

КОРПОРАТИВНЫЙ ЖУРНАЛ ПАО «ОДК-САТУРН»

ТРАМПЛИН К УСПЕХУ



**БИЗНЕС-МОДЕЛЬ
ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ
ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ
КОРПОРАЦИИ В 2030**

№ 16
2021



ЮРИЙ ШМОТИН

**Заместитель генерального
директора – генеральный
конструктор АО «ОДК»,
д-р техн. наук**

Дорогие друзья!

Рад приветствовать всех участников VII Международного технологического форума «Инновации. Технологии. Производство». Форум традиционно проходит на базе публичного акционерного общества «ОДК-Сатурн» и Рыбинского государственного авиационного технического университета. Онлайн-формат мероприятия позволяет принять участие в запланированных программой форума заседаниях и сессиях, специалистам найти и выбрать перспективные предложения и проекты, обменяться опытом и заложить основы партнерским взаимоотношениям.

Прошедший год со своими ограничениями и вызовами стал для Объединенной двигателестроительной корпорации особенным. В 2020 году были приняты стратегические решения, благодаря которым корпорация в 2021 году практически удвоила объемы инвестиций в реализацию научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на создание новых продуктов в рамках которых формируется современное производство, появляются новые технологии и квалифицированные кадры, изменяется качество всех процессов в организации.

С даты образования ОДК прошло больше 12 лет. За это время большинство изменений в корпорации свя-

заны с реализацией продуктовых программ, таких как ВК-2500, ТВ7-117, SaM146, М55, НК-32 серия 02 и ПД-14. Благодаря им сегодня в ОДК создано единое информационное пространство, внедрена единая система финансирования, заложены основы программно-проектного управления и кадровой политики, сформирована целевая специализация конструкторских и производственных подразделений корпорации, утверждена и реализуется политика управления знаниями. Это позволяет ОДК эффективно решать поставленные задачи, брать на себя ответственность и в ограниченные сроки создавать новые изделия.

Одновременно с существенным прогрессом сохранились и барьеры, которые требуют изменений в масштабах всей корпорации, а не отдельных продуктовых программ. Тема форума – «Бизнес-модель-2030». На сессиях и пленарном заседании мы обсудим какой должна стать Объединенная двигателестроительная корпорация на рубеже 2030 года, как изменится окружающий мир, какие вызовы нас ждут и с какими проблемами столкнемся.

Желаю всем участникам форума плодотворной работы, интересных дискуссий, новых знаний, удачи и благополучия.



ВИКТОР ПОЛЯКОВ

**Заместитель генерального
директора – управляющий
директор ПАО «ОДК-Сатурн»,
председатель ЯРО ООО «Союз
машиностроителей России»**

Уважаемые коллеги! Дорогие друзья!

Рад приветствовать вас на нашей коммуникационной площадке, организованной в седьмой раз для всех, кто стремится создавать новые ценности: внедрять смелые идеи, заключать эффективные партнерства, реализовывать перспективные проекты, вести инновационные разработки.

Форум организован в онлайн-формате. Концентрация представителей бизнеса, институтов развития и образовательных и научных учреждений, государственных и правительственных структур, предпринимательства как и прежде дает возможность получить срез развития научно-технической мысли в Российской Федерации и мировом сообществе, сверить свои позиции и выстроить долгосрочные планы. Уверен, мы эффективно обменяемся мнениями и придем к единому пониманию наших бизнес-целей и бизнес-задач технологического развития. Получим ответы на многие вопросы по заявленной на форуме теме «Бизнес-модель высокотехнологичной производственной корпорации в 2030 году».

Форум является составляющей инновационной политики АО «ОДК» и ПАО «ОДК-Сатурн». Проблематика мероприятия охватывает реализацию национальных проектов и поиск путей расширения рынков сбыта, практики использования передовых производственных технологий и цифровую трансформацию промышленных предприятий, определение «уровня готовности к цифровизации» и новые инструменты работы с внешними инновациями, вопросы взаимодействия с научно-образовательными организациями и целевые программы кадрового роста. Все это важно и нужно для воплощения того лучшего, что умеют создавать предприятия Объединенной двигателестроительной корпорации и их партнеры, для непрерывного и динамичного развития высокотехнологичной отрасли.

Желаю участникам VII Международного технологического форума «Инновации. Технологии. Производство» плодотворной работы, новых открытий и ярких решений!

ЛУЧШИЕ ПРАКТИКИ

Умей отбирать в работе те мелочи, за которыми скрываются крупные вопросы

Н.Д. Кузнецов



В 2020 году государственной корпорацией «Ростех» утвержден текущий и перспективный модельный ряд авиационных двигателей АО «ОДК». На основании принятых решений разработан перспективный тематический план, который определяет направления деятельности корпорации до 2030 года и сформированы предложения в государственную программу развития оборонно-промышленного комплекса, государственную программу вооружения и государственную программу развития авиационной промышленности.



ЮРИЙ ШМОТИН,
заместитель генерального директора –
генеральный конструктор АО «ОДК», д-р техн. наук

Приоритетными программами являются: по направлению «Двигатели для гражданской и транспортной авиации» ПД-8, ПД-14, ПД-35, ТВ7-117СТ/СТ-01; по направлению «Двигатели для вертолетной техники» ТВ7-117В, ВК-2500, ГТД-650В, ГТД-1600В.

В сегодняшней ситуации, которая характеризуется необходимостью решения задачи импортозамещения, а также все возрастающей конкуренцией на внешнем рынке, основным вызовом для ОДК становится способность выполнить требования заказчика по созданию новых изделий в сроки, не превышающие 5 лет.

По сравнению с началом 2000-х годов это требование изменилось в два раза. Одновременно возрас-

тают ожидания заказчика по основным техническим характеристикам изделий, таким как удельный расход топлива, удельная масса, стоимость жизненного цикла, при безусловном соблюдении экологических норм.

Разработка конкурентного изделия в сжатые сроки требует рационально использовать предыдущий опыт организации, а также использовать новые проверенные технологии, что невозможно без опережающей разработки или приобретения. Создание такого сложного изделия как авиационный двигатель складывается из наличия современной испытательной базы, эффективных логистических схем управления цепочками поставок, развитой системы поддержки заказ-

чика, цифровизации всех процессов жизненного цикла изделия.

В этой статье остановлюсь на лучших практиках, которые созданы в корпорации и требуют дальнейшего развития.

Использование опережающего научно-технического задела и технологий с уровнем готовности TRL6 (проверено на демонстраторе)

Из практики выполненных опытно-конструкторских работ следует, что основным риском, влияющим на соблюдение сроков создания нового изделия, является использование при разработке ранее не проверенных на демонстрационных

образцах конструкторских решений и технологий изготовления. К критическим рискам нужно также отнести выбор разработчиком новых конструкционных материалов, не прошедших достаточный объем исследований, а также использование ранее не проверенных экспериментально методов проектирования и программного обеспечения. Ни одна опытно-конструкторская работа не должна начинаться без созданного опережающего научно-технического задела. Соблюдение этого правила является обязательным, если вы планируете соблюдать взятые на себя обязательства по срокам, бюджету и качеству ОКР. Для создания опережающего науч-

ся в интересах всей корпорации, а результаты становятся доступными для всех новых изделий, независимо на базе какого головного разработчика выполняется ОКР.

Принцип развития новых технологий следующий: от совместной рабочей группы к исследовательской лаборатории и созданию «организации номер один» по данному направлению. В качестве примера можно привести направление «Аддитивные технологии»: в 2014 году сформирована первая рабочая группа, а уже в 2018 году в Авиационном комплексе ГК «Ростех» было принято решение о старте проекта «Аддитивные технологии» и в 2019 году создано специализированное



но-технического задела в ОДК были инициированы и успешно выполняются проекты по направлениям «аддитивные технологии», «полимерные композиционные материалы», инициирован проект «создание технологий для гибридной силовой установки». В рамках программы ПД-35 также выполняется комплекс прикладных НИР в обеспечение разработки двигателя большой мощности в классе тяги 24...50 тонн. Работы по выполнению научно-исследовательских работ включены в тематический план ОДК и обеспечены финансированием. Сегодня в ОДК мы следуем принципу, что все НИР реализуют-

предприятие АО «Центр аддитивных технологий». Центр оснащен оборудованием, укомплектован специалистами. Учитывая опыт внедрения аддитивных технологий в ОДК, планируется и ведется работа по следующим направлениям: датчики и интеллектуальные системы, комбинированные силовые установки, электрохимические источники энергии, цифровые двойники и высокопроизводительные вычисления, композиционные материалы, гибридные силовые установки.

Организация опережающего

финансирования при принятии решения об инициации проекта

Сроки реализации инвестиционных проектов, к которым относятся НИР и ОКР, влияют на сроки их окупаемости. В ряде случаев несоблюдение заданных сроков может привести к необходимости остановить разработку нового изделия, как неперспективного. Заключение контрактов с заказчиком или одобрение инвестиционного паспорта проекта может занимать длительное время (год и более). Поэтому актуальным является обеспечение опережающего финансирования опытно-конструкторских работ. Как пример можно привести принятые в ОДК решения по инициации программы создания семейства промышленных двигателей на базе газогенератора ПД-14, а также разработке двигателя АЛ-41СТ. Опережающее финансирование дает возможность своевременно и качественно выполнять этапы эскизного и технического проектов, как определяющих качество ОКР.

Внедрение программно-проектного управления на всех уровнях разработки – от дирекции до кроссфункциональных рабочих групп

Опытно-конструкторская работа как комплекс мероприятий, направленных на разработку конструкторской и технологической документации, изготовление по ним опытного образца, проведение испытаний опытного образца с последующей корректировкой документации и принятием решения о возможности серийного изготовления продукции является проектной деятельностью. Проектная деятельность направлена на достижение конкретной цели точно в срок, с требуемым качеством и в рамках установленного бюджета. Для достижения целей сегодня на уровне дирекций продуктовых программ разрабатываются комплексные планы работ, осуществ-

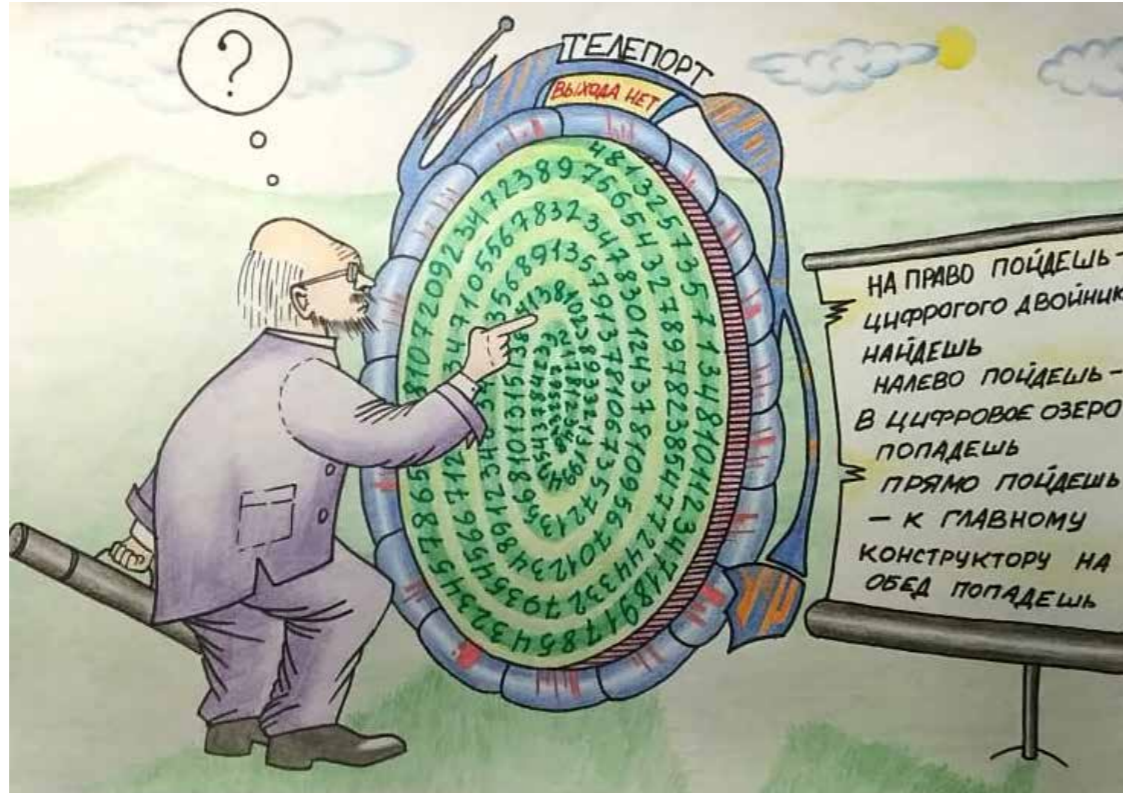
вляется бюджетирование деятельности, ведется работа с рисками. Однако на уровне конструкторских бюро, технологических служб и производственных подразделений предприятий работа выполняется традиционно, как операционная деятельность, цели подразделений не совпадают с планами, установленными в проектах, рабочие группы, управление (пилотирование) выполнением составных частей ОКР, как правило, отсутствует. «Пилотирование» (руководство) созданием изделия, разработкой модулей изделия было реализовано в программе SaM146, показало свою эффективность и должно быть распространено на все продуктовые программы в ОДК. Три уровня управления – уровень дирекции, уровень главного конструктора, уровень ведущих по модулю или системам двигателя – позволяет эффективно управлять проектом через бюджет и сроки, а также через обеспечение соответствия изделия требованиям технического задания.

Вовлечение центров сертификации и Заказчика на ранних стадиях разработки

Верификация результатов эскизного и технического проектов требует заключений институтов заказчика и отраслевых институтов, специалисты которых в РФ представляют центры сертификации. Верификация результатов дает возможность получить формализованное экспертное мнение заказчика. Дополнительно снизить риски проектирования и не потерять время при разработке можно за счет проведения совместных семинаров, рабочих встреч с авиакомпаниями, специалистами отраслевых институтов, представителями разработчиков летательных аппаратов,

сертификационными центрами. Хорошей практикой также является механизм совместных «плато», в рамках которых исполнитель работ и заказчик решают вопросы, возникающие в процессе разработки.

Сегодня такие «плато» могут быть созданы в рамках единых цифровых платформ. Вовлечение заказчиков необходимо начинать на самых ранних этапах, еще до начала опытно конструкторской работы –



в рамках аванпроекта или разработки технического предложения.

Изготовление первого опытного образца в серийном производстве

Изготовление первого опытного образца по технологиям, приближенным к серийным, на производственных участках, которые будут изготавливать серийные изделия позволяет более чем в два раза сократить затраты на технологическую подготовку производства в рамках ОКР, а также исключить потерю времени при постановке изделия на серийное производство. Кроме того, сертификационные испытания долж-

ны быть проведены с использованием натуральных образцов, изготовленных по процедурам, используемым в серийном производстве.

Это позволяет обосновать безопасность эксплуатации, является поэтому требованием органов сертификации. Лучшей практикой такой работы является программа ПД-14.

Внедрение процедуры управления цепочками

поставок на этапе ОКР (опережающая работа с поставщиками, в том числе серийными)

Замена поставщиков материалов, заготовок или комплектующих в ходе выполнения ОКР и на начальном этапе серийного производства может привести к существенной потере времени или даже остановить разработку изделия. Поэтому особое внимание должно быть уделено выбору поставщиков, их аттестации, а также возможности иметь второго или даже третьего поставщика. Зачастую такие решения противоречат принципу исключения дублирования затрат, но являются необходимыми для сни-

жения рисков, а также исключения необоснованного завышения цены единственным поставщиком.

Управление знаниями

В 2020 году в ОДК впервые принята и утверждена советом директоров Политика в области управления знаниями. Основные направления по управлению знаниями: рост скорости обмена знаниями между командами проектов; увеличение доли явных и сохраненных знаний; увеличение результативности использования знаний при реализации проектов; минимизация текучести экспертных кадров, защита и удержание знаний; обеспечение доступности знаний; привлечение новых знаний. Сегодня в ОДК начинает формироваться корпоративная культура в области управления знаниями, проект управления знаниями вырос в портфель проектов. Быстрый доступ к формализованной информации и мнению экспертов уже стал реальностью, появились очень важные проекты, например, «использование опыта и знаний сформированных в рамках проектов ПД-14 и SaM146 для разработки изделия ПД-8». Такие проекты позволяют качественно влиять на сокращение сроков разработки перспективных газотурбинных двигателей. По направлению «управление знаниями» мы должны стремиться к тому, чтобы максимально использовать предыдущий опыт при решении любой задачи, работать над тем, чтобы сокращалось время адаптации специалистов при привлечении их в новый проект, неявные знания становились явными и сохранялись так, чтобы быть доступными для всех проектных команд.

