language Model — «большая языковая модель») — это программно-аппаратная экосистема, построенная вокруг крупной языковой модели (нейросети, обученной на огромных массивах текстовых данных), которая позволяет создавать, развёртывать, настраивать и использовать ИИ-решения для работы с естественным языком.

[2] GMP (от англ. Good Manufacturing Practice) — Правила надлежащей производственной практики.

[3] Обучение в процессе (потоке) работы (on-the-job) — это подход, при котором обучение невозможно отделить от самого действия. Знание рождается не в классе и не из учебника, а в процессе решения реальной задачи — через пилотные запуски, эксперименты, ошибки и их осмысление.

В контексте Фазы 1 это не «метод обучения», а единственно возможный способ освоения технологии, которой ещё нет в учебниках.

[4] Learning by doing (обучение через действие, обучение действием) — это метод освоения компетенций, при котором знание рождается не из лекций и учебников, а из непо-

средственного выполнения реальной задачи с последующим анализом результата. В настоящей книге это определяется как цикл «сделай — проверь — проанализируй — улучши», повторяемый на коротких итерациях.

[5] Data-специалист — это обобщающий термин для профессионалов, которые работают с данными на всех этапах их жизненного цикла: от сбора и хранения до анализа, интерпретации и превращения в бизнес-решения.

Это «зонтичное» понятие, объединяющее несколько ролей с разными фокусами: data analyst (аналитик данных), data scientist (специалист по данным), data engineer (инженер данных), ML engineer (инженер машинного обучения), analytics engineer (гибрид аналитика данных и инженера данных), BI-разработчик, BI-аналитик.

Data-специалист — это не просто человек, который умеет строить графики. Это мост между данными и решениями, способный:

- задать правильный вопрос,
- найти нужные данные,
- применить подходящий метод,
- интерпретировать результат,
- донести его до бизнеса так, чтобы он привёл к действию.

[6] GMP (от англ. Good Manufacturing Practice) — Правила надлежащей производственной практики.

[7] Экспертиза — это совокупность живых, неявных зна-

ний и навыков, которые накапливаются у ключевых специалистов в процессе освоения новой технологии. Это не просто «знания из учебника», а уникальный опыт, который формируется через практику, ошибки и эксперименты.

[8] SCADA (от англ. supervisory control and data acquisition — «диспетчерское управление и сбор данных») — программный пакет для автоматизации контроля и управления технологическими процессами в реальном времени. Это программная часть автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП).

[9] EMA (European Medicines Agency) — Европейское агентство по лекарственным средствам.

[10] Маппинг процессов на стенах — это визуальный метод совместного проектирования и анализа рабочих процессов, при котором вся команда физически собирается в одном пространстве (часто в «войне-руме» — war room) и в реальном времени отображает технологический или бизнес-процесс на больших поверхностях: стенах, досках, рулонах бумаги.

[11] «Минимально жизнеспособная программа» означает:

- «живой лист задач» на неделю: «изучить статью — собрать макет — провести тест — представить выводы»;
- 3—5 критических знаний, без которых невозможно работать прямо сейчас;
- микро-модули по запросу: «Как калибровать датчик

при высокой влажности?» — 20 минут;

— программа, которая переписывается каждую неделю по результатам вчерашнего эксперимента;

— обучение, которое растёт вместе с технологией.

[12] Артефакты ЭМГ — это любые искажения, помехи или ложные сигналы, которые накладываются на «чистый» мышечный сигнал и делают его непригодным для корректной интерпретации. Это «шум», который мешает алгоритму понять, что именно хочет сделать пользователь.

ЭМГ (электромиография) — это метод регистрации электрической активности мышц. С помощью электродов (накожных или игольчатых) фиксируются сигналы, которые генерируют мышечные волокна при сокращении. Эти сигналы используются в медицине для диагностики, а в инженерии — для управления бионическими протезами, экзоскелетами и нейроинтерфейсами.

[13] LMS (Learning Management System) — автоматизированная платформа для управления онлайн обучением.

Процессы подготовки кадров, происходящие в Фазе 1

Фаза 1 «Освоение и внедрение новой научно-технической идеи» представляет собой самый динамичный, неопределённый и одновременно решающий этап технологического цикла. Здесь технология только начинает выходить из лаборатории, но ещё не оформилась в устойчивый промышленный процесс. В таких условиях традиционные подходы к обучению и управлению персоналом теряют свою эффективность.

Процессы подготовки кадров в Фазе 1 принципиально отличаются от всех последующих этапов: они не являются вспомогательной функцией, а становятся неотъемлемой частью самого процесса создания технологии. Это не «обучение перед работой» — это совместное создание знания в процессе самой работы.

Команда здесь — не исполнитель заранее заданных инструкций, а соавтор новой реальности, чьи действия напрямую формируют облик будущего продукта, процесса и даже рынка. Поэтому процессы подготовки кадров в этот период требуют особых подходов: гибких, междисциплинарных, практико-ориентированных и глубоко вплетённых в саму ткань инновационного процесса.

Далее описаны ключевые процессы, которые определяют

успех в Фазе 1. Вместе они показывают одну истину: в Фазе 1 компания не просто обучает людей — она выращивает будущее через них:

1. Формирование междисциплинарных команд.

Создание команд из специалистов разных профилей позволяет осваивать технологии, находящиеся на стыке наук и отраслей, где ни один эксперт в одиночку не способен увидеть полную картину. Такой подход ускоряет путь от идеи к прототипу, помогает избегать технологических тупиков и формирует сплочённую команду-организм, способную к самообучению и адаптации в условиях неопределённости.

