

Стратегия развития человеческого капитала в ракетно-космической отрасли при внедрении цифровых двойников

© Л.С. Точилов¹, Ю.П. Похабов²

¹ АО «ВПК «НПО машиностроения»,
Московская область, г. Реутов, 143966, Российская Федерация
²АО «НПО ПМ — Малое Конструкторское Бюро»,
Красноярский край, г. Железногорск, 662972, Российская Федерация

Одной из основных проблем в ракетно-космической отрасли является качество человеческого капитала, имеющее важнейшее значение для достижения целеполагающих научно-производственных задач. Это системная проблема, решение которой не сводится к простым рецептам. Для внесения изменений в сложную систему первоначально требуется действие, отвечающее текущим тенденциям, но выводящее ее из устойчивого состояния. Таким действием может стать внедрение технологии цифровых двойников. Разработана стратегия развития человеческого капитала в ракетно-космической отрасли в процессе внедрения технологии цифровых двойников с минимальным риском замедления научно-производственной и экономической деятельности предприятия.

Ключевые слова: *человеческий капитал, ракетно-космическая отрасль, цифровой двойник, стратегия, риск, искусственный интеллект, инженер будущего*

Введение. Вместе с возникновением и развитием технологий, связанных с искусственным интеллектом (ИИ), становятся неизбежными вопросы о состоянии и дальнейшей эволюции человеческого капитала в ближайшей перспективе [1]. Человеческий капитал является одним из ресурсов, который используют в производстве как условие, названное К. Марксом «самовозрастанием» стоимости [2]. Такой ресурс не появляется сам по себе, вследствие стихийного найма рабочей силы на рынке труда. Человеческий капитал инженера формируется как результат полученного качественного инженерного образования (в общеобразовательной и высшей школе), принадлежности к инженерной школе на определенном производстве (приобретение на рабочем месте специальных знаний) и применения действенного инструментария в работе (набора инструментов и методик для принятия и обоснования инженерно-технологических решений и действий) [3]. Очевидно, что с использованием ИИ меняется характер интеллектуального труда и требования к нему и, как следствие, должна быть разработана новая концепция формирования человеческого капитала как совокупности обновленных знаний, умений и навыков для дальнейшего развития общества. С одной стороны, развитие ИИ способно привести нас к неуклонному и стремительному развитию человечества, но,

с другой стороны, грозит высвобождением работников среднего уровня компетентности (неконкурентных в условиях развития ИИ) от интеллектуального труда, от мыслительного процесса, познания, любознательности [4].

Основной ошибкой при анализе человеческого капитала, на наш взгляд, является отсутствие учета категорий работников, рассмотрение их как усредненной массы. Учет и градация категорий работников при развитии технологий ИИ имеет важное научно-практическое значение в крупных трудовых коллективах ракетно-космической отрасли (РКО), создающих сложные образцы новейшей высокоответственной техники.

Определение групп — носителей человеческого капитала. Для крупных высокотехнологичных предприятий основную ценность представляют две достаточно небольшие группы работников высокого уровня компетентности в профессиональной среде интеграторов, объединяющих конструкторов, расчетчиков и программистов и управляющих их действиями [5, 6].

Первая группа — это интеграторы (*I*), обеспечивающие совместимость, обмен данными и координацию действий участников производственного процесса, которые понимают организационные тонкости и физические основы процессов, подпроцессов, подподпроцессов и т. п., процедур и функций, необходимых для создания сложной техники [7]. Их знания, опыт, компетентность и здравый смысл дают возможность находить компромиссные и грамотные решения в своей и смежных профессиональных областях. Помимо аналитических качеств, позволяющих выявлять «узкие» места, они должны создать и использовать систему мотиваций для их устранения.

Вторая группа — это специалисты (*C*), которые обладают необходимым профессиональным уровнем, позволяющим доводить принятые специалистами первой группы (*I*) решения до практического результата. Без их участия результаты производственных процессов будут заведомо более низкого качества.

Остальных работников также можно разделить на две группы: обучаемые (*O*) для вхождения в группу специалистов (*C*) и другие (*D*), которые, согласно закону Парето, составляют 80 % общей численности работников и выполняют 20 % общей работы, как правило, рутинной или не требующей высокой квалификации и высокого качества.