Техническая экспертиза на всех этапах разработки

Неправильно принятые решения, особенно на ранних этапах ОКР, увеличивают сроки разработки. Чтобы снизить вероятность

ошибки, важным инструментом снижения рисков является процедура технической экспертизы результатов выполненных работ. Важно, чтобы экспертизу выполняли специалисты, не участвующие в работах над проектом. Эксперт – это специалист, обладающий практическим опытом успешного решения подобных задач, тот кто пользуется уважением в коллективе и обладает требуемыми компетенциями. Еще одна важная составляющая экспертизы заключается в том, что эксперт может быть в исключительных случаях привлечен к реализации рекомендаций, которые он сформулировал по результатам технической экспертизы. Этим эксперт отличается от аудитора. Проведение технической экспертизы сокращает возможные ошибки на раннем этапе и позволяет избежать экспериментальной доводки изделия, которая всегда ведет к срыву сроков выполнения работ. Практика технических экспертиз может быть распространена на экспертизу систематически повторяющихся дефектов, а также результатов научно-исследовательских работ. Начиная с 2021 года в ОДК реализован системный подход к проведению технических экспертиз, но впереди еще большой объем работ, который должен позволить иметь возможность привлекать экспертов одного предприятия к проектам, которые выполняются командой другого предприятия.

Выделить лучших специалистов для реализации ключевых проектов

Каждый руководитель проекта стремится к тому, чтобы в его команде работали лучшие специалисты. Это правильно и к этому стремятся все лидеры.

Механизм закрепления лучших может быть реализован через процедуру мотивации, когда устанавливается персональная надбавка за сложность или срочность выполнения работ. Второй механизм – вы-

бор на конкретную работу наиболее подготовленных для данной работы специалистов, которые после выполнения работы переходят в группу другого проекта, а на их место в команду приходят специалисты, способные решать следующую задачу. Такая ротация позволяет извлекать максимальную выгоду от компетенций специалистов организации.

Мотивация и ответственность. KPI руководителей служб, участвующих в разработке, должен зависеть от результатов проекта

Точно сформулированная задача и связанная с ней мотивация часто бывает определяющей. При переходе к принципам программно-проектного управления KPI должны формироваться в обеспечение достижения целей проекта. KPI, обеспечивающие экономические показатели юридического лица, как правило, противоречат проектным KPI.

Риск конфликта можно снизить, если следовать правилу: руководитель предприятия или административного подразделения не должен совмещать роли начальника подразделения и руководителя проекта. KPI в проектной деятельности должны распространяться не только на руководителя, но и на всю команду проекта. Сегодня в ОДК только начинает формироваться культура таких принципов мотивации и ответственности. Например, в рамках проекта ПД-8 сформировано и действует положение по установлению KPI для всей команды.

Использование вышеперечисленных практик позволит в сжатые сроки и с требуемым качеством выполнить разработку, снизить возможные риски, сформировать эффективную команду, сохранить знания и опыт проектирования, и это то, к чему мы должны стремиться в ближайшее время.

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ОДК



Необходимость в проведении цифровой трансформации производства в настоящее время в принципе очевидна в машиностроительной отрасли в мире по целому ряду причин.

ВАЛЕРИЙ ТЕПЛОВ,
директор по производству
АО «ОДК»

В первую очередь, в ближайшем будущем в России ожидается дефицит трудоспособных кадров – по данным демографического прогноза Росстата, численность населения трудоспособного возраста к 2035 году сократится на 6,5 млн человек. Кроме того, согласно некоторым исследованиям, цифровые технологии позволяют повысить производительность оборудования и персонала в среднем на 10 %, выпуск готовой продукции – до 15 %, а также являются жизненно необходимыми для сохранения конкурентоспособности высокотехнологичных механообрабатывающих и сборочных производств, как естественное продолжение и составляющая часть любых мероприятий по повышению внутренней и внешней эффективности. Мы рассматриваем цифровую трансформацию производства как переосмысление бизнес-модели ОДК на основе применения цифро-

вых технологий во всех процессах: от планирования и подготовки разработки, производства продукции до ее отправки заказчику.

Для того, чтобы не отставать от лидеров нашей отрасли, мы проводим полномасштабную работу по цифровой трансформации произ-

водства в корпорации. Чтобы данная работа приняла системный характер, в феврале 2020 года был утвержден комплексный план по цифровизации производства АО «ОДК» на период до 2021 года, согласованный с профильными подразделениями, а также руководителями предприятий ОДК.

Комплексный план по цифровизации производства АО «ОДК»



Комплексный план по цифровизации производства
АО «Объединенная двигателестроительная корпорация» на период до 2021 года
Сроки реализации: 01.09.2019 – 31.12.2021 (1 этап)

Мероприятия плана разработаны с учетом текущего уровня цифровизации производства на предприятиях ОДК, а также с учетом приоритетности стоящих перед корпорацией задач, в первую очередь связанных с реализацией программы «Трансформация индустриальной модели АО «ОДК» (Программа «ТРИМ»), направленной на преобразование предприятий полного цикла в Центры специализации (ЦС). В рамках подготовки к разработке плана мы понимали, что невозможно проводить цифровую трансформацию производства без наличия информационных систем, автоматизирующих основные бизнес-процессы. Так, например, не имея систем классов ERP, CAD, CAM организации нет смысла ставить задачу комплексного внедре-

ния MES-систем. Именно поэтому на первом этапе была запланирована ревизия текущего состояния реализуемых пилотных проектов и различных автоматизированных систем на предприятиях корпорации, а по ее итогам приняты решения по дальнейшим шагам.

В рамках комплексного плана были выделены 7 основных направлений работы по цифровизации производства, в том числе:

1. Ревизия текущего состояния реализуемых пилотных проектов и различных автоматизированных систем на предприятиях корпорации.
2. Комплексная оценка производств с целью подготовки к реализации плана по цифровизации.

3. Объединение производственного оборудования в единую промышленную сеть.

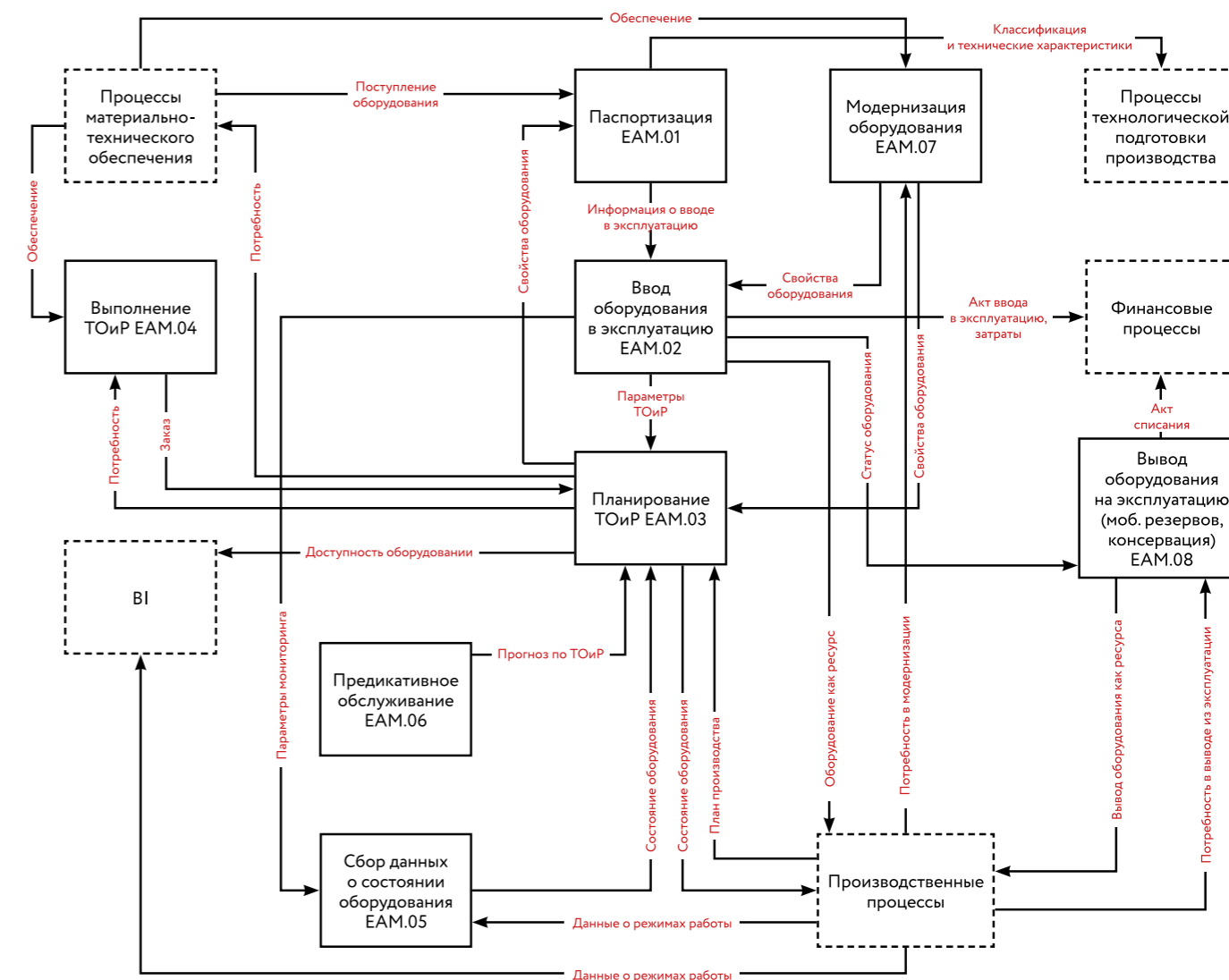
4. Внедрение приложений на базе искусственного интеллекта и машинного обучения с целью оптимизации графика технического обслуживания и ремонта оборудования.

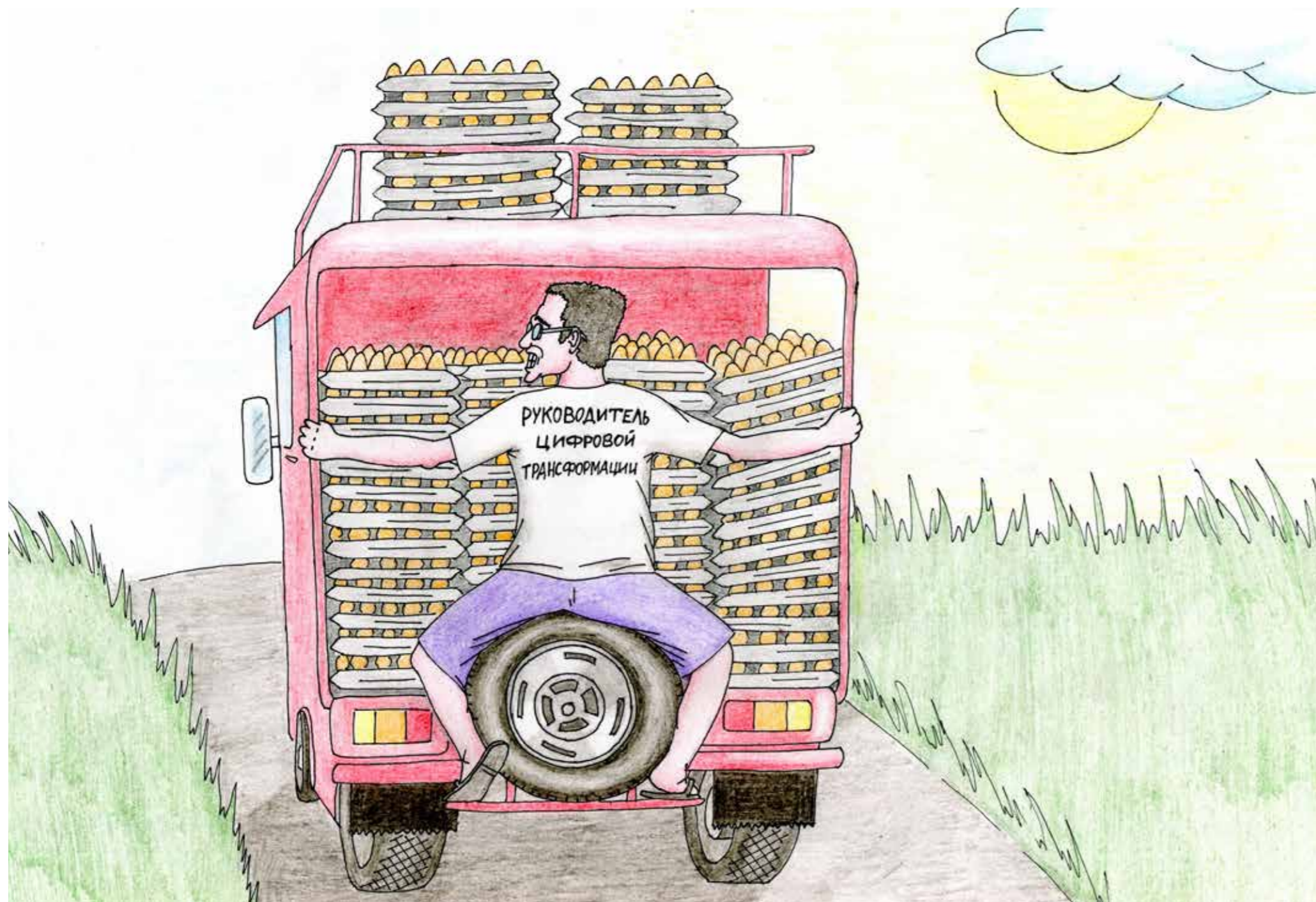
5. Определение потребности и развитие внедряемых MES-систем для поддержания эффективности процессов оперативно-календарного планирования и диспетчеризации производства.

6. Консолидация собираемых данных и внедрение комплексной BI-системы.

7. Разработка цифровых двойников производственных мощностей.

Бизнес-процессы управления оборудованием





Отдельно хотелось бы остановиться на некоторых из стоящих перед нами задачах.

Одной из таких задач является повышение эффективности использования технологического оборудования для выполнения производственной программы. Для того, чтобы повысить доступность времени обработки ДСЕ на технологическом оборудовании, мы разворачиваем общекорпоративную информационную систему, предназначенную для управления жизненным циклом оборудования от

его поступления на предприятие до утилизации. В настоящее время мы утвердили техническое задание, сформировали бюджет и в первом полугодии этого года планируем начать реализацию проекта, чтобы через год ввести информационную систему в эксплуатацию. Одним из ключевых факторов успеха таких проектов является глубокий анализ существующих бизнес-процессов и разработка детальных регламентов этих бизнес-процессов в целом состоянии.

В рамках проекта мы обеспечим прозрачное формирование потреб-

ности в трудовых, материальных и финансовых ресурсах для управления оборудованием ОДК, сформируем информацию о доступности оборудования для выполнения плана производства, а также его состоянии в режиме реального времени, свяжем всех участников процесса управления парком оборудования между собой в единой среде, оптимизируем процессы выполнения технического обслуживания и ремонта, а, впоследствии, по мере накопления данных, переведем часть оборудования на предиктивное обслуживание, используя, в том чис-

ле, и технологии искусственного интеллекта. Дополнительный эффект даст интеграция данной системы с уже действующими на предприятиях системами мониторинга работы оборудования, эффективность которых по итогам проекта значительно возрастет. После завершения проекта мы планируем распространить этот опыт на управление другими активами, такими как здания, сооружения, инженерные сети и т.д.

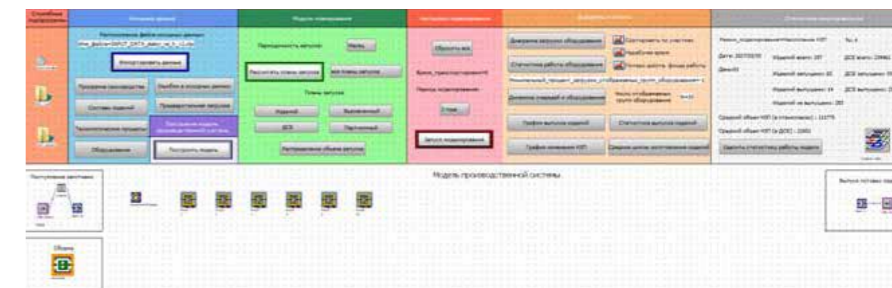
Большого эффекта мы также ожидаем от широкого внедрения цифрового имитационного моделирования производственных систем.