Без междисциплинарности технология становится однобокой: например, биолог игнорирует автоматизацию, инженер — регуляторные требования, программист — физику процесса. Только совместное видение делает решение жизнеспособным.

Как это реализуется?

- отбор по комплементарности [1], а не по формальным критериям (например, биолог + инженер-автоматчик + программист; металлург + лазерный физик + аналитик данных);
- создание единого рабочего пространства;
- общая зона («инновационная лаборатория»), где все находятся рядом;
- единые цели, KPI, сроки;
- применение гибких методологий управления (agile-

подходов [2]):

- короткие итерации (спринты);
- ежедневные синхронизации (stand-up'ы [3]);
- совместное принятие решений;
- демонстрации результатов каждые 1—2 недели.

Такая среда стирает границы между ролями и превращает команду в «коллективный мозг», где решения рождаются на пересечении компетенций.

Пример: При разработке платформы квантовой диагностики трубопроводов команда из 9 человек — физик-квантовик, инженер-схемотехник, специалист по машинному обучению и метролог — работала в единой «инновационной лаборатории» без кабинетных перегородок. Ежедневные 15-минутные stand-up'ы и двухнедельные спринты с демонстрацией прототипов стёрли границы между ролями: физик сразу видел, как его расчёт когерентности влияет на алгоритм фильтрации шумов у ML [4] -специалиста, а метролог на лету корректировал требования к калибровке. Общая ответственность за результат и отсутствие иерархии позволили избежать ключевого тупика — рассинхронизации между «идеальной моделью» и «реальным датчиком в поле». Пилотный запуск сократился с 14 до 5 месяцев, а команда стала «коллективным мозгом», способным к самообучению в условиях неопределённости.

2. Разработка внутренних образовательных про-

грамм.

Отсутствие внешних образовательных ресурсов преодолевается за счёт самостоятельной разработки авторских, практико-ориентированных программ. Такой подход превращает ошибки в ценный актив, а не в убыток, и закладывает основу корпоративной памяти, которая впоследствии будет использована при масштабировании (Фаза 2 «Расширение и тиражирование сферы применения новой научно-технической идеи»).

Внешние тренинги здесь бесполезны — они учат прошлому, а компания создаёт будущее. Поэтому обучение должно быть живым, контекстным и непосредственно связанным с текущими задачами.

Как это реализуется?

- авторские курсы от ведущих разработчиков;
- не лекции, а «как мы это делаем»;
- живые примеры из текущих пилотных запусков;
- симуляторы и цифровые двойники;
- для безопасного тестирования (например, моделирование аварийных ситуаций в биореакторе);
- обучение без риска для оборудования и продукции;
- базы знаний по ошибкам и решениям;
- каждый провал документируется;
- создаётся «энциклопедия неудач» как обучающий ресурс.

Такая система превращает каждый сбой в урок для всей

организации — знания становятся коллективным достоянием, а не личным опытом.

Пример: При запуске производства топливных элементов для коммерческого транспорта внешних курсов не существовало. Инженеры создали внутренний цифровой тренажёр, моделирующий утечки, перепады давления и термические сбои. Каждый виртуальный инцидент фиксировался в «энциклопедии граничных случаев», превращая ошибки в корпоративный стандарт. За 6 месяцев команда сформировала уникальную методику безопасной эксплуатации, которая позже легла в основу отраслевого стандарта. Обучение шло не по учебникам, а через проживание сбоев в безопасной цифровой среде.

3. Привлечение внешней экспертизы [5].

Преодоление дефицита компетенций внутри компании достигается за счёт подключения мирового опыта. Это позволяет сократить путь проб и ошибок, избежать «изобретения велосипеда» и ускорить освоение передовых практик.

Внешняя экспертиза здесь — не замена внутренней, а катализатор: она задаёт вопросы, которые команда ещё не умеет задавать сама.

Как это реализуется?

— наставничество от учёных, консультантов и партнёров:

— регулярные встречи с экспертами (онлайн или офлайн);

- совместный разбор сложных задач;
- стажировки в ведущих центрах, лабораториях, университетах, компаниях:
 - в университетах (MIT, МФТИ, Сколтех);
 - в компаниях-лидерах (Tesla, Siemens, Huawei);
 - в исследовательских институтах (Курчатовский, Fraunhofer).

Стажировка — это не «посмотреть», а «встроиться»: участник должен вернуться не с впечатлениями, а с конкретными гипотезами для внедрения.

Пример: При запуске имплантируемого нейроинтерфейса команда привлекла экспертов из ведущих лабораторий (Курчатовский институт, университет Цинхуа) для наставничества по биосовместимости материалов. Вместо общих консультаций эксперты участвовали в еженедельных разборах: «Почему сигнал деградирует? Как изменить геометрию электрода?». За 4 месяца это помогло избежать 3 типовых ошибок, сократить цикл валидации на 30% и сформировать внутренний протокол тестирования. Внешняя экспертиза не заменила команду — она задала вопросы, которые команда ещё не умела задавать сама.

4. Обучение методам экспериментальной работы.

Научить команду воспринимать неопределённость как норму, а не как помеху — значит превратить хаос экспериментов в управляемый процесс. Это снижает затраты на

исследования и разработки и одновременно повышает качество принимаемых решений.

Без дисциплины эксперимента инновация превращается в блуждание в тумане. С ней — в целенаправленный поиск.

Как это реализуется?

- работа с гипотезами:

- чёткая формулировка, измеримость, проверяемость. Например, «Если мы изменим pH, то выход продукта вырастет на X%»;

- дизайн экспериментов (DoE, Design of Experiments) [6]:

- минимизация числа итераций за счёт математического планирования;

- выявление ключевых факторов влияния;

- итеративный цикл «сделай — проверь — измени»:

- короткие циклы (дни, а не месяцы);

- быстрая обратная связь от данных;

- анализ данных.