Общий анализ человеческого капитала без деления работников на указанные группы может привести к диаметрально противоположным выводам. Например, желание специалиста, не обладающего достаточными знаниями и опытом, заявить о себе, применив какой-либо метод расчета, отличающийся от нормативного, как правило, способно навредить производственному процессу. При этом интересно отметить,

что подготовка молодых специалистов в вузах нацеливает их именно на то, чтобы они предлагали новое, не особо беспокоясь о качественном выполнении рутинных заданий и последствиях своего творчества [8]. На практике часто это творчество оказывается далеко не новым и не подходящим для решаемых задач. На проверку этого решения опытные специалисты в прошлом уже потратили силы и время, что, с одной стороны, было не напрасно, а с другой — не исключает повторения ошибок их менее квалифицированными коллегами. Однако это не означает, что в производственный процесс не должны внедряться новации. Конечно, должны, но на соответствующем профессиональном уровне, с учетом особенностей интеграции в производственный процесс. Таким образом, получается, что от одной группы специалистов, крайне осторожно относящихся к новациям, можно ждать полезных нововведений, а другой группе для этого не хватает практических знаний и опыта, которые нарабатываются годами при желании, наличии способностей и при правильной организации работы с молодыми специалистами в подразделениях предприятия.

Безусловно, ни один руководитель не скажет, что работа с кадрами у него в подразделении ведется неправильно. Понимая, что раз уж вузы (как они утверждают, с целью повышения собственной самооценки) выпускают «творческую элиту», предприятие, принимая выпускников вузов на работу, продолжает эту традицию и анонсирует «творческую элиту» как «инженеров будущего», «без права на ошибку» [9]. Однако проводимая предприятием авансовая поддержка сотрудников [10] перестает коррелировать с ожидаемой результативностью. Следствием этого является прямо противоположный результат: у «инженеров настоящего» или, лучше сказать, настоящих инженеров пропадает мотивация передавать знания «инженерам будущего», а у «инженеров будущего» — желание узнавать новое. Как следствие, циклу создания и накопления знаний — важнейшему ресурсу предприятия [11], — наносится серьезный ущерб, страдает стратегия развития предприятия, снижается эффективность выполняемых им работ [12].

В связи с этим реальная (соответствующая фактическому положению дел), а не официальная (соответствующая штатному расписанию) идентификация этих групп крайне важна, но это непростая задача. Чем больше реальная идентификация расходится с официальной, тем менее эффективнее производственные процессы. Например, компетентный специалист может быть наставником интегратора *И*, не справляющегося со своей работой [13], но отсутствие официального статуса снизит эффективность усилий такого наставника. Однако что делать, если другого варианта нет? Подобная ситуация обнаруживается, когда в силу политики обновления кадрового состава проводится замена интегратора *И* на работника *С*, *О* или *Д*, не обладающего требуемыми компетенциями,

либо когда опытный интегратор имеет компетенции только в части технических средств, но не обладает требуемыми теоретическими знаниями и современными навыками программного обеспечения.

Обсудив важность правильного разделения групп и его официального закрепления, отметим, что это сложный, но необходимый и управляемый процесс [14]. Альтернативой ему является естественный (стихийный и неуправляемый) процесс, в результате которого часто в выигрыше оказывается группа *Д*, обладающая большими возможностями проявлять активность в любых сферах, где не требуется тяжелой вдумчивой работы, что не способствует проектированию надежной отечественной ракетно-космической техники (РКТ) в изменяющихся условиях [15].

Очевидно, что развитие человеческого капитала предприятия осуществляется группами *И* и *С*. В идеале поставщиком кадров в группу *И* является группа *С*, которая, в свою очередь, получает кадры из группы *О*. Несмотря на многочисленность группы *Д*, рассматривать ее имело бы смысл с точки зрения влияния (как правило, негативного) на развитие человеческого капитала, но для простоты примем это влияние за константу несмотря на его тенденцию к росту.

Изменение человеческого капитала во времени. Развитие человеческого капитала в РКО определяется множеством факторов. Одним из важнейших в современной действительности является фактор информационных технологий (ИТ). Связанная с развитием ИТ тенденция привела сначала к созданию компьютерных (численных) моделей (КМ) — набора компьютерных программ, имитирующих реальные системы с помощью абстрактных моделей для проведения исследований в виде численных решений, затем к цифровым моделям (ЦМ) и, наконец, к цифровым двойникам (ЦД) — представлению реальных объектов с помощью компьютерных и математических моделей, дающих правдоподобный результат при исследованиях в виде численных решений [16, 17]. Как отмечается в [18], тенденция перехода на технологию ЦД для предприятия-разработчика РКО носит не экономический, а экзистенциальный характер, изменяющий смысл производственной деятельности. В этом процессе человеческий капитал предприятия претерпит ряд серьезных трансформаций.