При создании центров специализации необходимо четко понимать, сможет ли каждый из них обеспечить выпуск продукции в соответствии с заданным планом продаж, а также какой набор оборудования и в каком количестве потребуется для этого. Ответив на данные вопросы, можно понять, какой объем инвестиций потребуется для создания центра специализации, каким будет срок окупаемости этого проекта и, наконец, стоит ли вообще реализовывать проект. Целью проекта поставлено обеспечение возможности расчета и дальнейшего управления производственной мощностью крупных центров специализации, создаваемых в рамках Программы «ТРИМ». Кроме того, имитационное моделирование, в отличие от аналитических расчетов, позволяет получить такие показатели работы производственного подразделения, как циклы выпускаемой продукции, уровень и динамику изменения незавершенного производства, размеры очередей деталей перед оборудованием и многие другие. На выходе хотелось получить решение, в котором нужно было лишь изменить количество изделий в программе выпуска и задать необходимые настройки, а все остальное модель должна выполнить сама.

разработка требований к имитационной модели. Нужно было определить периметр автоматизируемых процессов, основные правила и допущения. В число процессов, которые мы определили для автоматизации в создаваемой имитационной модели, вошли объемное и календарное планирование, диспетчеризация, обработка и сборка ДСЕ. Кроме того, на первоначальном этапе в модель не были включены такие ресурсы, как наличие и достаточность времени труда производственных рабочих. Разработанные требования были представлены и согласованы внутри дирекции по производству. На основании технических требований были разработаны архитектура модели, алгоритмы функционирования основных подсистем, сформирована модель данных. С учетом того, что в имитационную модель должны загружаться данные из имеющихся информационных систем, она формировалась таким образом, чтобы максимально избежать необходимости ручного ввода этих данных.

Наиболее трудоемким этапом, конечно, стала реализация и тестирование модели на различных данных. Ведь чем больше требований закладывается в модель, тем сложнее добиться адекватности получаемых результатов. Но лучшим под-

Универсальная имитационная модель АО «ОДК»



Данный проект предусматривал несколько основных этапов реализации. Во-первых, мы приняли принципиальное решение о том, что модель должна быть одна, а логика ее поведения должна со временем развиваться «в ширину», охватывая новые сущности и процессы. Следующий, и он же самый важный этап, —

тверждением адекватности модели является заключение руководителя моделируемого производственного подразделения, поэтому, до широкого внедрения был реализован соответствующий пилотный проект. Конечно, наиболее сложным было реализовать логику поведения модели для разных видов производств.

В АО «ОДК» существуют производственные подразделения как с дискретным, так и с рецептурным, сборочным и непрерывным видом производств. Например, правила управления механическим и термическим цехами существенно отличаются, ведь зачастую в термическом нужно принимать решение, в какой момент целесообразно загружать так называемую осадку ДСЕ в печь для проведения термообработки на длительный период, даже если она не полностью укомплектована. При сборке разных узлов, имеющих в составе одинаковые детали, необходимо определять, какой из них нужно укомплектовать этими деталями раньше для достижения лучшего результата. Необходимо так реализовать это в модели, чтобы данные решения принимались программой автоматически и были с точки зрения человека логичными. Ввиду сложности данных проблем в их решении, нам, инженерам-технологам, производственникам, плановикам

понадобилась помощь прикладных программистов.

Самые важные получаемые результаты для нас – получение прозрачности производственных подразделений и возможность легко получить результат при изменении начальных условий. Но есть и более практические результаты – на пилотном проекте проводилось моделирование участка изготовления валов газотурбинных двигателей в АО «ОДК-Пермские Моторы», определенного в качестве центра специализации по изготовлению данных деталей. Это довольно специфическое производство с очень большим машинным временем обработки отдельных операций, малым количеством изготавливаемых деталей и узкоспециализированным оборудованием. Мы экспериментировали с различными вариантами организации производства (поточное с жестким тактом, непоточное, комбинированное), различными ритмичностями запуска деталей в про-

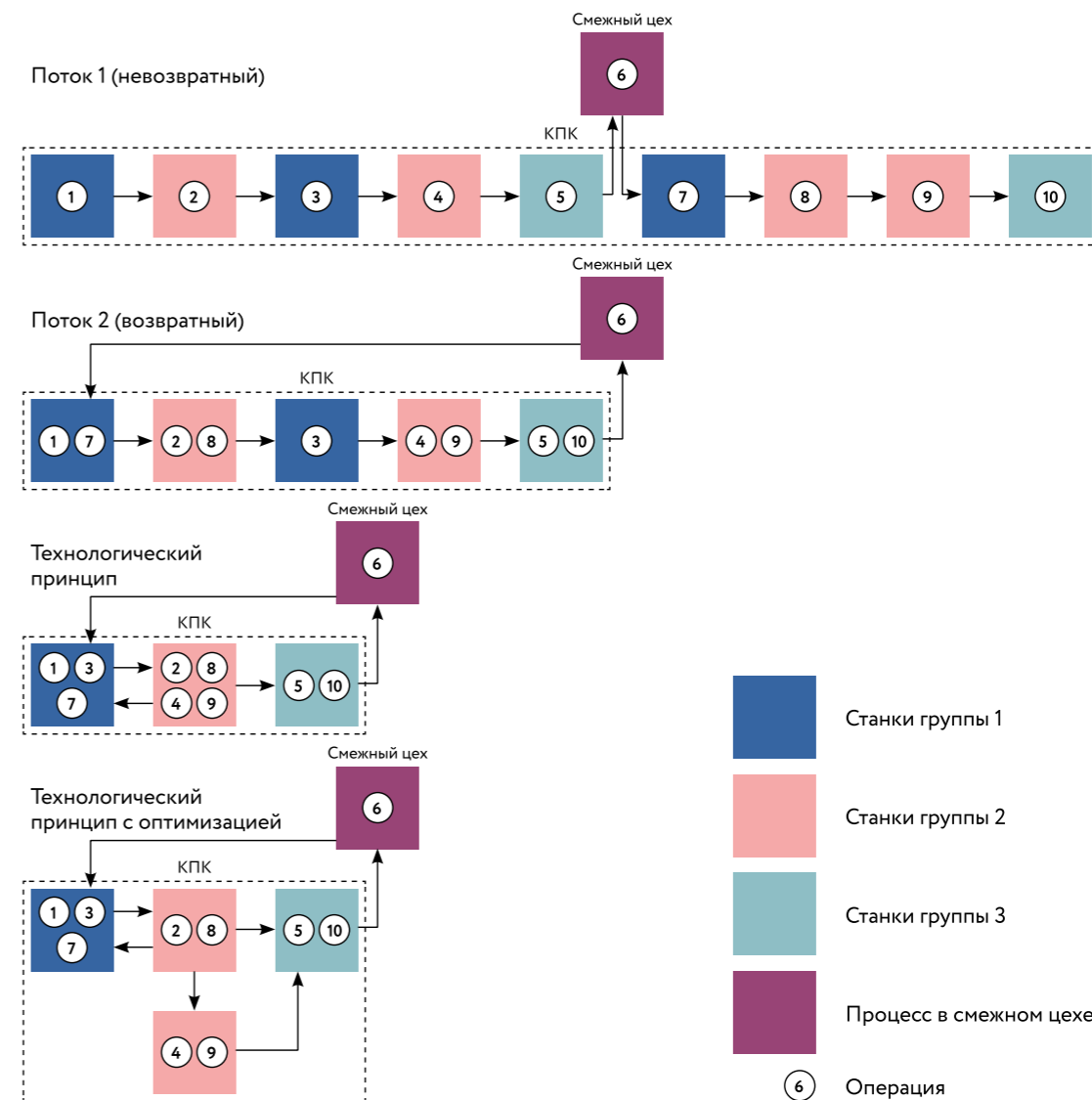
изводство, а также с применяемым оборудованием. Всего на последнем этапе рассматривалось 4 сценария.

Основными показателями для нас являлись загрузка оборудования, объем незавершенного производства и циклы изготовления валов. В итоге, наиболее эффективным был признан комбинированный способ организации производства, обеспечивший на 8 % меньшую длительность производственного цикла, наименьшие размеры очередей деталей на обработку, а также, что важно, с минимальным объемом инвестиций.

Кроме того, в проекте рассматривались различные варианты кооперации между предприятиями при изготовлении валов, и был поставлен вопрос о целесообразности передачи одного из изделий специфической конструкции и технологии изготовления в создаваемый центр специализации валов. Для принятия решения проведено моделирование производства и расчет окупаемости



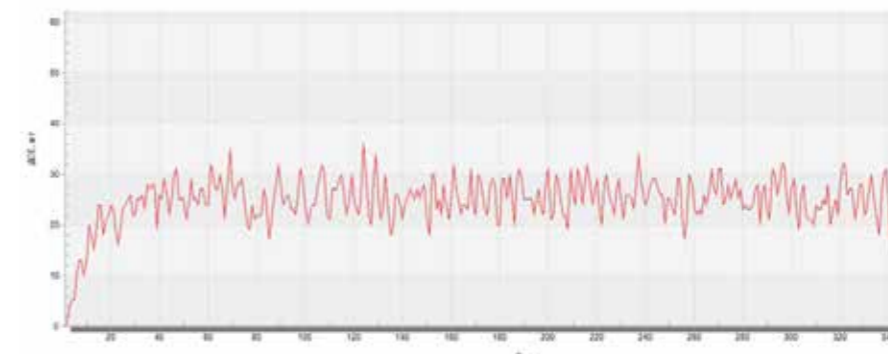
Схематичные варианты организации групп оборудования



проекта, по итогам которой передача валов была признана нецелесообразной. Конечно, в последующих проектах размеры моделируемых производственных подразделений, номенклатура продукции, количество вариантов организации производства и технологических процессов существенно возросли, но основные принципы имитационного моделирования в целом остались неизменными.

Уверен, что реализация мероприятий комплексного плана цифровизации производства позволит неразрывно связать в единой цифровой среде как процессы разработки изделий, так и все последующие этапы жизненного цикла производства газотурбинных двигателей, начиная как от процессов технологи-

Изменение объема незавершенного производства



ческой подготовки производства, так заканчивая заготовительным, механосборочным производством, окончательной сборкой и проведения испытаний изделий, что при переходе от текущего облика предприятия к целевому состоянию производственной модели АО «ОДК» по-

зволит обеспечить достижение опережающего темпа роста производительности труда, а также способствовать скорейшему выводу на рынок новых видов продукции.

МЫСЛИ О «НОВОМ» ИНЖЕНЕРЕ

Мысли о компетенциях инженера «будущего» возникли под влиянием глобальной цифровой трансформации: развитием цифровых технологий и их повсеместным внедрением во все отрасли жизни, в том числе, и авиационную промышленность



РОМАН ХРАМИН,
генеральный конструктор
ПАО «ОДК-Сатурн»,
канд. техн. наук

Мысли о компетенциях инженера «будущего» возникли под влиянием глобальной цифровой трансформации: развитием цифровых технологий и их повсеместным внедрением во все отрасли жизни, в том числе, и авиационную промышленность. С каждым днем современный мир становится все более цифровым, что формирует новые требования к навыкам персонала и в частности, инженера. Например, развивается аддитивное производство, происходит переход от бумажных чертежей к чертежам в электронном виде, от вытачивания деталей на станке – к печати на 3D-принтере по специа-

лизированной программе в заданных параметрах.

Значимость отдельных компетенций инженера с течением времени меняется, поэтому определить перечень навыков, которые будут востребованы через 15-20 лет достаточно сложно. Ключевой момент заключается в том, каким набором инструментов мы обладаем. Раньше в распоряжении инженера был кульман, бумажный чертеж и логарифмическая линейка, при этом, условно, он обладал знаниями прикладной математики и физики.

В условиях нынешних реалий, современному инженеру наряду с глу-

бокими знаниями в своей предметной области необходимы знания и опыт в смежных областях: владение передовыми цифровыми технологиями, способность к выполнению, а, зачастую, и к организации коммуникаций и совместной работе в цифровой среде, умение осуществлять поиск данных в информационной среде, выполнять их анализ, оценку, умение перевести полученные знания в практическую плоскость. Весь массив данных, с которым сейчас сталкивается инженер при проектировании и выполнении расчетов, заставляет его одновременно быть и конструктором, и расчетчиком, и программистом, и аналитиком, и испытателем.



Таким образом, набор инструментов, которыми обладает современный инженер, гораздо шире и продолжает пополняться: массовое использование ИТ-программ, систем автоматизированного проектирования (САПР), применение цифровых двойников, аддитивных технологий.

Цифровая трансформация в ПАО «ОДК-Сатурн» (входит в Объединенную авиадвигателестроительную корпорацию Ростеха) идет по пути всестороннего внедрения инноваций при проведении исследований, выполнении опытно-конструкторских работ, в производстве и послепродажном обслуживании, ключевую роль в этом играют квалифицированные кадры. Высокие темпы развития техники и технологий приводят к тому,

что знания очень быстро устаревают. Современный специалист должен быть в курсе всех происходящих изменений, касающихся его сферы деятельности, способен к непрерывному обучению, уметь адаптироваться к постоянно изменяющимся условиям, прогнозировать тенденции развития техники и технологии в своем и смежных направлениях.

В нынешних условиях разработка конкурентоспособной продукции не представляется возможной без комплексной автоматизации процессов проектирования и производства изделия. В ПАО «ОДК-Сатурн» данная задача решается с применением современной системы автоматизированного проектирования (САПР).

Основой идеологии работы в САПР является электронная модель

изделия, представляющая собою модель, выполненную в компьютерной среде и воспроизводящую геометрическую форму, размеры, физические параметры и другие свойства реального изделия. Все инструменты автоматизации процессов разработки конструкторской и технологической документации, расчетных задач базируются на электронной модели, которая является единым источником данных.

Перспективным направлением развития процесса проектирования-изготовления является переход на безбумажную технологию выпуска конструкторской документации, в котором описание изделия выполняется путем внесения информации, необходимой для изготовления и контроля, непосредственно в электронную модель.

Обратные задачи, такие как восстановление документации на существующее изделие или сравнение изготовленного изделия с его электронной моделью, часто решаемые в рамках импортозамещения, реализуются с использованием метода реверсивного инжиниринга. Конструктор на основе данных сканирования воссоздает изделие в виде электронной модели, применяя в САПР современные инструменты анализа качества полученного результата, с последующим восстановлением точной геометрии изделия.

Накопление, классификация и повторное использование конструкторских данных является эффективным инструментом сокращения сроков проектирования и повышения качества изделия. Задачи фиксации типовых решений, быстрого доступа и удобного поиска среди накопленной информации решаются с применением классификатора изделий и библиотеки повторного использования данных.

Наличие в САПР программных интерфейсов и модулей автоматизированных проверок позволяют существенно расширять базовый функционал системы с учетом имеющейся на предприятии потребности, автоматизировать систематически

повторяемые конструктором действия и эффективно решать задачи контроля документации на предмет соответствия предъявляемым требованиям.

Использование передовых производственных технологий позволяет сократить затраты на внедрение и изготовление различных видов продукции, оптимизировать их конструкцию, существенно снизить риски по не достижению проектных параметров изделий, а также сократить объемы и стоимость доводки.

«Цифровой двойник» – это новая методология проектирования газотурбинного двигателя на базе сквозного проектирования и управления техническими требованиями в едином информационном пространстве с использованием верифицированных цифровых моделей. Данный подход позволяет выполнять самые сложные трехмерные расчеты и на их основе создавать цифровые двойники продуктов производства, дающие полную информацию обо всем жизненном цикле изделия на протяжении всего жизненного цикла: от первой осевой линии до эксплуатации. Используемые расчетные модели высокого уровня точности включают в себя узлы ГТД целиком, особенности их взаимодействия между собой, сложные мультифизические процессы газодинамики, теплообмена, горения, аэроупругого взаимодействия, учитывают реальную геометрию детали, оцифрованную с помощью огромного количества измерений на КИМ или бесконтактными методами. При этом одновременно с тенденцией к разработке все более сложных моделей высокого уровня растет количество упрощенных, редуцированных расчетных моделей, имеющих в своей основе аппроксимацию данных, методы машинного обучения и самоорганизации на основе большого количества данных (как экспериментальных, так и расчетных). Данные модели позволяют за доли секунды предсказывать поведение детали или узла ГТД в процессе эксплуатации и принимать своевременные и корректные управленческие и технические решения. Естественно, к современному инже-

неру-расчетчику и проектировщику, создающему эти модели, предъявляются новые требования, лежащие на стыке различных дисциплин и областей знаний.