DoE здесь — не академический инструмент, а практический способ сократить время и ресурсы, направив усилия на действительно значимые переменные.

Пример: При разработке энергоэффективного штамма для биосинтеза команда отказалась от перебора параметров «методом тыка». Была сформулирована чёткая гипотеза: «Изменение соотношения питательных сред при снижении температуры повысит выход продукта на 20%». С по-

мощью DoE (дизайна экспериментов) команда спланировала и провела всего 16 ключевых комбинаций за 2 недели, вместо ожидаемых 3 месяцев пошаговых тестов. Это не только сэкономило дорогостоящие реактивы, но и выявило неочевидный синергетический эффект, который лег в основу нового патента. Эксперимент перестал быть «блужданием в тумане» и стал управляемым, целенаправленным поиском.

5. Подготовка к работе в условиях неопределённости.

Развитие психологической и когнитивной устойчивости команды к постоянным изменениям, неудачам и отсутствию чёткого плана позволяет сохранять мотивацию и когнитивную гибкость, а также предотвращает уход ключевых сотрудников в первые месяцы пилотного запуска.

Неопределённость — это не помеха, а среда. Задача — научить команду «плавать» в ней, а не ждать берега.

Как это реализуется?

- тренинги по управлению стрессом;
- техники восстановления после неудач;
- работа с выгоранием;
- обучение принятию решений при недостатке данных;
- методы оценки рисков;
- работа с вероятностными сценариями;
- тренинги по работе с неудачами;
- культура «безопасной неудачи»;
- разбор ошибок без обвинений;

— поощрение за смелые гипотезы, даже если они не сработали.

Психологическая устойчивость здесь — не «держаться», а «учиться в движении». Это компетенция не менее важная, чем техническая экспертиза.

Пример: При запуске платформы малых спутников команда работала в условиях, где 40% параметров орбитальной среды нельзя было предсказать заранее. Вместо ожидания «полной картины» компания внедрила тренинги по принятию решений при потере телеметрии и культуру «безопасного провала»: после каждого сбоя в наземных тестах проводился 20-минутный разбор без поиска виноватых с вопросом «Что мы узнали?». Инженерам поощряли смелые гипотезы, даже если они не подтверждались, их анализ вносился в базу знаний. За 6 месяцев это снизило тревожность в команде на 45% и увеличило число амбициозных технических инициатив в 2,5 раза. Неопределённость перестала быть стрессом — она стала рабочей средой, где команда «плавала», а не ждала берега.

6. Формирование культуры «архитекторов будущего».

В Фазе 1 компания не просто обучает сотрудников — она выращивает новый тип профессионалов: тех, кто сочетает глубокую экспертизу, системное мышление, предпринимательскую смелость и способность вести за собой. Такие лю-

ди не ждут инструкций — они сами формулируют задачи, ставят гипотезы, проектируют решения и берут ответственность за результат.

Цель — не подготовить исполнителя, а вырастить соавтора будущего. Это смена парадигмы: от «что делать» к «зачем и как лучше».

Как это реализуется?

- через вовлечение в миссию: каждый понимает, зачем нужна технология и кому она поможет;

- через автономию: свобода выбора методов, инструментов и подходов при чёткой ответственности за результат;

- через признание инициативы: поощряются не только успехи, но и смелые идеи, даже если они пока не сработали.

Такой подход формирует внутреннюю мотивацию, которая устойчива к внешним вызовам.

Пример: В лаборатории по разработке биоразлагаемых материалов молодым биоинженерам не выдавали готовых технических заданий. Им поставили миссию: «Найти замену одноразовому пластику в логистике». Команда сама выбрала биологический путь синтеза, самостоятельно нашла пилотную площадку у производителя упаковки и лично защитила дорожную карту перед инвестиционным комитетом. Когда первая гипотеза провалилась, руководство не наказало, а выделило ресурсы на проверку новой идеи. Это превратило сотрудников из лаборантов во внутренних предпринимателей (intrapreneurs): за год они не просто создали прототип, а

запустили новое бизнес-направление, став соавторами рынка, а не просто исполнителями задач.

7. Создание условий для психологической безопасности.

Фаза 1 — это территория постоянного риска, неопределённости и неудач. Без ощущения безопасности люди замыкаются, перестают предлагать идеи, избегают экспериментов. Поэтому ключевой элемент подготовки — культура, где можно говорить о проблемах, признавать ошибки и задавать «глупые» вопросы.

Психологическая безопасность — не «мягкость», а стратегическое условие инноваций. Там, где боятся говорить, не может быть прорыва.

Как это реализуется?

- регулярные сессии «без масок», где руководитель первым делится своими сомнениями;

- запрет на публичную критику без предложения альтернативы;

- система «анонимной обратной связи» для выявления скрытых барьеров;

- защита от бюрократического давления: минимизация отчётности, фокус на результатах, а не на формальностях.

Лидер здесь — не «знающий всё», а «создающий условия для коллективного знания».

Пример: При разработке автономного грузового дрона ко-

манда внедрила правило «Красный флаг»: любой инженер мог остановить тестовый полёт без бюрократических согласований, если интуитивно чувствовал риск. На еженедельных ретроспективах технический директор начинал с разбора своей ошибки в архитектуре кода, задавая тон: «Мы здесь, чтобы найти слабое место, а не виноватого». Запрет на критику без альтернативы и анонимный канал для «глупых» вопросов привели к тому, что за 4 месяца количество выявленных критических уязвимостей выросло в 3 раза, а время их устранения сократилось на 50%. Психологическая безопасность стала не «мягкой практикой», а главным инструментом предотвращения катастроф.