Этап разработки РКТ до использования вычислительной техники характеризовался высокими требованиями к компетентности основных групп разработчиков (*И* и *С*), в обязанности которых входило не только создание полного математического описания изделия РКТ, но и умение оперативно подтверждать (верифицировать) адекватность использования математических моделей (ММ). Для этого разработчики должны были обладать солидным бэкграундом (BG) — образованием, интеллектуальным уровнем, квалификацией, квалифицированностью, опытом и т. д.

Таким образом, на первом этапе развития РКТ человеческий капитал невольно объединял ММ — явные (формально представленные) знания (З) и ВГ — неявные знания, носителем которых является человек. Очевидно, что объем ВГ превышал объем знаний в области ММ и вместе явные и неявные знания росли со временем (T) в процессе создания новых образцов РКТ. Данный этап на рис. 1 обозначен как этап I.

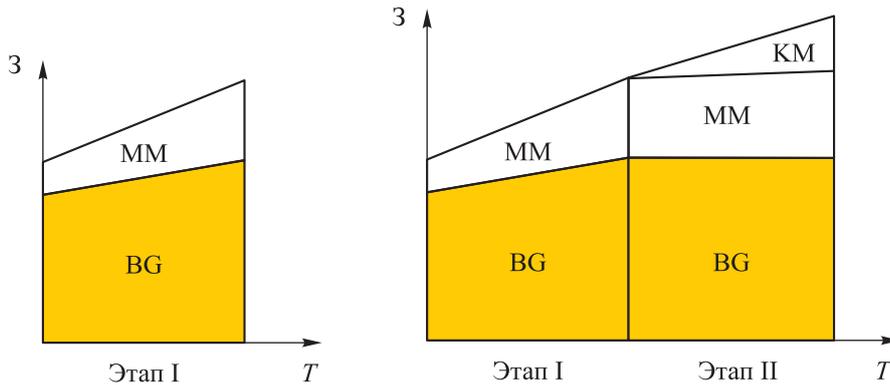


Рис. 1. Развитие знаний в процессе создания новых образцов РКТ

Рис. 2. Развитие компьютерных моделей (от этапа I к этапу II создания новых образцов РКТ)

На начальном этапе развития ИТ вычислительная техника на основе мейнфреймов (БЭСМ, ЕС ЭВМ и др.) позволила разработчикам приступить к созданию компьютерных моделей. На этом этапе (на рис. 2 обозначен как этап II) развитие явных знаний сосредоточилось преимущественно на КМ, которые разрабатываются на основе существующих ММ и ВГ.

Появление персональных компьютеров в РКО расширило возможности создания КМ, однако перестройка и последовавший за ней системный кризис нанесли значительный урон человеческому капиталу предприятий РКО. Данный этап обозначим как этап III (рис. 3).

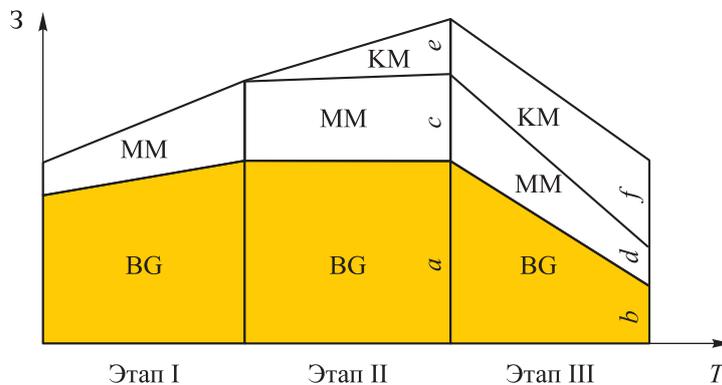


Рис. 3. Системный кризис в РКО (этап III создания новых моделей РКТ)

Падение уровня неявных знаний (BG) ($b < a$) привело к утрате явных знаний в части ММ ($d < c$). Что касается КМ, то переход с больших ЭВМ на персональные компьютеры несколько повысил производительность разработки ($f > e$): сотрудникам не надо было готовить исходные данные для расчета на перфокартах, тратить время на перемещение в машинный зал для больших ЭВМ, а потом возвращаться на рабочее место с распечатками (см. рис. 3).

Однако затраты времени, связанные с процессами взаимодействия специалистов разных групп, в целом оставались прежними. Главная причина, по которой на Западе внедрение ИТ сокращало время и повышало качество разработки РКТ, так и не была однозначно определена, а без этого предпринимаемые действия по исправлению положения могут быть ошибочными.