Еще в начале двухтысячных годов основными методами расчета были аналитические подходы прочностного анализа, которые складывались и проверялись инженерами в течение длительного времени, поэтому доводка двигателей занимала значительную часть времени после его создания, так как зачастую данные методики основаны на простейших формулах, которые учитывают не все процессы, а значит не все нагрузки, реализуемые в конструкции двигателей.

Сегодня, с приходом современных программных продуктов, таких как ANSYS, Nastran, Catia у инженера-расчетчика появилась возможность моделирования более широкого спектра нагрузок, учета переходных процессов и нелинейности свойств материалов в зависимости от температуры. Анализ прочностных характеристик изделия перешел на новый этап развития, с помощью данных программных средств выполняются расчеты не только прочности конструкции, но и развитие дефектов, влияние сложных концентраторов, что в свою очередь позволяет перейти на следующую ступень развития в части проведения эксперимента. В рамках цифровой модели детали/двигателя/узла появилась связь экспериментальных данных и расчетной модели в части постановки, погрешности замера, а так же фактической геометрии исследуемого объекта.

Инженеру недалекого будущего помимо глубоких базовых знаний и компетенций по своей области специализации необходимо обладать кросс-дисциплинарными знаниями в смежных областях, уметь анализировать большие объемы расчетных и экспериментальных данных, понимать особенности функционирования сложных систем, обладать навыками системного анализа, уметь ставить и решать задачи оптимизации и т.д. При этом крайне важным остается

связь тех цифровых данных и образов при проектировании ГТД с реальной конструкцией, которая воплощается «в железе». Поэтому максимально эффективным и успешным в инже-



нерной деятельности будущего будет специалист, сочетающий в себе глубокие базовые теоретические знания, современный подход к проектированию с учетом информационных технологий, расчетных методик и моделей с элементами самоорганизации и искусственного интеллекта, а также понимание особенностей реальных конструкции.

Именно на стыке различных дисциплин и наук лежат возможности достижения тех высоких целей, которые

нам диктует современный мир и конкурентная среда.

Рассматривая реалии сегодняшнего дня и проецируя на ближайшие десятилетия, можно говорить о на-

чекски, подготовка студента осуществляется не на прошлой конструкции, а на позапрошлой – между академическим образованием и реалиями работы существует большой разрыв. Для

Так, например, 27 января 2021 года ПАО «ОДК-Сатурн» заключило трехстороннее соглашение с РГАТУ имени П. А. Соловьева и Департаментом образования города Рыбин-

растающих темпах и требованиях к созданию авиадвигателей. Потребности рынка диктуют совершенно другие подходы к организации работы: сроки изготовления ГТД ежегодно сокращаются, возникает потребность во внедрении новых материалов в конструкцию ДСЕ и проведении сложных трехмерных расчетов. Сравнимая время подготовки студента (5 лет) и время создания двигателя (≈ 4 года), наблюдаем отставание на 2 поколения техники, то есть факти-

преодоления этого разрыва целесообразно выстраивать тесное взаимодействие в рамках цепочки «школа - университет - предприятие» в части развития и создания соответствующей среды: новые образовательные программы, увеличение доли практических занятий в процессе обучения, реализация совместных, в том числе научных, проектов. Это бы способствовало формированию и развитию требуемых компетенций, в том числе и цифровых.

ска, которое предусматривает профориентационную работу в рамках проекта «ПроДВИЖЕНИЕ» с целью повышения качества образования в школах г. Рыбинска. При поддержке ПАО «ОДК-Сатурн» запланировано проведение открытых уроков и тематических классных часов со специалистами предприятия, научно-практические конференции, презентации перспективных профессий и специальностей РГАТУ на родительских собраниях.

В настоящее время ПАО «ОДК-Сатурн» и РГАТУ взаимодействуют в части совершенствования учебных программ вуза в интересах предприятия, целевого обучения студентов по соответствующим специальностям.

Ведущие специалисты ПАО «ОДК-Сатурн» участвуют в учебном процессе в университете, привлекаются к итоговой аттестации в качестве руководителей тем и рецензентов, членов государственных аттестационных комиссий и диссертационных советов. В подразделениях предприятия проходят практики и стажировки студентов. Организа-

ции Индустрии 4.0 (цифровой революции), например:

- высоким уровнем инновационного мышления, то есть способностью в информационной среде использовать различные цифровые средства, позволяющие во взаимодействии с другими людьми достигать поставленных целей;

- профессиональной мобильностью, то есть способностью достаточно быстро и эффективно адаптироваться к новым технологическим условиям путем освоения новой техники и технологий, переключаться на другой вид деятельности;

Обобщая, могу сказать, что в моем представлении инженер – это, прежде всего, творец, создатель, широкопрофильный специалист, эффективно применяющий в своей работе обширный спектр инструментов (программные средства, новейшие технологии, автоматизированное оборудование), который со временем становится разнообразнее: искуснее и искусственнее. Человек, который не готов входить в цифровые коммуникации, будет «выпадать» из современной системы организации труда. Поэтому, для обеспечения личной конкурентоспособности и востребован-



ция обучения на конструкторской и производственной площадках ПАО «ОДК-Сатурн» позволяет максимально использовать время практических занятий в интересах предприятия.

Сегодня мы стоим перед решением важного вопроса, связанным с развитием у работников уже сейчас таких универсальных компетенций (soft skills, то есть поведенческих, и hard skills – профессиональных, в том числе цифровых), которые бы были актуальны для так называемой

- высокой мотивацией, саморазвитием и способностью генерировать новые идеи, абстрагируясь от стандартных моделей решения задач.

Из всего многообразия требований к инженерам «будущего» отметим способность оперативно находить, воспринимать, анализировать, запоминать и передавать информацию с использованием цифровых средств, строить логические умозаключения на основании поступающих данных.

ности в своей отрасли необходим постоянный мониторинг изменений профессиональной среды.

Инженер «будущего» должен обладать глубокими знаниями в своей области, комплексным видением задачи, неустанно совершенствовать знания и навыки, не бояться брать ответственность на себя, находить оптимальные технические решения, при этом грамотно использовать ранее накопленный опыт.



АЛЕКСАНДР ФЕРТМАН, директор по науке, технологиям и образованию Фонда Сколково, канд. физ.-мат. наук, доцент НИЯУ МИФИ, член ученого совета Сколтеха

ФУНКЦИИ И ОРГАНИЗАЦИЯ R&D В КОМПАНИЯХ И КОРПОРАЦИЯХ

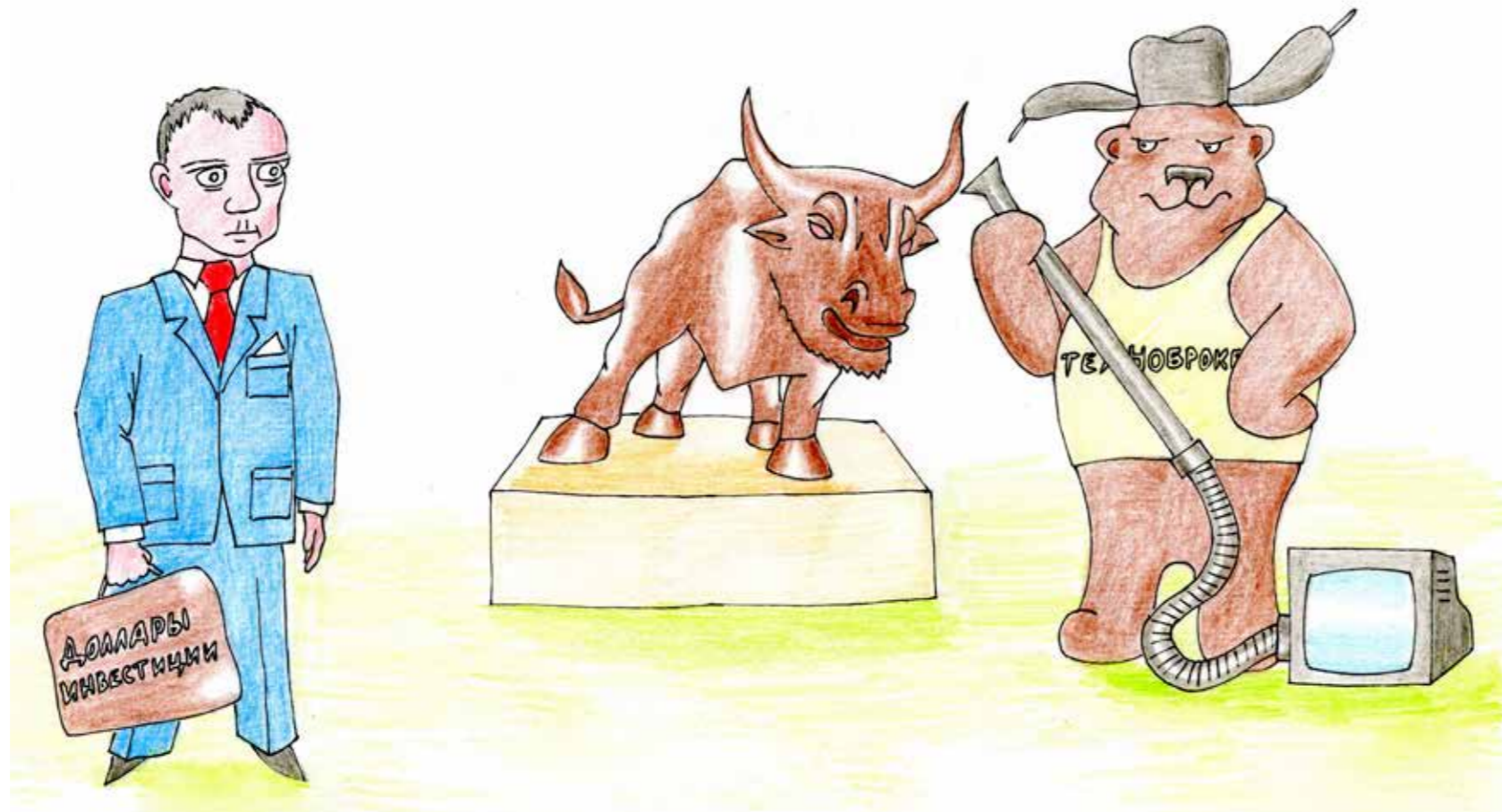
За 10 лет работы в Фонде Сколково я привык находиться «на стыке» интересов стартапов, исследовательских команд и крупного бизнеса. Взаимоотношения в этой тройке нельзя назвать безоблачными, но по большому числу направлений взаимодействие становится все более плотным. В последние годы Российское государство прикладывает

значительные усилия для развития и поддержки технологического предпринимательства (Сколково, Фонд содействия инновациям, ФРИИ и т.д.) и развитию системы трансфера технологий в университетах. И в отдельных сегментах мы наблюдаем быстрый рост продуктов и сервисов от новых компаний, достаточно упомянуть направления образователь-

ных платформ или машинное обучение для распознавания образов. Но в секторе deeptech, где преобладают b2b бизнес-модели, важную роль начинают играть целеполагание и организация не только «источника» (малый бизнес, университеты, исследовательские центры...), но и «преемника» инноваций, то есть крупные компании и корпорации.

Учитывая вышесказанное хочу поделиться размышлениями в отношении крупного бизнеса по двум взаимосвязанным направлениям: о роли и организации R&D в корпорациях и о построении кооперации с университетами, исследовательскими центрами и технологическими стартапами.

К сожалению, не смотря на «принуждение к инновациям» в виде Программ инновационного развития компаний с государственным участием, и даже моды на обсуждение практик «открытых инноваций», в реальной жизни они используются в основном для целей PR. А внешний заказ на востребованные бизнесом или прорывные исследования и разработки, большинство крупных российских компаний «не приветствуют» на нормативном уровне. Корпорации, в том числе и Российские, исторически доказали, что они чрезвычайно успешны в продвижении как сложившегося портфеля технологий, так и подтвердивших свою успешность бизнес-моделей. Однако, сегодняшняя



скорость технологических и соответствующих им бизнес – изменений чрезвычайно высока. А крупные игроки, особенно Российские, забюрократизированы и неспешны, им редко удается самостоятельно найти новые прорывные (disruptive) возможности для роста и расширения. С другой стороны, внешние технологические и предпринимательские команды постоянно нацелены на генерацию решений, не вскрывающих новые объемы на существующих рынках, а формирующих новые. Университетские группы делают в этой гонке ставку на технологические решения, а стартапы на бизнес-гипотезы.

По мере увеличения рыночной конкуренции компаниям все сложнее достигать новых бизнес-целей старыми методами, и они

ищут новые технологические и предпринимательские решения, которые смогут стабильно приносить дополнительные доходы. Думаю, что департамент исследований и разработок (и/или инноваций) может стать основным драйвером нового роста. Однако, для этого может потребоваться перестроить привычную деятельность.

При этом R&D департамент выполняет целый ряд системообразующих «сквозных» функций (как показано в таблице 1 от Nu Angel) и при правильном управлении может обеспечить устойчивый рост и диверсификацию рынков. В современных условиях, к указанным функциям, позволяющим организации снижать риски и неопределенность в отношении новых идей и технологий, необходимо также добавить:

- исследования, связанные с технологиями потенциальных ценностных предложений и бизнес-моделей. Решение этой задачи требует серьезной интеграции между командами R&D и маркетинга;

ОБЩАЯ ЦЕЛЬ R&D	ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ
Предвосхищение рынка	Исследования <ul style="list-style-type: none"> • Снижение неопределенности • Изучение будущего, опережая потребности бизнеса (предвидение) • Создание компетенций для будущего • Доказательство принципиальных новых технологий извне
«Сервис» для рынка	Разработки <ul style="list-style-type: none"> • Эффективное создание новых продуктов • Улучшение процессов для повышения производительности • Текущие модификации продукта
Формирование рынка	Инновации <ul style="list-style-type: none"> • Запуск умных идей • Поиск технологий «подрывающих» целевые рынки • Создание новых рынков • Решение проблем новыми способами
Обеспечение рынка	Авторское Сопровождение <ul style="list-style-type: none"> • Снижение затрат на продукцию • Решение проблем технологического процесса или производств. цепочки • Регулярные модификации продукта

Таблица 1: Общие цели исследований и разработок (НИОКР = R&D) и четыре основных направления деятельности



■ оперативный поиск внутреннего клиента и организация с ним продуктивной кооперации, для стартапов и исследовательских команд, решения которых могут принести компании усиление позиций на текущих рынках или выход на новые. Для этого требуется интеграция со стратегическими и производственными направлениями в компании, то есть усиление горизонтальной кооперации, нацеленное на оперативное встраивание новых технологических решений и соответствующих им бизнес-моделей в текущие процессы компании. Важно, что в процессе такой работы, R&D/ инновационный департамент может выступить заказчиком на «повышение квалификации» традиционных проектировщиков, конструкторов и производителей.

Качественно реализовать все указанные функции силами департамента – почти невыполнимая задача. Поэтому, представляется разумным, что R&D команда для выполнения каждой функции (таблица 1 и далее) проектирует новую систему разделения труда или модернизирует существующую (см. работы П. Г. Щедровицкого по управлению исследованиями <https://shchedrovitskiy.com/>).