8. Интеграция обучения, исследований и производства.

В Фазе 1 границы между исследованиями и разработками (НИОКР), обучением и производством стираются. Обучение происходит не «до» работы, а в процессе создания самого продукта. Каждый эксперимент — одновременно и исследование, и тренировка, и шаг к промышленному внедрению.

Знание здесь не передаётся — оно рождается в действии. Теория и практика становятся единым потоком.

Это позволяет:

- избежать разрыва между «лабораторным» и «промышленным» знанием;
- быстро переносить инсайты из одного цикла в другой;
- формировать команду, которая знает технологию «из-

нутри», а не по учебникам.

Такой подход устраняет «синдром переводчика»: нет разрыва между теми, кто придумал, и теми, кто делает.

Пример: При запуске системы предиктивного обслуживания станков команда не разделяла НИОКР, обучение и внедрение. Инженеры по данным, технологи и операторы совместно собирали данные, обучали модели и тестировали их на реальном оборудовании. Каждый сбой алгоритма становился учебным кейсом, а каждый успешный прогноз — доказательством компетенции. За 5 месяцев команда не только запустила рабочую систему, но и сформировала внутренний стандарт «обучения через создание», где теория и практика сливались в единый поток.

9. Систематизация и фиксация «живого» опыта с первого дня.

В Фазе 1 знания рождаются в реальном времени — в ходе экспериментов, сбоев, прозрений. Если их не зафиксировать немедленно, они теряются: уходят вместе с сотрудниками, забываются в аврале или остаются «в головах». Поэтому критически важно внедрить практику непрерывной документации как части рабочего процесса, а не как отдельную административную задачу.

Живой опыт — самый ценный актив Фазы 1. Его нельзя купить, его можно только сохранить.

Как это реализуется?

— «журнал прорыва»: каждый участник фиксирует ключевые наблюдения после каждого эксперимента даже субъективные («звук изменился», «раствор стал мутнее»);

— видеоинструкции от операторов: запись коротких роликов «как я это делаю» прямо на производственной площадке;

— цифровые карты решений: визуальные схемы, где фиксируются не только шаги, но и критерии выбора, «тонкие места» и контекстные подсказки;

— автоматическая фиксация данных: интеграция лабораторных и производственных систем с базой знаний — любое отклонение автоматически генерирует карточку для анализа и обучения.

Этот подход превращает опыт из эфемерного актива в воспроизводимый капитал, который можно использовать при масштабировании в Фазе 2.

Пример: При запуске линии промышленной ферментации каждый оператор вёл цифровой «журнал прорыва»: после каждого цикла фиксировались не только показатели pH и температуры, но и субъективные наблюдения — «среда помутнела на 4-й час», «появился кисловатый запах, которого не было раньше», «колонии на чашке выросли неравномерно». Параллельно система автоматически генерировала карточки анализа при любом отклонении датчиков. Видеоинструкции «как я отбираю пробу без загрязнения» снимались прямо у биореактора. Через 10 месяцев, когда компа-

ния масштабировала технологию на вторую площадку, новая команда воспроизвела режим ферментации за 2 недели без участия первоначальных разработчиков — доля брака составила всего 8% вместо ожидаемых 35%. «Живой опыт», зафиксированный с первого дня, превратился из эфемерного актива в воспроизводимый капитал.

10. Проектирование карьерных траекторий как часть вовлечения.

В Фазе 1 компания рискует потерять лучших специалистов сразу после пилотного проекта или запуска: они осваивают уникальную экспертизу, а затем уходят туда, где её ценят и развивают. Чтобы этого избежать, необходимо заранее проектировать будущее для каждого участника проекта — не как абстрактное обещание, а как конкретную дорожную карту.

Люди остаются там, где видят своё будущее. В Фазе 1 это особенно важно — ведь они создают не просто продукт, а новую реальность.

Как это реализуется?

— при вовлечении в проект сотруднику чётко обозначаются этапы роста: «Через 6 месяцев ты станешь техлидом направления, через год — возглавишь запуск второй линии, через два — будешь курировать экспорт технологии»;

— вводятся гибридные роли развития: «инженер-наставник», «аналитик-тренер», «разработчик-эксперт по масшта-

бированию»;

— предусматриваются долгосрочные нематериальные стимулы: участие в стратегических решениях, право представлять технологию внешним партнёрам, менторство новых команд;

— связывается финансовая мотивация с жизненным циклом проекта: бонусы не только за пилот, но и за успешное тиражирование.

Карьерная траектория здесь — не HR-формальность, а часть технологической стратегии.

Пример: При запуске платформы ИИ-аналитики угроз для энергосетей компания заключила с ядром из 10 инженеров двухлетние соглашения о развитии. В них чётко прописывались этапы роста: от «участника пилота» до «ведущего архитектора модуля масштабирования» и далее до «руководителя регионального центра компетенций». Были введены гибридные роли («инженер-наставник», «аналитик-охотник за угрозами») и нематериальные стимулы: право представлять решение на ключевых отраслевых форумах. В результате при переходе к коммерческому тиражированию текучесть ключевых кадров составила всего 5%. Сотрудники видели в проекте не разовую задачу, а трамплин для своей карьеры, что позволило оригинальной команде лично возглавить запуск второй очереди системы, ускорив его на 30%.

11. Создание «песочниц» для безопасного эксперимен-

тирования.

В условиях высокой стоимости ошибок (финансовой, репутационной, технологической) критически важно дать команде пространство, где можно пробовать, ломать и учиться без последствий для основного пилотного проекта. Такие «песочницы» — это изолированные среды, где тестируются гипотезы, алгоритмы, материалы и процессы до их внедрения в пилот.

Песочница здесь — не игрушка, а стратегический инструмент снижения рисков и ускорения цикла обучения.

Как это реализуется?

- выделение отдельного оборудования или цифровых сред для экспериментов;
- создание «тени» реальных систем: цифровые двойники, физические макеты, упрощённые стенды;
- введение правила: «Любая идея сначала проходит в песочнице, потом — в пилотный проект».

Пример: При разработке нового поколения РЕМ-электролизёров компания выделила отдельный испытательный стенд мощностью 50 кВт — «песочницу», изолированную от основного пилотного производства. Любая новая гипотеза по мембранам, катализаторам или режимам давления сначала проходила через этот стенд и цифровой двойник, и только после подтверждения безопасности внедрялась в полупромышленную линию. Правило «сначала песочница — потом пилот» позволило за 8 месяцев протестировать 47 конфигу-

раций без единой аварийной остановки основного производства. Стоимость ошибки в «песочнице» была в 20 раз ниже, чем в пилоте, а цикл обучения команды ускорился в 3 раза. Изолированная среда стала не «игрушкой», а стратегическим инструментом, который превратил рискованные эксперименты в управляемый источник знаний.

12. Раннее вовлечение органов регулирования и ключевых стейкхолдеров [7] в процесс обучения.

В Фазе 1 часто возникает разрыв между техническими возможностями и требованиями внешней среды: органов регулирования, клиентов, инвесторов. Чтобы избежать катастрофических корректировок на поздних этапах, компании заранее вовлекают этих стейкхолдеров не только в обсуждение продукта, но и в процесс формирования компетенций команды.

Это превращает органы регулирования из «инспекторов» в «соавторов», а клиентов — из потребителей в партнёров по освоению технологии.

Как это реализуется?

- совместные рабочие группы с органами регулирования (например, Росздравнадзор, ГИБДД);
- демонстрация прототипов инвесторам и клиентам на ранних стадиях с запросом обратной связи по функциональности и безопасности;
- включение представителей стейкхолдеров в обучаю-

щие сессии: они рассказывают, как будут оценивать технологию, какие критерии считают ключевыми.

Пример: При запуске беспилотного шаттла в закрытом технопарке команда с первого дня вовлекла представителей регулятора, страховых компаний и городских служб в еженедельные демо-сессии. Регуляторы не просто проверяли готовый продукт — они участвовали в разборе сценариев: «Как система реагирует на пешехода в слепой зоне?». Это позволило сформировать компетенции команды в соответствии с требованиями безопасности ещё до выхода на публичные дороги. В результате сертификация прошла за 9 месяцев вместо 18, а количество доработок после аудитов сократилось на 70%. Регулятор стал не «инспектором», а соавтором стандарта.

13. Создание минимально жизнеспособной образовательной системы (MVES) [8] параллельно с MVP продукта [9].

Так же, как в Фазе 1 разрабатывается минимально жизнеспособный продукт (MVP), компания одновременно создаёт минимально жизнеспособную образовательную систему (MVES) — базовый каркас подготовки, достаточный для передачи сути технологии первым новичкам и партнёрам. Эта система включает: ключевые принципы, критические параметры, типовые ошибки, базовые сценарии и каналы обратной связи.

MVES — это не финальная программа, а «зародыш» будущей обучающей экосистемы. Она растёт вместе с технологией.

Как это реализуется?

- выделение 3—5 «критических знаний», без которых невозможно работать с технологией;
- создание первого набора обучающих артефактов: чек-листов, видеоинструкций, сценариев симуляции;
- назначение «хранителя MVES» — человека, отвечающего за её актуальность и развитие;
- тестирование MVES на первых внешних пользователях (партнёрах, клиентах, новых сотрудниках).

Пример: При запуске линии промышленной ферментации для производства биополимеров команда параллельно с MVP-прототипом биореактора создала MVES из 6 элементов: карта критических параметров (pH, температура, концентрация кислорода), видео «Как избежать контаминации при отборе пробы», симулятор сбоя биореактора, чек-лист безопасного запуска, словарь терминов и канал в социальной сети для срочной обратной связи. Назначили «хранителя MVES» — ведущего биотехнолога, отвечающего за еженедельное обновление материалов. Уже через 4 месяца эта система позволила обучить внешнюю команду партнёра в ЕАЭС без участия ядра-разработчиков: время адаптации нового сотрудника в компании сократилось с 3 месяцев до 2 недель, а доля брака при первых партиях составила 9% вме-

сто ожидаемых 35%. MVES стала не «черновиком обучения», а «зародышем экосистемы», которая росла вместе с технологией и обеспечила тиражирование без потери качества.

14. Формирование «команды-ядра» как носителя технологического ДНК.

В Фазе 1 критически важно не просто собрать междисциплинарную команду, а вырастить ядро, которое будет нести технологию через все последующие фазы — от пилотного проекта до масштабирования и модернизации. Это небольшая группа (5—15 человек), обладающая глубокой экспертизой, общим видением и высокой степенью доверия друг к другу. Именно она становится «живым хранилищем» технологического ДНК: интуиции, принципов принятия решений, этических установок и способа мышления.

Без такого ядра технология быстро теряет «дух» при масштабировании и превращается в формальный шаблон.

Как это реализуется?

- тщательный подбор по ценностям, а не только по компетенциям;
- совместная работа в условиях высокой неопределённости («огонь спаивает»);
- развитие коллективной ответственности: успех и провал — общие;
- раннее вовлечение в стратегические дискуссии о буду-

щем технологии.