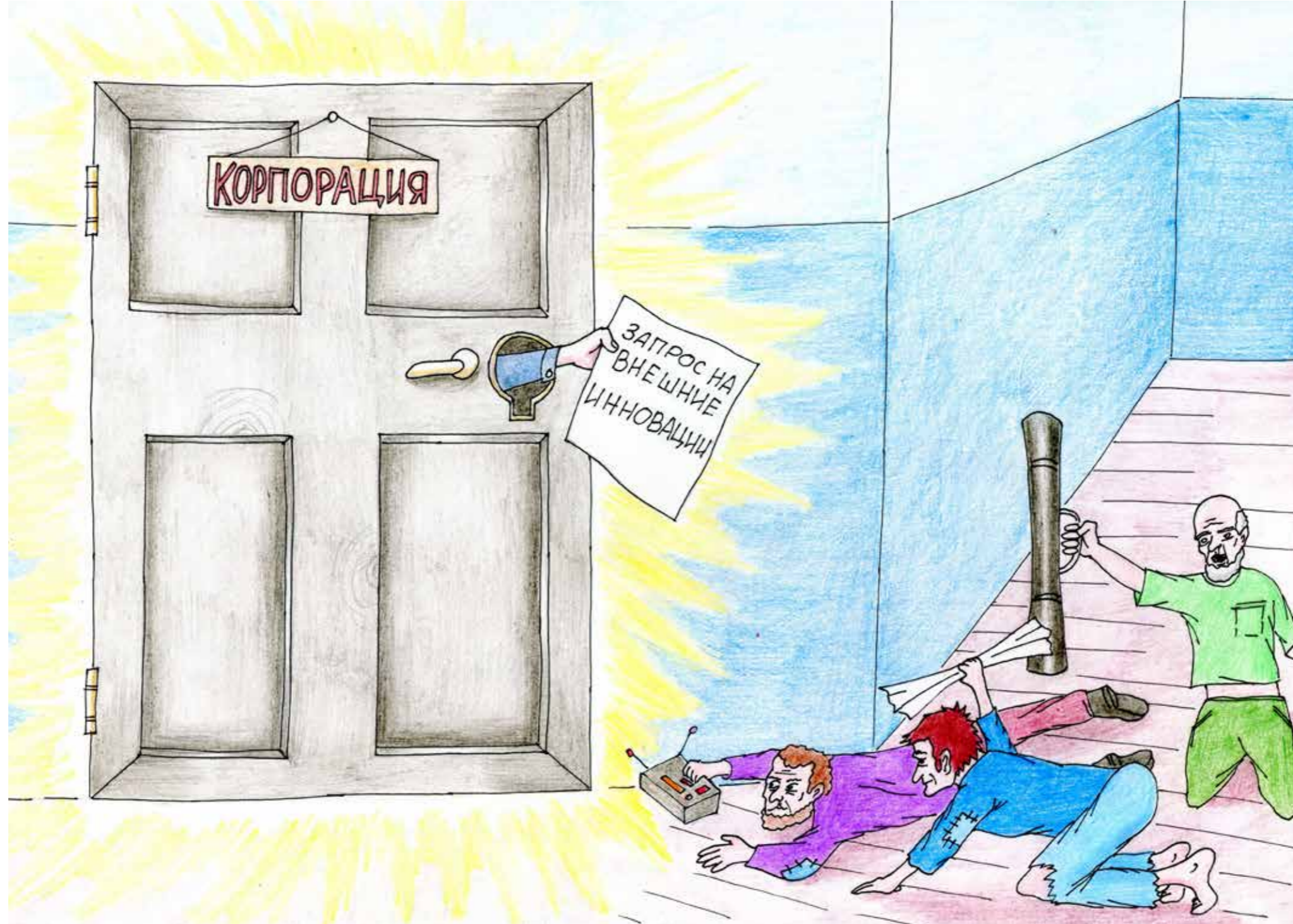
Задачу формирования R&D/ инновационного направления деятельности в компании можно условно разбить на 7 элементов: стратегия, процессы, ресурсы, информационная система, организация, культура и метрики (желательно, по аналогии с финансовым рынком, использовать комбинацию опережающих и запаздывающих индикаторов). Все успешные корпоративные инновационные модели начинаются с одного и того же: построения стратегии, которая определит какой компания хочет стать в будущем и подходы к их достижению. Стратегия НИОКР формирует видение, цель и амбиции в соответствии с бизнес-стратегией (а лучше в «переплетении» с ней), баланс R&D проектов по функциям и стадиям развития, а также логику их приоритизации

на различных этапах реализации стратегии. К разработке такого документа необходимо подключить не только руководителей основных бизнес подразделений компании, но стратегических технологических партнеров и потенциальных ключевых поставщиков. Именно на уровне стратегии желательно зафиксировать открытую кооперационную модель развития R&D, в и далее декомпозировать это решение в процессы, организационную схему и нормативную базу.

В нашей стране традиционно, но незаслуженно довольно низкий приоритет у изменений корпоративной

культуры – ценностей и моделей поведения, которые способствуют формированию уникальной социально-психологической среды организации. Анализ практик зарубежных компаний по пересборке R&D направления показывает, что они обычно начинают с развития лидерских компетенций у сотрудников.

Рекомендации по развитию инновационной (предпринимательской) культуры в компании, были сформулированы в 1989 году в статье «Corporate Venturing



■ Поощряйте и продвигайте инновационный персонал.

Все эти «предложения» нелегко реализовать даже в крупной частной компании, особенно если вовлеченность собственника в рабочие процессы уже невелика. Для компаний с государственным участием ряд действий может показаться невозможным.

Но если учредители готовы не только ставить амбициозные бизнес-задачи, но и планируют их решение, то необходимо существенно менять внутреннюю нормативную базу вместе с отношением к новым технологиям, проектной работе по их продвижению (в логике временных трудовых коллективов времен позднего СССР) и внутрикорпоративному предпринимательству в целом.

Еще один важный элемент – система быстрой и недорогой проверки бизнес-гипотез по различным технологическим направлениям и их сборкам. Фактически, именно через бизнес-ориентированную функцию R&D/ инновационного развития, компании встраиваются в территориальные экосистемы предпринимателей и стартапов, количество которых, как в мире, так и в нашей стране постоянно растет.

В текущей российской ситуации партнерами для запуска и сопровождения структурных и ментальных изменений R&D/ инновационной деятельности в компаниях и корпорациях могли бы взять на себя институты развития (ИР), собранные сегодня под управлением ВЭБ РФ, такие как Фонд Сколково вместе со Сколтехом или ФИОП Роснано, у которых собраны собственные технологические компетенции, высококлассная панель экспертов (наука, технологии, бизнес), и наработан огромный опыт по созданию и развитию кооперации между учеными, инженерами, стартапами и крупным бизнесом, начиная со стадии идей и до конкретных экономических эффектов.

Obstacles: Sources and Solutions» Hollister B. Sykes and Zenas Block, и не потеряли актуальности:

- Поощряйте действие.
- По возможности используйте неформальные встречи.
- Будьте не просто терпимы к неудачам, но используйте их как учебный опыт.
- Настаивайте на выводе идеи на рынок.
- Вознаграждайте инновации ради инноваций.
- Планируйте помещения

так, чтобы было много возможностей для неформального общения.

- Готовьтесь к «умному пиратству» сотрудников – тайной работе над новыми идеями как в рабочее, так и в личное время.
- Объединяйте людей в небольшие команды для проектов, ориентированных на будущее.
- Поощряйте персонал обходить жесткие процедуры и бюрократическую волокиту.

ГАЗОТУРБИНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ



«**ПАО «ОДК-Сатурн»** (входит в Объединенную авиадвигательную корпорацию Ростеха) сегодня – это уникальное предприятие, деятельность которого включает в себя практически все направления современного газотурбостроения. Это и двигатели для гражданской и транспортной авиации, малоразмерные двигатели, двигатели для учебно-тренировочных самолетов, морские ГТД и агрегаты на их основе, а также большое семейство промышленных двигателей мощностью от 2,5 до 115 МВт. В 2020 году начаты работы по созданию двигателя для тяжелого транспортного вертолета.

МАКСИМ БУРОВ,
главный конструктор по перспективным разработкам ПАО «ОДК-Сатурн», канд. техн. наук

Такое разнообразие тем и направлений не только дает большие преимущества в развитии бизнеса, но и создает определенные сложности и накладывает большую ответственность на все без исключения подразделения. В ближнесрочной перспективе конкурентоспособность продукции предприятия обеспече-

на высоким уровнем технических и технологических решений, многие из которых были заложены еще два десятилетия назад. Однако модернизационный потенциал современной серийной техники, производимой как на «ОДК-Сатурн», так и на других предприятиях ОДК Ростеха, близок к своему исчерпанию.

Понимая это, за последние 10 лет в отрасли были инициированы процессы трансформации, затрагивающие все направления деятельности предприятий ОДК, от научных исследований и до послепродажного обслуживания.

Учитывая, что газотурбинный двигатель является, наверное, са-



мым сложным творением человека и переход от одного поколения к другому становится все более наукоемким и ресурсоемким, то без подобных преобразований невозможно создать технику нового поколения, способную конкурировать на глобальном рынке.

Если, к примеру, рассматривать рынок гражданской авиации, то на сегодняшний день доля продаж новых двигателей АО «ОДК» составляет менее 1 %. В ближайшие 15 лет согласно принятой стратегии мы должны увеличить эту долю в денежном выражении более чем в 2 раза. При этом остальной мир тоже не будет стоять на месте, и в процентном соотношении наша доля при условии выполнения поставленных целей увеличится только на 0,3 %.

К продуктам, которые должны стать драйверами этого роста, безусловно, необходимо отнести недавно сертифицированный двигатель ПД-14 нового поколения, предназначенный для семейства магистральных самолетов МС-21 и по своим характеристикам соответствующий лучшим мировым аналогам в своем классе (LEAP-X и PW100G). Следует отметить, что ПАО «ОДК-Сатурн» на протяжении ряда лет изготавливает лопатки турбины низкого давления для двигателя LEAP, что говорит о соответствии наших компетенций мировому уровню. В 2023 году планируется сертификация двигателя ПД-8, который по своей сути должен стать преемником двигателя

SaM146 на новом семействе самолетов SSJ NEW. Двигатель создается из российских материалов и комплектующих, что позволит обеспечить независимость его производства от поставок импортных комплектующих и увеличить долю российских предприятий в стоимости конечного продукта.

Говоря о двигателях для самолетов гражданской авиации, невозможно

«ОДК-Сатурн», обладая наибольшими в отрасли компетенциями по разработке и производству контура низкого давления, разработало и изготавливает для ПД-14 компрессор низкого давления, а для ПД-35 компрессор и турбину низкого давления. В программе ПД-8 используется опыт АО «ОДК-Авиадвигатель» при создании двигателя ПД-14 и его мотогондолы.

Для достижения максимального коммерческого успеха проектов ПД-8, ПД-14 и ПД-35 должен быть реализован принцип создания базовых газогенераторов для семейств двигателей различного назначения – ТРДД для самолетов гражданской и транспортной авиации, турбовальных для вертолетов, энергетических, приводных для ГПА и т.д.

Таким образом, результатом работ в направлении гражданских авиационных двигателей станет создание трех базовых газогенераторов нового поколения, способных обеспечить конкурентоспособность ОДК



Рассматриваемое семейство ГТД различного назначения на базе газогенератора ПД-8

но не упомянуть о таком наукоемком проекте, как ПД-35, предназначенном для широкофюзеляжных магистральных и тяжелых транспортных самолетов.

Следует подчеркнуть, что общей чертой всех перечисленных проектов является тесная кооперация предприятий ОДК Ростеха, как на этапе разработки, так и при производстве двигателей и их компонентов. ПАО

по этому бизнес-направлению на несколько десятилетий вперед.

Основным вопросом, которым нам всем необходимо задаться: а что дальше? Каким будет гражданский двигатель следующего поколения? За счет чего можно еще улучшить эффективность двигателя?

На сегодняшний день уровень аэродинамического совершенства узлов двигателя за счет примене-

ния современных вычислительных методов практически достиг своего теоретического предела. К примеру, КПД вентиляторов SaM146 и ПД-14 превышают 92 %. Дальнейшее совершенствование аэродинамики лопаточных машин конечно же необходимо, но прочностные и ресурсные ограничения не позволят существенным образом повысить эффективность двигателя в целом.

Другое направление – это повышение параметров цикла, а именно: температуры газа перед турбиной и степени повышения давления в компрессоре. Однако и здесь есть ряд серьезных объективных ограничений.

Повышение параметров термодинамического цикла сейчас стало возможным за счет применения новых жаропрочных материалов и совершенствования систем охлаждения двигателя, однако это неизбежно приводит к уменьшению размерности газогенератора, что в свою очередь ухудшает КПД лопаточных машин и тем самым существенно девальвирует полученный положительный эффект.

Другим существенным фактором, который позволял на протяжении нескольких поколений авиационных

двигателей обеспечивать улучшение их топливной эффективности – это увеличение степени двухконтурности. Однако и здесь мы вплотную приблизились к пределу. Проблема заключается в увеличении диаметра двигателя (опять же при уменьшении размерности газогенератора) с увеличением степени двухконтурности, что приводит к ухудшению аэродинамических характеристик самолета в целом, а также к увеличению массы силовой установки.

Многочисленные исследования показывают, что оптимальное значение степени двухконтурности, определенное с учетом сопротивления мотогондолы при предельно высоких значениях параметров цикла, составляет 15...18, а при учете ухудшения весовых характеристик это значение может сместиться в меньшую сторону.

Поэтому предельной реализацией гражданского двигателя, выполненного по классической схеме, по-видимому, является проект фирмы R&R UDF (Ultra Duct Fan) со степенью двухконтурности 15 и приводом вентилятора через редуктор. Разработчик планирует вывод такого двигателя на рынок после 2025 года.

UDF фирмы R&R



E-Fan (Airbus&Siemens)

В нашей стране в конце прошлого века по схеме UDF разрабатывался двигатель НК-93, однако по ряду объективных и субъективных причин он так и не нашел своего применения.

Таким образом, можно заключить, что классическая схема двухконтурного двигателя приблизилась к пределу своего совершенства и дальнейшие улучшения будут все менее существенными, требуя при этом все больших затрат.

Поэтому в последние годы и мире, и в нашей стране все больше внимания уделяется принципиально новым концепциям: электрические и гибридные двигатели, распределенные силовые установки, гибридные двигатели с использованием водородных технологий и др.

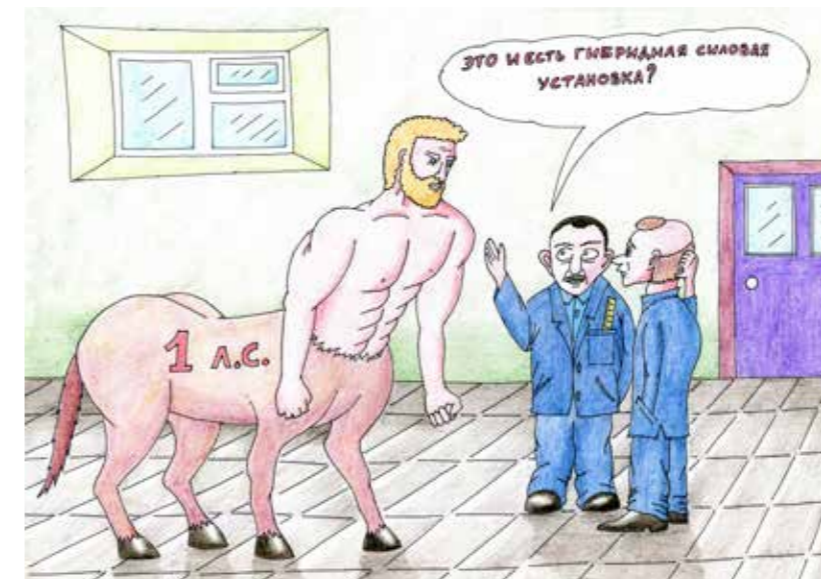
Смогут ли они в будущем полностью заменить традиционные ТРДД – покажет время. Однако уже сейчас реализован ряд проектов по электрическим летательным аппаратам (как беспилотным, так и пилотируемым) легкого и сверхлегкого класса. Один из таких реализованных проектов самолет E-Fan (Airbus&Siemens) еще в 2015 году пересек Ла-Манш, чем подтвердил реализуемость и эффективность концепции электрического самолета для данного класса летательных аппаратов.

Другой концепт – это гибридная (распределенная гибридная) силовая установка, когда турбоэлектрогенератор обеспечивает распределенные по самолету вентиляторы

и обеспечивает подзарядку накопителей энергии, которые используются на пиковых режимах (например, взлет).

К преимуществам данной концепции можно отнести потенциальное улучшение экологических характеристик в зоне аэропорта, когда часть необходимой для взлета тяги создается электрическими двигателями.

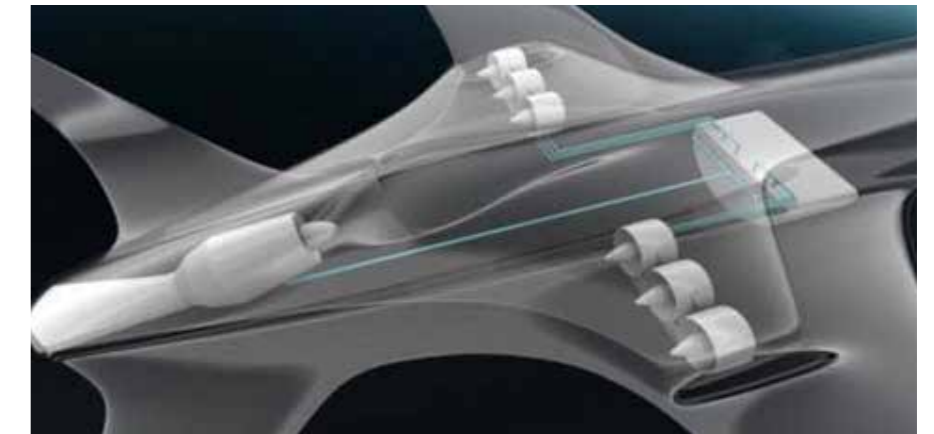
Наличие накопителей энергии позволяет оснащать самолет газотурбинным двигателем меньшей размерности и обеспечивать его работу на режиме наилучшей экономичности на протяжении значи-



тельного времени полета. Но эта концепция имеет ряд существенных недостатков, в первую очередь – это неприемлемо большой вес электрических машин и накопителей энергии, что присуще всем

электрическим концепциям. Однако в данном случае кроме электрических машин и накопителей такая силовая установка имеет еще и газотурбинный двигатель с необходимым для полета запасом топлива и инфраструктурой, что существенно увеличит вес силовой

установки и снизит эффект от ее применения. Такие исследования, кроме всего прочего, должны учитывать такие факторы, как стоимость и экологические аспекты производства и, особенно, утилизации накопителей энергии, что может существенно снизить общий экономический эффект подобных концеп-



Концепция распределенной силовой установки E-Thrust (EADS&Rolls Royce)

установки и снизит эффект от ее применения.