Пример: При запуске квантового процессора в исследовательском центре ядро из 9 человек отбиралось не по публикациям, а по готовности работать в условиях радикальной неопределённости и разделять видение «квантового мышления». Команда совместно проживала неудачи, фиксировала интуитивные решения и формировала внутренний язык описания ошибок. За 3 года это ядро не только создало рабочий прототип, но и «заразило» своими принципами 50+ новых сотрудников, сохранив технологическую ДНК при масштабировании. Даже после ротации кадров архитектура платформы осталась верной исходным принципам, потому что ядро передало не знания, а способ мышления.

Ключевые различия процессов «формирования междисциплинарных команд» и «создания команды-ядра».

На первый взгляд, процессы «формирования междисциплинарных команд» и «создания команды-ядра» могут казаться синонимами, но на деле это разные по цели, составу и функциям процессы, которые дополняют друг друга в Фазе 1.

При «формировании междисциплинарных команд»:

- цель: освоить технологию на стыке дисциплин, решить комплексную задачу, избежать «слепых зон»;
- состав: широкий: включает всех, кто нужен для решения текущей задачи — биологи, инженеры, программисты,

регуляторы и т. д. Может меняться по мере развития проекта;

- фокус: создать рабочий прототип, пройти валидацию, запустить пилотный проект;

- роль в проекте: исполнительская и исследовательская
- делает технологию рабочей;

- длительность: может быть временной — до завершения пилота или этапа;

- результат процесса: рабочая технология, документация, MVP (минимально жизнеспособный продукт).

При «создании команды-ядра»:

- цель: стать носителем технологического ДНК — сохранить и передать не только знания, но и культуру, принципы, интуицию, этику принятия решений;

- состав: узкий и стабильный: 5—15 человек, прошедших «огонь» пилота вместе. Отбираются не только по компетенциям, но и по ценностям, доверию и способности мыслить системно;

- фокус: обеспечить воспроизводимость технологии в Фазах 2 и 3, стать «хранителями смысла»;

- роль в проекте: архитектурная и методологическая — определяет, как технология должна развиваться, обучаться и масштабироваться;

- длительность: долгосрочная — команда-ядро остаётся на годы, переходя от пилотного проекта к масштабированию, от одного продукта к следующему;

— результат процесса: живая экспертиза, корпоративная память, методология, внутренние тренеры, архитекторы будущих решений.

Эти процессы друг без друга не работают: междисциплинарная команда создаёт технологию, а команда-ядро делает её бессмертной. Иными словами, междисциплинарная команда — это экипаж, который строит и испытывает новое судно, а команда-ядро — школа капитанов, выросшая из этого экипажа и обучающая других управлять такими кораблями не по шаблону, а с пониманием сути.

Процессы подготовки кадров в Фазе 1 — это не обучение в традиционном смысле. Это архитектура будущего, выстроенная из живых людей, их взаимодействий, ошибок и прозрений. Здесь нет готовых шаблонов, учебников или инструкций — есть только вызов неизвестного и команда, готовая отвечать на него сообща. Здесь рождаются не отдельные специалисты, а целостные команды-организмы: они мыслят на стыке дисциплин, учатся на ошибках, сохраняют ясность в условиях хаоса и превращают эксперименты в управляемый путь к прорыву.

Процессы подготовки кадров в Фазе 1 — это не «обучение перед работой», а совместное создание нового знания в процессе самой работы. Они объединяют науку, производство, психологию и управление в единый поток, где каждый участник — не исполнитель, а соавтор будущего.

Именно на этом этапе — в первых пробах, первых неудачах и первых победах — решается судьба всей идеи. От того, насколько грамотно выстроена работа с людьми, зависит: станет ли технология основой нового промышленного уклада или навсегда останется в истории как «почти получилось».

Каждый из описанных процессов — от формирования междисциплинарных команд и создания «песочниц» до проектирования карьерных траекторий и фиксации «живого опыта» — решает одну стратегическую задачу: превратить технологическую идею в устойчивую, воспроизводимую и развивающуюся реальность.

Именно в Фазе 1 закладывается всё:

— Как команда будет принимать решения?

— Как она будет относиться к ошибкам — как к провалам или как к данным?

— Будут ли специалисты работать в своих узких зонах или научатся видеть, как их решения влияют на всю систему?

— Как команда будет учиться и делиться знаниями?

— Какая культура возникнет вокруг технологии?

— И самое главное: поверит ли команда, что невозможное возможно? Хватит ли команде смелости идти вперёд, когда нет карты, прецедентов и гарантий?

Это ядро инновационного процесса. Именно здес закладывается ДНК будущей системы.

Если эти процессы выстроены правильно, компания по-

лучает не просто рабочий прототип, а живое ядро технологического лидерства — команду, которая не только создаёт технологию, но и умеет её передавать, развивать и защищать. Такая команда становится основой не одного продукта, а целого технологического уклада. Она способна расти, масштабироваться и вести за собой всю отрасль.

Если же этап пройден формально — даже самый гениальный прорыв рискует остаться в лаборатории, потому что технологии не живут в патентах, станках или коде — они живут в людях. Поэтому всё решается именно здесь — в первые месяцы, в первых экспериментах, в первых диалогах между биологом и инженером, между учёным и оператором, между руководителем и новичком. Потому что Фаза 1 — это не про оборудование, не про патенты и даже не про саму технологию. Это про людей, которые верят в будущее, которого ещё нет, и готовы его построить.

Фаза 1 — это не начало масштабирования. Это момент рождения будущего. И рождается оно не автоматически — оно выращивается через людей.

Примечания:

[1] Комплементарными называют различающиеся или даже противоположные теории, концепции, модели и точки зрения, которые совместно создают более полное представление, чем каждая по отдельности. Также комплементарность может означать взаимодополняемость явлений, объек-

тов или понятий, каждый из которых в отдельности лишь частично раскрывает сущность исследуемой реальности.