Также необходимо пристальное внимание уделять концепциям, основанным на применении топливных элементов и других технологий использования водородного топлива.

установки и сузит область их рационального применения.

Другим направлением деятельности ПАО «ОДК-Сатурн» является разработка и изготовление морских и промышленных двигателей и агрегатов.

История морского двигателестроения в Рыбинске началась в 1992 году, когда управление кораблестроения инициировало в России строительство собственной базы для разработки и серийного выпуска морских ГТД. Тогда по решению правительственной комиссии было принято базовым предприятием рыбинского конструкторского бюро моторостроения (АО РКБМ), которое сейчас является конструкторским бюро «ОДК-Сатурн».

За основу для создания семейства морских и промышленных двигателей был взят газогенератор, разрабатываемый в нашем конструкторском бюро для двигателя изменяемого рабочего процесса

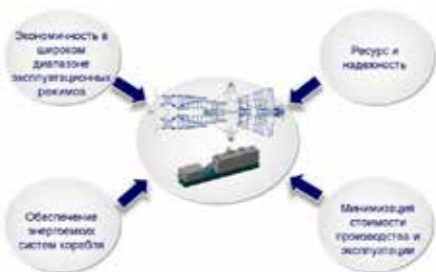
В результате была создана линейка промышленных двигателей для нужд Газпрома мощностью от 4 до 10 МВт с КПД от 32 до 36 %, что является лучшим показателем в своем классе.

В 2006 и в 2008 годах были проведены Государственные испытания первых российских двигателей М75РУ и М70ФРУ.

Тот факт, что промышленные и морские двигатели были максимально унифицированы между собой, позволило предприятию за счет опыта эксплуатации своих двигателей на объектах Газпрома своевременно устранить многие конструктивные и технологические дефекты и провести опережающую доводку морских версий, и тем самым вовремя выполнить Государственный заказ.

Вскоре была создана модификация двигателя М70ФРУ – двигатель Е70/8РД, адаптированный для применения в составе силовых установок гражданских морских судов. Чтобы создать конкурентоспособный двигатель, потребовалось существенно усовершенствовать базовую конструкцию. В первую очередь новому двигателю необходимо было обеспечить в 2,5 раза больший ресурс, чем на прежних двигателях. Принципиальной отличительной особенностью двигателя Е70/8РД

ностью 8 МВт (СГТГ-8), приемочные испытания которого были успешно завершены в 2013 году. Газотурбогенератор предназначен, в том числе для освоения шельфовых месторождений нефти и газа, где он может быть использован в составе силовых агрегатов газозовозов, а также для энергообеспечения нефте- и газодобывающих платформ. Основные технические решения, отработанные на СГТГ-8, могут быть положе-



Требования

ны в основу создания перспективных энергетических установок для кораблей, использующих принцип электродвижения.

С 2014 по 2017 годы на базе двигателя М70ФРУ, а также освоенного в серийном производстве нового

российского центра морского двигателестроения.

Не останавливаясь на достигнутом, на предприятии активно ведутся работы по созданию новых более эффективных модификаций уже освоенных двигателей, создается научно-технический задел в обеспечение разработки морских двигателей и агрегатов нового поколения.

Для выявления приоритетов в проводимых исследованиях в обла-



Технологии

сти морских ГТД были сформулированы основные требования, предъявляемые к морским энергетическим установкам в будущем и перечень ключевых критических технологий, необходимый для их достижения.

В части создания НТЗ сегодня «ОДК-Сатурн» является единственным предприятием, которое впервые в отечественной практике разработало и внедрило в конструкцию серийного двигателя новый жаро-

прочный коррозионностойкий материал СЛЖС-5. Кроме разработки материалов по заказу Минпромторга ведутся исследования в обеспечении создания малоэмиссионной двухтопливной камеры сгорания для морских двигателей.

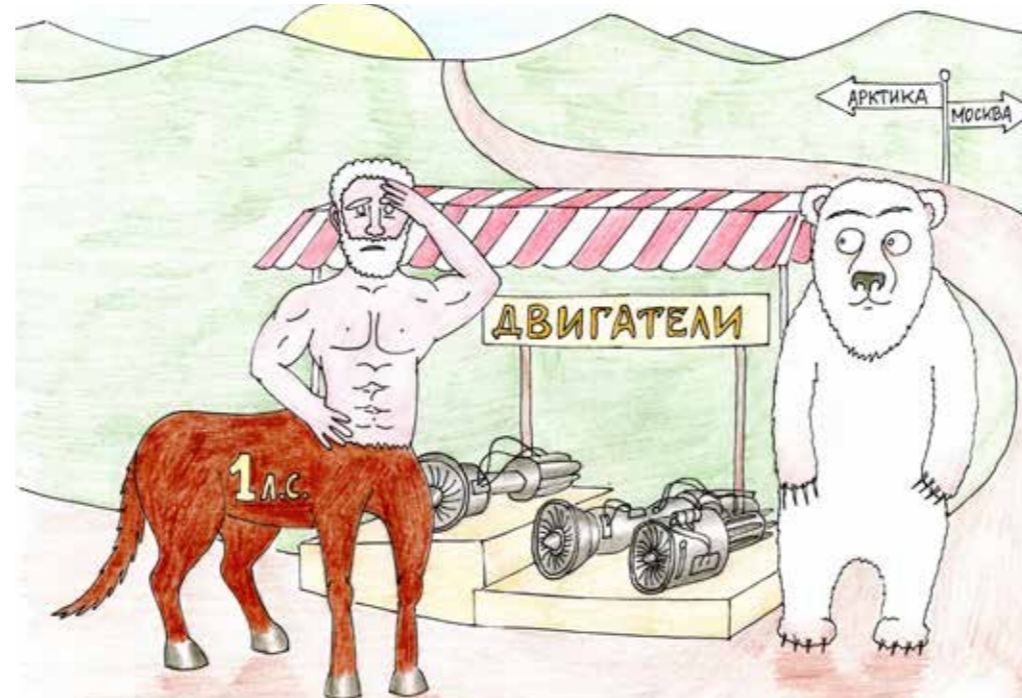
На предприятии активно внедряются аддитивные технологии производства сложнопрофильных деталей и узлов двигателя. В частности, на модификации двигателя



Семейство морских и промышленных ГТД ПАО «ОДК «Сатурн» на базе унифицированного газогенератора

разработки тогда еще ПАО «НПО «Сатурн» является двухтопливная камера сгорания с функцией автоматического перехода с газового топлива на дизельное и наоборот. На базе двигателя Е70/8РД создан судовой газотурбогенератор мощ-

морского двигателя, «ОДК-Сатурн» успешно выполнило ряд ОКР по созданию газотурбинных и дизель-газотурбинных агрегатов для нужд российского флота, обеспечив его корабельной энергетикой на много лет вперед и подтвердив свой статус



М70ФРУ с реверсивной турбиной около 2 % деталей по массе выполнено по аддитивным технологиям, что кроме всего прочего позволило существенно сократить сроки создания и доводки двигателя, а также его стоимость в условиях штучного производства.

Как и при создании двигателей для гражданской авиации, создание морского двигателя и агрегата нового применения невозможно без применения новых методов исследований и проектирования.

В этом направлении «ОДК-Сатурн» ведет работы по созданию и внедрению технологии «цифрового двойника» морского двигателя, что

подразумевает создание новой методологии проектирования, программного и аппаратного обеспечения.

В завершение хотелось бы сказать, что отдавая должное нашим успехам в создании и освоении новой техники, соответствующей мировому уровню, построению эффективной научной и производственной кооперации, мы должны четко понимать, что мир не стоит на месте, и здесь как нельзя лучше подходит цитата из всем известной книги Л. Кэрролла «Алиса в стране чудес»: «Нужно бежать со всех ног, чтобы только оставаться на месте, а чтобы куда-то попасть, надо бежать вдвое быстрее!»

МЕТОДОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ГТД НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ «ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА»

КИРИЛЛ ВИНОГРАДОВ,
заместитель начальника ОКБ-1
по расчетно-исследовательским
работам ПАО «ОДК-Сатурн»,
канд. техн. наук



Непрерывный рост параметров цикла, ужесточение требований заказчика, а также сокращение требуемых сроков разработки современных ГТД для сохранения конкурентоспособности на мировом рынке обуславливают необходимость оперативного развития и внедрения новых подходов к процессам управления жизненным циклом ГТД (проектирование, производство, эксплуатация).

В настоящее время в связи с развитием средств суперкомпьютерных вычислений, совершенствованием математических методов и CAE/PDM систем популярность приобретает подход к проектированию на основе концепции «Цифрового двойника».

Цифровой двойник – это подход к управлению жизненным циклом изделия, сочетающий в себе использование совокупности многоуровневых высокоточных математических моделей элементов и систем ГТД, данных по фактически изготовленным ДСЕ, а также методов обработки данных испытаний и эксплуатации. При таком подходе объединяются данные предиктивной аналитики и виртуальный прототип реального физического изделия, механического или технологического процесса, который полностью повторяет поведение физического прообраза, включая все внутренние процессы, условия эксплуатации, техническое состояние и наработку конкретного экземпляра изделия.

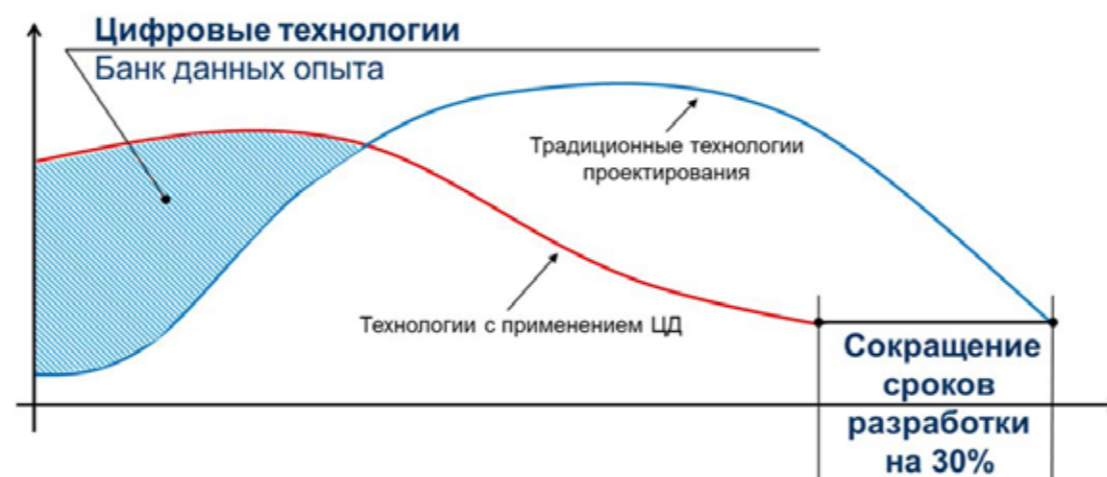
К цифровому двойнику как к технологии предъявляется большое количество требований: двой-

ник должен содержать в себе данные основных этапов жизненного цикла изделия (проектирование, производство, испытания, эксплуатация), располагаться в едином информационном пространстве, обеспечивающем коллективную работу специалистов над одним изделием с разным уровнем доступа. Также крайне важным является обеспечение требуемого уровня точности и соответствия используемых математических моделей реальным физическим объектам. На сегодняшний день цифровой двойник должен обеспечивать уровень точности $\pm 5\%$ относительно фактических параметров реального объекта и происходящих в нем физических процессов. При этом цифровой двойник должен позволять отслеживать историю соз-

дания и развития изделия и его компонентов на протяжении всего жизненного цикла.

Ожидаемыми результатами внедрения данного подхода к управлению жизненным циклом изделия является увеличение скорости принятия технических решений, сокращение сроков разработки новых изделий на 30 %, достижение требований ТЗ с первого опытного экземпляра, внедрение и широкое распространение безбарьерной среды для работы инженеров и проектиров-

щиков, а также снижение затрат на поздних этапах ОКР, например при разработке семейства ГТД на базе унифицированного газогенератора



или модификации существующего ГТД под изменившиеся требования заказчика.

Существенным отличием применения концепции цифрового двойника является изменение основного руководящего документа для разработки двигателя. Классическая форма Технического задания в новой системе работ становится матрицей целевых показателей и ограничений.

Этот документ имеет несколько уровней требований, имеющих следующую градацию: от требований, предъявляемых к двигателю в целом, до требований к основным узлам, системам и отдельным деталям.

Важно отметить, что общее число требований, предъявляемых к газотурбинному двигателю, может достигать нескольких тысяч. При этом выполнение требований по отдельным узлам и компонентам не гарантирует выполнение требований верхнего уровня, предъявляемых к силовой установке в целом. При этом именно концепция «Цифрового двойника» позволяет обеспечить системный подход к разработке ГТД, взаимную увязку требований различного уровня, нахождения наилучшего сочетания конструктивных параметров узлов из имеющегося набора вариантов их исполнения и взаимодействия.

Основными составляющими цифрового двойника являются цифровые модели, описывающие геометрические характеристики конструкции (CAD), физические процессы, происходящие в элементах, узлах и системах ГТД (CAE), модели используемых технологических процессов (CAM). Модели технологических процессов также обеспечивают учет фактических данных производства в геометрических характеристиках ДСЕ, заложенных в расчеты. Отдельной частью цифрового двойника являются модели обработки больших объемов данных испытаний, и эксплуатации, объединенные с модулем предиктивной аналитики и прогнозирования технического состояния ГТД.

Таким образом, можно сделать вывод, что главным процессом, происходящим в рамках концепции «Цифрового двойника», является взаимодействие предъявляемых требований и расчетных моделей, под-

тверждающих эти требования. Этот процесс является многоуровневым и повторяется как для конкретной ДСЕ, так и для узла, системы и двигателя в целом. При этом элементы цифрового двойника на всех уровнях и этапах проходят постоянную верификацию и валидацию по имеющимся данным испытаний.

Важно отметить, что использование в цифровом двойнике расчетных моделей высокого уровня детализации (например, трехмерные нестационарные аэродинамические расчеты лопаточных машин), требующих существенных временных затрат является ограниченным. Основными интегральными моделями, формирующими облик ЦД, являются одномерная термодинамическая модель ГТД и двухмерная тепловая и прочностная модели ГТД с высокой скоростью работы и возможностью корректного описания основных особенностей работы изделия. Именно на основе комплекса данных моделей и формируется в дальнейшем «цифровая тень» конкретного экземпляра ГТД, содержащая в себе особенности изготовления, сборки и эксплуатации данного объекта с конкретным серийным номером.

Таким образом, применение методологии «Цифрового двойника», как подхода к проектированию позволяет обеспечить процесс управления жизненным циклом ГТД, и проведение «виртуальных испытаний», что сокращает сроки разработки, минимизирует неточности на всех этапах проектирования и разработки, а также ведет к существенному снижению затрат.

МАШИННОЕ ЗРЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ КАК ЭЛЕМЕНТ УМНОЙ ФАБРИКИ

АЛЕКСАНДР СОРОКИН,
начальник управления
«Цифровая трансформация»
ПАО «ОДК-Сатурн»



В последние годы получило широкое распространение применение компьютерного/ машинного зрения (CV – computer vision) в том числе с использованием технологии машинного обучения (ML-machine learning) в решении многих задач. В данном материале будет использоваться термин «машинное зрение», т.к. он чаще применяется именно при рассмотрении производственных задач.

При формировании элементов «Умной фабрики», будь то роботизированные ячейки и линии или системы адаптивного управления, стоит задача создания автоматизированных систем на основе технологий межмашинного взаимодействия (M2M – Machine-to-Machine).