[2] Agile-подходы (от англ. agile — «гибкий», «проворный») — это семейство гибких методологий управления проектами и разработки продуктов, основанных на итеративном, инкрементальном подходе, где требования и решения эволюционируют через сотрудничество самоорганизующихся кросс-функциональных команд.

Ключевые принципы agile:

- итеративность — работа разбивается на короткие циклы (спринты, обычно 1—4 недели), по итогам которых создаётся рабочий инкремент продукта;

- адаптивность — планы не жёсткие, а корректируются по мере поступления новых данных и обратной связи;

- кросс-функциональность — команда включает специалистов разных профилей, способных совместно решать задачи без долгих согласований;

- непрерывная обратная связь — регулярные демонстрации результатов, ретроспективы, stand-up встречи;

- самоорганизация команды — решения принимаются теми, кто ближе всего к задаче, а не спускаются сверху;

- фокус на ценности — приоритет отдаётся тому, что реально нужно пользователю или рынку.

В Фазе 1 «Освоение и внедрение новой научно-технической идеи» agile-подходы применяются не только для управления разработкой, но и как методология обучения и фор-

мирования команды:

- короткие итерации (спринты) — цикл «гипотеза — эксперимент — вывод» повторяется каждые 1—2 недели, позволяя быстро проверять идеи и корректировать курс;
- ежедневные stand-up'ы — синхронизация команды, выявление препятствий, обмен решениями;
- демонстрации результатов — каждые 1—2 недели команда показывает прототипы стейкхолдерам, получая обратную связь;
- ретроспективы — разбор того, что сработало, что нет, и как улучшить процесс;
- кросс-функциональные команды — биолог, инженер, программист, регуляторный эксперт работают вместе, а не по отдельности.

[3] Stand-up (от англ. stand up — «встать») — это короткая ежедневная встреча команды (обычно 10—15 минут), которая проводится стоя (отсюда и название), чтобы участники не затягивали обсуждение. Это ключевой элемент гибких методологий управления (Agile, Scrum), который в Фазе 1 превращается из формальной процедуры в инструмент коллективного обучения и быстрого принятия решений.

Формат классического stand-up'a — каждый участник за 1—2 минуты отвечает на три вопроса:

- «Что я сделал вчера?» (какой эксперимент, тест, итерация);
- «Что планирую сделать сегодня?» (какую гипотезу про-

верить);

— «С какими препятствиями столкнулся?» (что мешает двигаться дальше).

Встреча проходит в одно и то же время, обычно утром, у доски, экрана или в общем цифровом пространстве. Ведущий (Scrum Master или координатор спринта) следит, чтобы обсуждение не уходило в детали — для этого есть отдельные сессии.

В Фазе 1 stand-up — это не совещание, а акт совместного осмысления. Он превращает разрозненных специалистов в коллективный мозг, способный:

- быстро обмениваться знаниями;
- выявлять противоречия на ранних этапах;
- принимать решения без иерархических задержек;
- учиться на ошибках в реальном времени.

Именно поэтому в интенсивном подходе stand-up — это не формальность, а стратегический инструмент, который сокращает цикл «гипотеза — тест — вывод» с недель до дней и превращает междисциплинарность из теоретического принципа в операционное преимущество.

[4] ML (от англ. Machine Learning — «машинное обучение») — это подраздел искусственного интеллекта, в котором алгоритмы обучаются на данных, выявляя закономерности и делая прогнозы или принимая решения без явного программирования под каждую ситуацию. В отличие от классического ПО, где правила заданы разработчиком, ML-

модель «учиться» на примерах.

[5] Экспертиза — это совокупность живых, неявных знаний и навыков, которые накапливаются у ключевых специалистов в процессе освоения новой технологии. Это не просто «знания из учебника», а уникальный опыт, который формируется через практику, ошибки и эксперименты.

[6] DoE (Design of Experiments, дизайн экспериментов) — это статистический метод планирования экспериментов, который позволяет получить максимум информации при минимуме испытаний. Вместо того чтобы перебирать параметры «методом тыка» (один за другим), DoE математически планирует, какие комбинации факторов нужно проверить, чтобы выявить не только влияние каждого параметра, но и их взаимодействие.

Простыми словами: Представьте, что у вас есть 5 переменных (температура, давление, pH, концентрация, время), и каждая может принимать 3 значения. Полный перебор дал бы $3^5 = 243$ эксперимента. DoE позволяет получить ту же информацию за 12—16 экспериментов, спланированных математически.

[7] Стейкхолдеры (от англ. stakeholder — «заинтересованная сторона») — это любые лица, группы или организации, которые влияют на проект или находятся под его влиянием, чьи интересы затрагиваются его успехом или провалом. В отличие от акционеров (shareholders), которые владеют долей в компании, стейкхолдеры — это более широкое понятие,

включающее всех, кто имеет «ставку» в результате.

Внутренние стейкхолдеры: руководство и совет директоров, команда первопроходцев, сотрудники «старого» бизнеса. Внешние стейкхолдеры: органы регулирования, клиенты и конечные пользователи, партнёры и поставщики, инвесторы и венчурные фонды, научные центры и университеты, местные сообщества и экологические организации, коренные малочисленные народы и пр.

[8] MVES (Minimum Viable Educational System) — это минимально жизнеспособная образовательная система. Это базовый каркас подготовки, достаточный для передачи сути новой технологии первым новичкам, партнёрам и внешним командам — ещё до того, как технология полностью стабилизирована.

MVES — это не полноценная учебная программа, а «зародыш» будущей обучающей экосистемы, который растёт синхронно с технологией и превращается в полноценную систему обучения уже на этапе Фазы 2 (масштабирования).