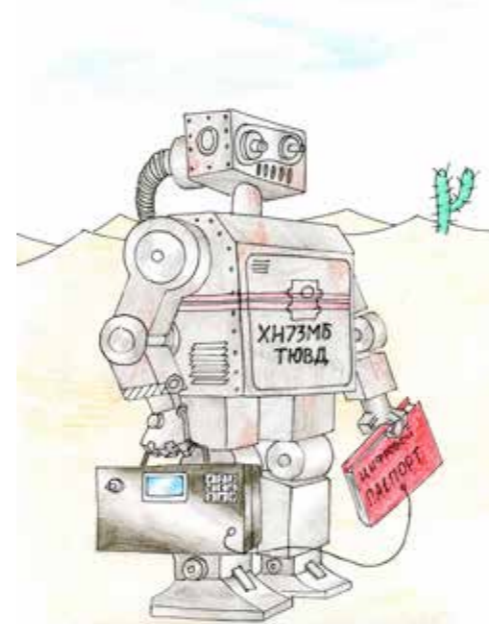
Одним из барьеров, при создании подобных комплексных систем является обязательное проведение контрольных операции, будь то контроль позиционирования, контроль выполнения технологической операции или промежуточный контроль качества изготавливаемой продукции, который заключается в визуальной, визуально-измерительной оценке тех или иных параметров. То есть требуется участие человека, которое не позволяет рассматривать возможность межмашинного взаимодействия и комплексной автоматизации.

Преодоление этого барьера возможно посредством применения машинного зрения, когда процесс визуального и измерительного контроля передается от человека автоматизированной системе. В случае, если контрольную операцию невозможно

встроить в комплексную систему по автоматизации, применение машинного зрения может рассматриваться как самостоятельный элемент для решения специализированных задач. В любом случае, вопрос внедрения систем на базе машинного зрения стоит на повестке многих компаний активно занимающихся цифровизацией производства.

В компании авиадвигателестроения, где контрольным операциям уделяется огромное значение, а ответственность за их выполнение носит персонифицированный характер и регламентируется множеством нормативных документов, подходить к решению внедрения машинного

зрения необходимо с учетом данной специфики. Поэтому, для начала, мы инициировали на предприятии совместно со службами директора по качеству, главного инженера и директора производства работу по выявлению процессов для потенциального внедрения машинного зрения. Именно в разрезе контроля качества и контроля выполнения технологических операций. Данная работа стартовала осенью прошлого года, и ее результатом стал сформированный перечень, который пересматривается и дополняется на постоянной основе. Основными критериями по которым отбирались потенциальные процессы были: рутинность, четкая форма-



лизация и возможность применения технологии. Следующим этапом стала расстановка приоритетности, формирование шорт-листа и технических требований. Таким образом, на сегодня мы имеем, так называемые задачи первой очереди по внедрению машинного зрения.

Обеспечение возможности формирования дата-сетов, подбора готовых алгоритмов, а также применение машинного обучения в условиях реального серийного производства специалистами предприятия позволит осуществлять работы по внедрению систем в выбранные процессы максимально эффективно.

№ п/п	Процессы для внедрения машинного зрения
1	ЛЮМ-контроль лопаток турбин
2	Визуальный контроль заготовок лопаток турбин
3	Считывание сложной маркировки ДСЕ
4	Контроль плетения тканной преформы из углеволокна
5	Контроль шероховатости и внешнего вида поверхности рабочих и направляющих лопаток после операций полирования
6	Контроль макроструктуры лопат турбин травлением
7	Контроль гранулометрического состава, внешнего вида и морфологии порошков для аддитивного производства

Таб. 1. Шорт-лист процессов для внедрения машинного зрения

Рассмотрим основные барьеры при внедрении решений на базе машинного зрения и пути их преодоления:

Таким образом, учитывая, что внедрение решений на базе машинного зрения связано с большим объемом исследовательских работ, рассматриваются несколько первоочередных задач, которые позволяют ускорить данный процесс, а именно:

- Формирование команды специалистов с базовыми компетенциями в сфере машинного зрения и машинного обучения.

Организовано обучение специалистов предприятия в РГАТУ им. П. А. Соловьева по направлению «Искусственный интеллект. Большие данные». В рамках Лаборатории цифровых технологий, которая была создана совместно с РГАТУ им. П. А. Соловьева запущено 2 проекта с привлечением студентов старших курсов для решения локальных задач.

- Создание инфраструктуры испытательного полигона для проведения натуральных экспериментов собственными силами.

Закуплены специализированные камеры для возможности получения изображения с необходимым качеством. Приобретен 3D-принтер для оперативного изготовления оснастки, необходимой при создании систем контроля.

- Развертывание среды применения готовых алгоритмов, библиотек анализа изображений и распознавания образов для проведения исследований на мощностях предприятия.

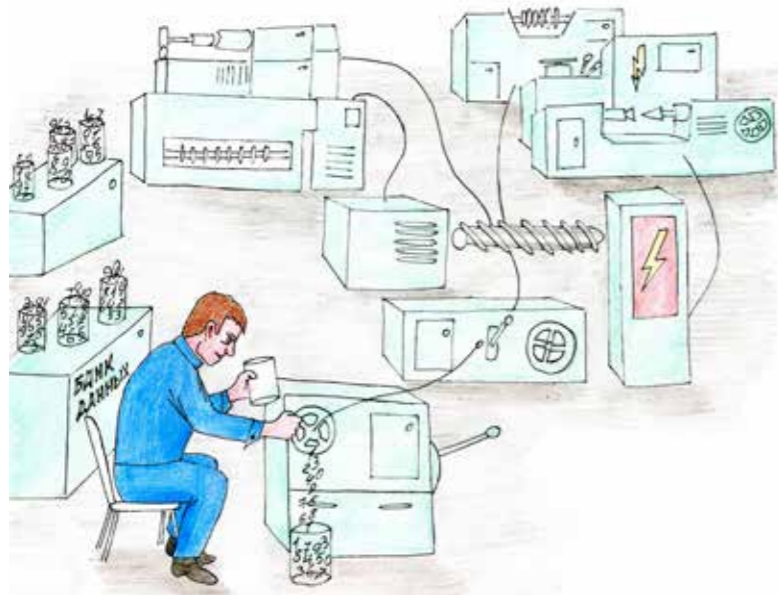
Среда развернута, ведутся опытные работы.

- Ведение совместно с научными организациями исследовательской деятельности для выработки подходов к применению машинного зрения и машинного обучения для решения конкретных задач.

С РГАТУ им. П. А. Соловьева заключен договор на выполнение работ по созданию опытного стенда для ЛЮМ-контроля и визуального

Таб. 2. Основные барьеры

Барьер	Пути преодоления
Отсутствие компетенций и опыта в области машинного зрения	Формирование компетенций внутри (Лаборатория цифровых технологий)
	Совместная исследовательская работа с университетами
	Поиск команд и решений через конкурсы
	Внедрения решений силами ведущих компаний на рынке CV
Сложно спрогнозировать итоговый результат по внедрению в части обеспечения точности	Организация научно-исследовательских работ
	Формирование испытательного полигона промышленного типа
Затруднен расчет экономического эффекта без учета дальнейшей автоматизации	Снижение рисков за счет опытной проработки на базе испытательного полигона
Проприетарные данные	Развертывание ПО для разработки решений с применением нейросетевых технологий на мощностях предприятия
Отсутствие нормативной базы по применению контроля средствами машинного зрения	Пилотное внедрение решений как интеллектуальных помощников
	Подтверждение точности решения на большом количестве повторений
	Работа с надзорными ведомствами по выработке путей аттестации и сертификации
Отсутствие технического обеспечения	Приобретение специализированных аппаратно-программных средств фото-, видео- фиксации
	Приобретение аппаратного обеспечения для выполнения специализированных расчетов



контроля лопаток турбин. Участие в АВИАХАКATONE-2021, организованном Московским авиационным институтом позволило оценить возможность внедрения системы контроля заготовок лопаток турбин как конечно ориентированного программного комплекса. Планируется дальнейшая работа с победителями, которые представляют МАИ.

- Включение в комплексный план финансирования научно-исследовательских работ деятельности связанной с апробацией решений на базе машинного зрения и машинного обучения.

Схематично процесс внедрения решений на базе машинного зрения и машинного обучения можно представить следующим образом.



векторами в ближайшей перспективе будет разработка интеллектуальных помощников при промежуточном контроле, позволяющих снизить нагрузку на контролёра и повысить эффективность, а также систем контроля соблюдения технологических операций в реальном времени. Последующая эксплуатация систем и подготовка нормативной базы по применению машинного зрения в операциях контроля сформирует тот базис, который позволит рассматривать подобные решения как самостоятельную часть единого ландшафта интегрированных решений с комплексной оценкой эффектов от внедрения. Это, в свою очередь, обеспечит построение траектории дальнейшей автоматизации на основе «цифрового следа» полученного инструментами машинного зрения.

Формирование собственной команды с базовыми компетенциями, обеспечение этой команды ресурсами для проведения исследовательских работ видится в нашей ситуации залогом успешных внедрений решений на базе машинного зрения. Нужен своего рода испытательный полигон производственного типа (ИППТ) для проведения НИОКР, в том числе, с привлечением внешних команд-разработчиков. И конечно, должна появиться статья затрат на проведение данных НИОКР и описана процедура ее формирования.

20.35
УНИВЕРСИТЕТ НТИ

НИНА ЯНЫКИНА, ректор,
генеральный директор, член
наблюдательного совета
АНО «Университет Национальной
технологической инициативы
2035»

КАК РЕШАТЬ ЗАДАЧИ БИЗНЕСА СИЛАМИ УНИВЕР- СИТЕТА



Государственная политика последних лет направлена на включение российских университетов в современную технологическую повестку и решение технологических задач для бизнеса. Это и ускоренная подготовка квалифицированных кадров, которых не надо переучивать после университета, и работа студенческих команд над проектными задачами бизнеса, и новые образовательные программы по направлениям технологического развития для вузов, и сетевое взаимодействие с постоянным обменом лучшими практиками. Однако пока бизнес и вузы не всегда находят подход друг к другу, многие не знают с чего начать.

Первый шаг, для любого университета, это создать студенческую команду для решения технологической задачи индустриального партнера. В такой логике, например, выстроены проектно-образовательные интенсивы Университета 20.35. На интенсивах студенческие команды решают задачи индустриальных партнеров и затем презентуют их экспертному жюри. Если решение

удовлетворяет требованиям заказчика, оно внедряется на производстве. Также студенты могут самостоятельно найти незаполненные рыночные ниши или нерешенные проблемы какого-либо клиентского сегмента и сделать прототип продукта. И в том, и в другом случае участники разрабатывают решения и одновременно учатся, овладевая компетенциями, необходимыми для их роли в команде и решения задачи.

Вузы, которые проводят проектно-образовательные интенсивы по модели Университета 20.35, могут легко их встраивать в программу развития молодежного предпринимательства. Поскольку результатом проекта является прототип, команда может работать над ним в течение всего обучения и вместо диплома защищать стартап. Интенсивы становятся частью основного образовательного процесса в университете, некоторые вузы переходят в проектную логику и в этом случае целесообразно засчитывать результат проектной деятельности как диплом.

Сегодня компании могут оставить запрос на технологическое решение, его выбирает команда, которая в течение 3 месяцев разработает прототип и представит его заказчику. Так в Университете 20.35 запущен Банк задач, в котором российские и зарубежные стартапы и компании предоставляют участникам задачи для работы в течение трех месяцев при поддержке проектных наставников. Чуть больше чем за год в проект привлечено 30+ компаний, по итогам интенсива каждого четвертого студента заказчики пригласили на стажировку или работу, не менее половины команд решили задачи и показали прототипы на финале проектного трека. У отраслевых партнеров появилась возможность найти себе новых сотрудников, выступить в роли менторов и познакомить студентов со спецификой компании, избегая конкуренции с другими корпорациями. Банк задач представляет собой



no-code решение публичной витрины (<http://business.2035.university/tasks/>) для прозрачного и доступного бронирования задач.

Программа «Цифровые модели и двойники» может считаться новым, но уже востребованным у вузов и промышленных партнеров проектом Университета 20.35. Пилот стартовал летом 2020 года. Участниками трехмесячного практико-проектного интенсива стали пять технологических компаний, четыре промышленных заказчика, преподаватели и свыше 200 студентов Новгородского государственного университета.

Индустриальные компании предложили участникам готовые к прототипированию решения, которые надо было превратить в проекты. Над ними работали шесть студенческих команд. Акцент был сделан на проектах

для пищевой отрасли. Среди них:

- **Цифровая модель линии розлива и упаковки пакетов молока.**
- **VR-тренажер для обучения персонала на производстве меда.**
- **AR-конструктор для производства и др.**

В этом году уже более тысячи студентов приступили к обучению на курсе «Цифровые модели и двойники». Это первый в России сетевой курс, в котором участвуют вузы из разных регионов страны. Он проводится в сотрудничестве с Центром компетенций НТИ СПбПУ, МГТУ «СТАНКИН», СПбГУ и экономическим факультетом МГУ им. М. В. Ломоносова.

Программа состоит из академического, практического и проектного этапов.

Академический этап бесплатный

для участников и доступен всем желающим в онлайн-формате.

Студенты могут выбрать один из трех модулей:

- **«Технологии цифровой промышленности».**
- **«Компьютерный инжиниринг в цифровом проектировании и производстве».**
- **«Цифровые модели и двойники киберфизических производственных систем».**

Длительность академического этапа – 2,5 месяца, по итогам бакалаврам выдается сертификат с оценкой, магистрам – удостоверение о повышении квалификации от одного из вышеперечисленных вузов-партнеров.

Второй и третий этапы стартуют уже осенью. Они включают практическую работу в команде над проектами для промышленных партнеров из бизнеса и госорганов.

Такой подход позволяет научиться работать с конкретным ПО, а также платформенными решениями, и создать MVP или прототип для решения поставленной заказчиком задачи. Среди них: проверка гипотезы PoC (Proof of Concept) разработки опытного образца цифрового двойника объекта или части производственного процесса, VR/AR-среда, 3D-модели и т.д. В случае успеха сложившаяся стартап-команда может сразу получить работу.

Участники, которые пройдут вторую и третью ступень, получают не просто повышение квалификации, а фактически новую профессию, а предприятие – готовую команду для реализации проекта. Это первый в России подобный курс, и он включает не только создание цифровых двойников и управление ими, но также и широкий спектр цифрового моделирования в разных областях и для различных индустрий.

Один из главных вызовов, которые стоят сегодня перед региональными вузами – сохранить человеческий капитал, сделать так, чтобы талантливые абитуриенты оставались в регионе, не уезжали поступать в Москву или Санкт-Петербург, а после окончания учебы устраивались в компании у себя «дома». Что для этого нужно? Чтобы качество образования, которое талантливый студент может получить на месте, не уступало лучшим вузам страны.

Осенью 2020 года Университет 20.35 начал разработку Образовательных франшиз НТИ, проект, который позволяет вузам запускать на своих площадках учебные модули по сквозным технологиям НТИ, а это искусственный интеллект, технологии блокчейн, робототехника, VR/AR и пр. – подготовленные ведущими университетами, включая Центры компетенций по направлениям развития НТИ. Всего было предложено 7 образовательных модулей, заинтересованность в которых проявили несколько десятков вузов. К участию в проекте подключились 3,5 тысячи студентов из более чем 30 городов.

Как работают Образовательные франшизы НТИ? Вузы – участники пилотного проекта получают возможность быстро и без каких-либо финансовых затрат в рамках пилотного периода внедрить в свой учебный процесс уникальный и полностью готовый курс от ведущих вузов страны. Сопровождение процесса обучения своих студентов остается за преподавателями вуза, которые проходят предварительную бесплатную подготовку. Программа обучения сопровождается методической и платформенной поддержкой вуза – держателя курса и Университета 20.35, выступающего интегратором процессов обучения и формирования цифрового следа.

Образовательный контент франшиз формируется преимущественно вузами на базе Центров компетенций НТИ, а также орга-

низаций, разделяющих ценности и цели НТИ и ориентированных на углубление сотрудничества и дальнейшую интеграцию в НТИ.

Для региональных вузов участие в программе это:

- рост популярности вуза и возможность привлечь больше абитуриентов;
- переподготовка и актуализация компетенций преподавателей;
- новые внебюджетные источники финансирования.

Особенностью образовательных модулей является смешанный формат обучения (онлайн – на платформе вуза-держателя (или Университета 20.35) и офлайн – сопровождение на стороне вуза-получателя). В основе всех образовательных программ: таксономия образовательных результатов, данные цифрового следа обучения, наполнение компетентностного профиля обучающихся и развитие рекомендательной системы в направлении сквозных технологий.