[9] MVP (Minimum Viable Product) — это минимально жизнеспособный продукт, базовая версия продукта или технологии, обладающая минимально необходимым набором функций, достаточным для проверки ключевых гипотез и получения обратной связи от первых пользователей.

MVP — это не «сырой» или «недоделанный» продукт. Это целенаправленно упрощённая версия, созданная для максимально быстрой валидации идеи с минимальными за-

тратами ресурсов. Его цель — не продать, а научиться.

Ключевая философия MVP: «Лучше рабочий прототип сегодня, чем идеальная схема через год».

Проблемы и риски в подготовке кадров

Фаза 1 «Освоение и внедрение новой научно-технической идеи» представляет собой самый динамичный, неопределённый и одновременно решающий этап технологического цикла. Здесь технология только начинает выходить из лаборатории, но ещё не оформилась в устойчивый промышленный процесс. В таких условиях традиционные подходы к обучению и управлению персоналом теряют свою эффективность.

Подготовка кадров в Фазе 1 принципиально отличается от всех последующих этапов: она не является вспомогательной функцией, а становится неотъемлемой частью самого процесса создания технологии. Кадры здесь — не исполнители заранее заданных инструкций, а соавторы новой реальности, чьи действия напрямую формируют облик будущего продукта, процесса и даже рынка.

Именно поэтому этот этап сопряжён с рядом проблем и рисков. Эти риски не технические — они человеческие, организационные, культурные. И именно от того, как компания с ними справится, зависит, станет ли идея основой нового технологического уклада или останется в истории как «почти прорыв».

Далее рассматриваются ключевые проблемы и риски под-

готовки кадров в Фазе 1, а также практические подходы к их минимизации. Вместе они показывают одну истину: в Фазе 1 компания не просто обучает людей — она выращивает будущее через них:

1. Дефицит междисциплинарных специалистов на рынке труда.

Новые технологии рождаются на стыке дисциплин (биология + ИТ, энергетика + ИИ, материалы + цифровизация), но рынок труда готовит узких специалистов. Университеты и колледжи не успевают за темпами технологических сдвигов, и готовых кандидатов просто нет.

Современные прорывы требуют «переводчиков между мирами» — людей, которые говорят на языке науки, инженерии и бизнеса одновременно. Такие профили крайне редки.

Причины дефицита:

- образовательные программы отстают от промышленных запросов на 5—10 лет;
- междисциплинарность требует гибкого мышления, которое редко развивается в традиционной системе образования;
- такие специалисты часто работают в стартапах или у конкурентов и не доступны на открытом рынке.

Последствия дефицита:

- поиск нужных специалистов становится долгим и за-

тратным;

- необходимость формировать команду из «несовершенных» кандидатов и дообучать их «под проект»;
- возрастает риск ошибок из-за пробелов в смежных областях знаний, что замедляет освоение технологии и повышает издержки.

Как минимизировать?

- формировать команды по принципу комплементарности, а не по формальным резюме;
- создавать внутренние «инкубаторы» междисциплинарных компетенций уже на этапе пилотного запуска;
- внедрять практику совместного обучения: биологи проходят базовый курс автоматизации, инженеры — основы регуляторики, программисты — физику процесса.

Пример: При запуске платформы предиктивной аналитики для агробизнеса компания столкнулась с полным отсутствием кандидатов, сочетающих агрономию, науку о данных (data science) и IoT (Internet of Things, интернет вещей). Пришлось собрать команду из трёх профилей: агрономы учились работать с датчиками, инженеры — понимать фенологию культур, аналитики — интерпретировать полевые данные. Внутренний «инкубатор компетенций» занял 4 месяца, но позволил создать уникальную методику валидации моделей, которую позже лицензировали партнёры. Дефицит рынка стал не барьером, а стимулом вырастить собственное междисциплинарное ядро.

2. Высокая стоимость подготовки (время, ресурсы, экспертиза [1]).

Поскольку нет готовых программ, всё приходится разрабатывать «с нуля»: авторские курсы, симуляторы, базы знаний, методики. Это требует огромных затрат времени, денег и интеллектуальных ресурсов ключевых сотрудников.

Инвестиции в подготовку в Фазе 1 — это не расходы, а закладка фундамента будущей системы. Но многие компании воспринимают их как «перекос бюджета».

В состав затрат входят:

- рабочее время ведущих учёных и инженеров, отвлечённых от основной деятельности на разработку обучающих материалов;
- закупка оборудования для пилотных линий и обучающих симуляторов;
- гонорары внешним экспертам, консультантам и наставникам;
- прямые потери, связанные с остановками производства и ошибками в ходе учебных экспериментов.

Последствия:

- значительная часть бюджета Фазы 1 уходит на подготовку — дообучение кадров, а не на исследования и разработки;
- замедление самого процесса освоения технологии;
- риск недофинансирования других критических на-

правлений.

Как минимизировать?

- рассматривать подготовку как часть научных исследований и научных разработок, а не как HR-расход;
- использовать модульный подход: разрабатывать повторно используемые компоненты (симуляторы, чек-листы, сценарии);
- фиксировать все затраты на обучение как инвестиции в корпоративную память — это позволяет обосновать бюджет перед руководством.

Пример: При запуске пилотной линии топливных элементов компания инвестировала 120 млн рублей в создание внутреннего симулятора утечек и термических сбоев. Это отняло 30% бюджета Фазы 1, но позволило отработать 50+ аварийных сценариев без риска для оборудования и персонала. В результате пилотный запуск прошёл без инцидентов, а симулятор стал частью системы промышленной безопасности. Подготовка не «съела» бюджет — она превратила затраты в страховой актив и корпоративную память.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.