Университет 20.35 занимается не только образовательными про-

граммами для вузов, но и разрабатывает цифровые решения и аналитические инструменты для рынка труда. Среди них ЦМК-карта (цифровая модель компетенций) – сервис аналитики рынка труда в сфере IT, который позволяет найти работу по данному направлению в любом регионе и подбирать курсы повышения квалификации. HR-подразделения могут использовать сервис для описания деятельности и компетенций различных специалистов. Основное отличие Цифровой модели компетенций от традиционных подходов к разработке моделей компетенций – это уход от «экспертности», что позволяет избежать искажений, которые присущи человеческим решениям.

В основе ЦМК лежит ансамбль алгоритмов на основе искусственного интеллекта. На первом шаге программы краулеры собирают данные с сайтов вакансий, мероприятий и профессиональных сообществ, на втором шаге текстовая часть данных обрабатывается методом семантического анализа и на их основе формируется онтология, детально описывающая предметную область.

На третьем шаге по запросу пользователя из построенной онтологии выводится связанная структура из функциональных позиций, трудовых действий, инструментов и навыков, составляющая основу модели компетенций. В общей сложности в обработке у ансамбля алгоритмов одновременно находится более 100 млн вакансий российского и мирового рынка труда.

Другой онлайн сервис, Корпоративная генетика, позволяет проводить комплексные исследования организационной культуры. Инструмент необходим для оперативного и стратегического управления компанией. Сервис анализирует и сравнивает, как в целом по компании, так и по отдельным подразделениям, показатели гибкости и стабильности, особенности принятия решений, эмоциональную атмосферу и другие показатели. Анализируется как декларируемая в официальных документах и выступлениях «культура организации», так и восприятие ценностей сотрудниками, а также данные цифровой этнографии. На основе подобного анализа организации могут выявлять проблемы потери эффективности, причины конфликтов и даже предсказывать материальные убытки.

Университет 20.35 запустил более десятка цифровых сервисов, инструментов и образовательных продуктов, которыми вузы пользуются уже сегодня. На платформе Университета зарегистрированы более 500 тыс. пользователей, университетские управленческие команды более чем из 100 вузов прошли подготовку в сфере цифровой трансформации, только в проектно-образовательных интенсивах приняли участие более 1,1 тыс. студенческих команд. Мы в начале пути, и наши успехи – это успехи наших партнеров.



ВЛИЯНИЕ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ НА ТРАНСФОРМАЦИЮ ВЗГЛЯДОВ О СВОЙСТВАХ МАТЕРИАЛОВ



ЕВГЕНИЙ ШИРЯЕВ, инженер-технолог 1 категории, центр исследований и испытаний материалов ПАО «ОДК-Сатурн»



Успех современной двигателестроительной компании зависит не столько от ее истории, размеров и мощностей производства, а от того, насколько ее технологические процессы систематизированы и имеют цифровую историю. К производителю высокотехнологичной продукции предъявляются все более высокие требования и ожидания, что влечет за собой необходимость адаптивного развития и повышения компетенций.

На данном технологическом этапе развития современные компании в основном используют бизнес-модель, ориентированную на продажу с дальнейшим сервисным обслуживанием на протяжении всего жизненного цикла продукта. Но компании не стоят на месте, а активно разрабатывают и предлагают новые модели ведения бизнеса, пробуя различные бизнес-модели.

На наш взгляд наиболее перспективной является бизнес-модель, ориентированная на результат: клиент не покупает продукт, а платит только за результат деятельности. Данная модель ведения бизнеса может быть выгодна только при условии наличия цифровой копии работающего физического объекта – «Цифрового двойника», так как производитель берет на себя ответ-

ственность за то, как продукт работает. Все эксплуатационные расходы, связанные с поддержанием его в работоспособном состоянии, ложатся на производителя, а не на заказчика. Фундаментом для создания «Цифрового двойника» является всестороннее знание о материалах, из которого производится продукт. Необходимо знать, иметь и исследовать те свойства, те материалы, которые обеспечат должное качество выпускаемой продукции. Для этого требуется создание «Цифрового паспорта на материал», в котором будут в достаточном для Заказчика объеме определены свойства кон-

кретного материала из которого изготавливается конкретная деталь, используемая при производстве конкретного изделия.

Наша корпорация стремительно переходит в цифровое пространство, отказываясь от устаревших моделей разработки, проектирования и изготовления продукции, что позволяет снизить сроки и затраты на разработку и сопровождение жизненного цикла выпускаемого продукта. Немаловажную роль в этом развитии играет процесс цифровизации определения свойств, используемых в производстве материалов при изготовлении изделий (продукции). На данный момент идет планомерное переоснащение заводских металлургических лабораторий на современное исследовательское и испытательное оборудование, на котором установлено специализированное программное обеспечение, позволяющее записывать и проводить вычислительные расчеты получаемых данных с дальнейшим добавлением результатов в специализированные цифровые базы данных о материалах загружаемые в единую базу АО «ОДК» GRANTA MI, реализуемую в рамках проекта «Управление знаниями. Использование банка данных по конструкционной прочности материалов для обеспечения требований по массе и установления ресурса при создании двигателя». Программные продукты имеют интегрированный доступ к внутриорганизационным испытаниям, а также предоставляют высококачественные справочные данные о материалах и позволяющие прогнозировать необходимые свойства на этапе проектирования изделий, что значительно снижает время проектирования, и как результат ускоряет процесс выхода нового продукта на рынок.

При этом на рынке мы видим рост конкурентоспособности у распределенных структур, так как это позволяет:

- контролировать загрузку оборудования и увеличить рентабельность используемых активов путем



перераспределения нагрузки на используемое оборудование и квалифицированный персонал;

- вести единую материаловедческую базу данных, что исключает затраты на ведение дублирующих научно-исследовательских работ, создает единый реестр поставщиков материалов, а в перспективе снизит срок разработки и внедрения новых материалов;

- проводить исследования и испытания материалов для сторонних заказчиков, не входящих в корпорацию.

Реализация этих принципов заложена в проекте «Создание единого центра компетенций по испытаниям и исследованиям материалов», который был представлен на конкурс «Вектор» проводимый ГК «Ростех». Его реализация позволяет увеличить рентабельность активов и осуществить диверсификацию на неавиационные рынки. В ходе разработки инициативы было проведено исследование рынка и выявлена закономерность роста продаж ис-

следовательского и испытательного оборудования с 956 995 руб в 2011 году до 4 260 000 руб в 2020 году, что говорит о потребности рынка в высококачественных и дорогостоящих исследованиях. По результатам диалога с такими компаниями как: ПАО «Северсталь», АО «Загорский трубный завод», АО «Композит» и рядом других крупных компаний, мы видим потенциал в развитии испытательного центра АО «ОДК», по приблизительным оценкам после получения требуемых аккредитаций и сертификацией ежегодная прибыль может составлять порядка 100 000 руб.

В итоге, у компании есть окно в два-три года, чтобы коммерциализировать имеющиеся технологические компетенции. В среднесрочном же периоде, все больше промышленных компаний будут переходить в области измерений к модели потребления «как услуга», что позволит им переориентировать свои инвестиционные затраты на критические для их бизнеса технологии.

НА ИНЖЕНЕРНЫХ ПРОФЕССИЯХ СКОНЦЕНТРИРОВАНО ОСОБОЕ ВНИМАНИЕ



СВЕТЛАНА ЖУКОВА, директор по персоналу ПАО «ОДК-Сатурн», канд. техн. наук

Перед коллективом ПАО «ОДК-Сатурн» (входит в Объединенную двигателестроительную корпорацию Ростеха) в 2021 году стоят большие задачи, во многом определяющие перспективу предприятия на десятилетия. Кадровая политика компании выстраивается в свете производственных и научно-технических планов ОДК.

В настоящее время численность работников компании составляет около 14 тысяч человек, при этом на основной площадке в Рыбинске работает более 12 тысяч – это достаточно большой коллектив, стабильный, профессиональный.

Средний возраст работников предприятия – 43 года. Доля работников в возрасте до 35 лет составляет 28,5 %, от 35 до 45 лет – 28 %.

Мы можем говорить о том, что у предприятия хорошая кадровая

обеспеченность в сравнении с аналогичными промышленными предприятиями ОПК, где средний возраст составляет 50 лет, а в отдельных отраслях, в НИИ и конструкторских бюро, доходит до 56 лет.

Весь 2020 год набору талантливых молодых специалистов уделялось особое внимание. Были трудоустроены 657 человек, из них 41 – выпускники вузов и колледжей, кроме того 74 студента оформлены стажерами и совмещают свое обучение и работу на предприятии.

Таким образом, кадровая политика предприятия направлена на привлечение молодых специалистов через взаимодействие с профильными учебными заведениями, передачу знаний через систему наставничества и развитие собственной системы внутрифирменного обучения в корпоративном учебном центре. Предприятие системно помогает «расти» своим работникам, актуализируя методики подготовки, внедряя новые инструменты, формы обучения.

«ОДК-Сатурн» имеет высокий кадровый потенциал: в 2020 году доля сотрудников с высшим образованием составила 40 %, со средним специальным образованием – 24,7 %. При этом 380 работников предприятия имеют два высших образования, в настоящий момент 35 аспирантов и три докторанта обучаются по очно-заочной форме, работая на предприятии. Научный потенциал предприятия представлен пятью докторами наук и 100 кандидатами наук.

Внутрифирменная многоуровневая система подготовки кадров, действующая на предприятии, предназначена для всех категорий персо-

нала, в том числе для поступающих на работу в качестве учеников. Ежегодно в Учебном центре ПАО «ОДК-Сатурн» проходят обучение более 8 тыс. сотрудников, в том числе по рабочим профессиям – до 3,5 тыс. человек – они получают профессию, повышают свой квалификационный разряд, развивают компетенции на курсах целевого назначения. Минувший 2020 год выявил потребность развития цифровых компетенций сотрудников компании, ускорил переход на систему дистанционного обучения.

Для молодежи Ярославской области, города Рыбинска по-прежнему актуален лозунг «Я выбираю «САТУРН». По статистике в нашей стране только 40 % выпускников российских вузов продолжают работать по полученной специальности и 10 % из них строят успешную карьеру. На «ОДК-Сатурн» цифры более высокие – до 70 %. Молодых специалистов на нашем предприятии привлекают интересная работа, инновационные проекты, возможность проявить себя, получить новые знания, практический навык. И мы, взаимодействуя с учебными заведениями, выстраиваем учебные программы таким образом, чтобы помимо теоретических знаний студенты закрепляли их практически в производственных подразделениях предприятия. Приходя к нам на практику, на работу стажером, выполняя научные работы в интересах «Сатурна», студент выбирает для себя то направление, которое для него наиболее интересно, ту специализацию в профессии, где бы он хотел состояться как профессионал.

Важна в данном случае и про-

форориентационная работа. Уже со школьной скамьи при поддержке специалистов «Сатурна» ребята узнают, что из себя представляет профессия инженера, какие могут быть выбраны специальности для поступления в тот или иной вуз, какие профессии наиболее востребованы.

Конечно, основой кадрового и научного потенциала нашего предприятия являются работники с техническим образованием. Однако, за последние десять лет специфика работы в сфере инженерного дела кардинальным образом изменилась. Помимо традиционных профессий, таких как инженер-технолог, инженер-конструктор, стоит назвать такие направления деятельности, как инженеры по качеству, инженеры-сварщики, материаловеды, инженеры-механики, инженеры по стандартизации, метрологии и сертификации, наноинженеры, робототехники, инженеры по 3D-печати, инженеры-электроники, IT-инженеры. Можно долго перечислять более узкие специальности большого инженерного дела, которое многогранно, ведь, по сути, все окружающие нас предметы – это плоды инженерной мысли.

Мы рассказываем школьникам, что профессия инженера требует наличия обширных профильных знаний, что необходимо получить высшее образование. Эта профессия подойдет для учащихся – будущих абитуриентов, которые из всех школьных предметов уделяют внимание физике и математике, а также увлекаются программированием, немаловажно в современных условиях и знание английского языка.

На популяризации инженерных профессий, на дополнительной подготовке, в первую очередь по предмету «физика», мы совместно с профессорско-преподавательским составом РГАТУ, совместно с городским департаментом образования и учителями Рыбинска и решили

сконцентрировать свое внимание с этого учебного года.

Первый плюс выбора инженерной профессии – это очень интересная работа, которая имеет творческую составляющую, гарантированное трудоустройство, ведь многие студенты начинают работать еще во время обучения в вузе. Динамичный профессиональный и карьерный рост. Нередки случаи, когда уже через 5-7 лет работы молодые профессионалы получают на нашем предприятии должности руководителей.

Продолжая тему студенчества, расскажу о нашей программе целевого обучения в вузах. В настоящее время по целевому договору с ПАО «ОДК-Сатурн» на бюджетной основе по приоритетным для предприятия специальностям проходят обучение 34 человека. Большая часть студентов-целевиков обучается в Рыбинском государственном авиационном техническом университете, а также – в Ярославском государ-



ственном техническом университете, в Самарском национальном исследовательском университете и в Московском авиационном институте. Предприятие гарантирует участие ведущих специалистов предприятия в учебном процессе, обеспечивает проведение всех видов практики в производственных подразделениях предприятия, выплачивает надбавки к стипендиям студентам-целевикам, обучающимся на «хорошо» и «отлично».

В рамках целевого обучения в 2021 году запускается «пилотная группа» РГАТУ по специальности «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» из 25 бюджетных мест по программе «Крылья РОСТЕХА». Для данной группы разработана программа обучения по индивидуальной образовательной траектории, благодаря которой студенты имеют возможность практического вхождения в профессию с первого года обучения. Обучающимся предоставляется возможность получить дополнительное профессиональное образование, участвовать в проектах и научно-исследовательской деятельности будущего работодателя – ПАО «ОДК-Сатурн», доступ к базам и материалам предприятия. В числе преимуществ такого обучения – повышенная стипендия от предприятия, углубленное изучение иностранного языка (с возможностью получения международного сертификата) и современная ИТ-подготовка, получение компетенций в области цифровизации, а также академический обмен с зарубежными университетами, возможность дальнейшего обучения в международной магистратуре.

И самое главное, данным студентам ПАО «ОДК-Сатурн» обеспечивает гарантированное трудоустройство по специальности после получения диплома и интересную работу.

Сегодня с помощью реализации данной программы на всероссийском уровне, в рамках Объединенной двигателестроительной корпорации РОСТЕХА закладывается база кадрового потенциала будущего, основанная на новых реалиях, новациях при сохранении и развитии знаний, достижений предыдущих поколений российских инженеров, конструкторов, технологов.

СОДЕРЖАНИЕ

- 2-3 Приветствие участникам форума
- 4-7 Лучшие практики
- 8-13 Цифровая трансформация производства ОДК
- 14-18 Мысли о «новом» инженере
- 19-23 Функции и организация R&D в компаниях и корпорациях
- 24-29 Газотурбинная трансформация
- 30-31 Методология управления жизненным циклом ГТД на основе концепции «цифрового двойника»
- 32-34 Машинное зрение в техническом контроле как элемент умной фабрики
- 35-38 Как решать задачи бизнеса силами Университета
- 39-40 Влияние цифровой экономики на трансформацию взглядов о свойствах материалов
- 41-42 На инженерных профессиях сконцентрировано особое внимание

Спецвыпуск журнала, посвященный VII Международному технологическому форуму «Инновации. Технологии. Производство». Куратор номера Д. С. Иванов, директор по инновационному развитию ПАО «ОДК-Сатурн»
Издание подготовлено подразделениями, подчиненными директору по связям с общественностью ПАО «ОДК-Сатурн»

Главный редактор: Любовь Калинина
Иллюстрации: Александр Мурин
Фотографии предоставлены ПАО «ОДК-Сатурн»
Дизайн обложки: Кристина Селянкина
Верстка: Екатерина Николаева

Дизайн, верстка и изготовление:
ООО «Арт-холдинг «МЕДИАРОСТ», www.yarkniga.ru
Материалы журнала не могут быть воспроизведены полностью или частично в печатном, электронном или ином виде без письменного разрешения ПАО «ОДК-Сатурн»

152903, г. Рыбинск, пр. Ленина, 163, www.uec-saturn.ru

Утверждено: 24.05.2021 г.



4й ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПЕРЕХОД



НУ НЕ ТАКОЙ УЖ И УЖАС - УЖАС

ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА

ДВИГАТЕЛИ