Основная причина сокращения времени на изготовление и повышение качества изделий РКО, скорее всего, кроется в интеграции процессов разработки (PDM — Product Data Management) и управления (ERP — Enterprise Resource Planning) с помощью ИТ. При этом важны не только сами ИТ, практически полностью автоматизированные процессы, но и новый тип интеграторов (группа И), которые понимают новые стандарты, процессы и управление ими, а также специалисты (группа С), работающие в компьютерной среде как единая команда.

Фактически производственные процессы [19] и основной человеческий капитал предприятия [20] должны кардинально измениться. Необходимо также постоянное управление этими изменениями, которые будут только увеличиваться, а риск ошибок на этом пути — возрастать. Например, закуплено дорогое оборудование и программное обеспечение (ПО) для интеграции разработчиков, а ключевые специалисты говорят, что оно не подходит для задач, которые они решают. Перенос сложного проекта, разрабатываемого годами, в новую среду — объективно рискованная задача. Надо иметь в виду и субъективный фактор, состоящий в том, что в атомарной организации работ специалисты видят большую защищенность их интеллектуальной собственности. Для интеграторов же старого типа внедрение чего бы то ни было, пусть даже и PDM, не подразумевает погружения в организацию процессов. Между тем риск, что платформа PDM будет использоваться разработчиками атомарно (хотя он и не рассматривается), крайне велик.

Минимизация рисков предприятия при использовании цифровых двойников. Развитие ИТ на предприятии должно быть синхронизировано с развитием человеческого капитала. В противном случае дорогостоящее оборудование и программное обеспечение будут использоваться подобно персональным компьютерам, которые когда-то заменили разработчикам логарифмические линейки, не изменив сам процесс разработки (ускорился счет, но возросли потери из-за рассинхронизации общих процессов).

Как оказалось, новые средства ИТ, нацеленные на повышение эффективности процесса разработки благодаря автоматизированной интеграции работ, могут использоваться без возможности интеграции. Между тем курс на дальнейшее повышение эффективности путем развития интеграции привел к разработке цифровых двойников изделий РКТ. Соответственно повысились требования к интеграторам, специалистам и программистам [21].

Внедрение ЦД становится необходимым для преодоления минимально допустимого уровня знаний (m) при разработке РКТ, но требуется повысить ВГ ($i > b$). Кроме того, придется создавать новые ММ ($g > d$), объем традиционных КМ будет постепенно заменяться ($f > h$) цифровыми двойниками (участок $h + k$) (рис. 4).

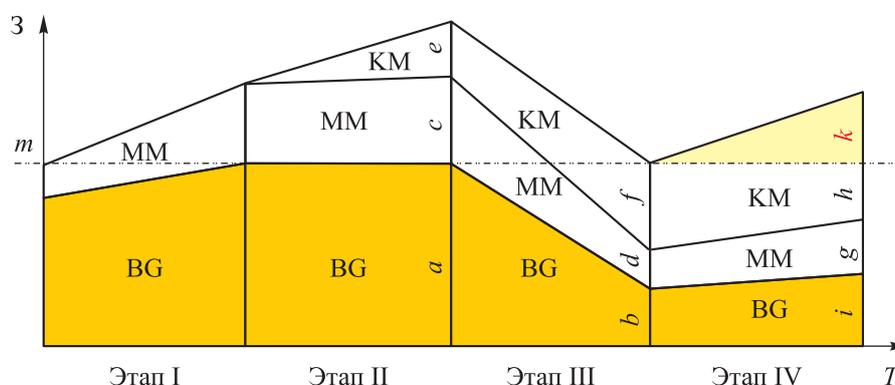


Рис. 4. Появление цифровых двойников (этап IV создания новых образцов РКТ)

При внедрении технологии ЦД предприятие должно разработать стратегию, позволяющую минимизировать риски, связанные с получением в итоге некачественного результата выполнения проекта вплоть до неприемлемого. При этом необходимо учитывать следующие угрозы:

- 1) недостаточность знаний и практического опыта в области ЦД как у предприятия, так и у российских разработчиков программного обеспечения для ЦД;
- 2) недостаточность функционала ПО от российских разработчиков для ЦД;
- 3) изменения в организации работ и создании компьютерных моделей;
- 4) необходимость выполнения предприятием текущих плановых работ в полном объеме.

Для парирования этих угроз потребуются соответственно:

- 1) согласованная совместная работа специалистов предприятия и российских разработчиков ПО для ЦД с обменом знаниями и приобретением новых в процессе работы;

2) доработка ПО для ЦД российскими разработчиками под требования предприятия;

3) создание новых производственных процессов, интегрированных в технологию ЦД;

4) подключение к работе по ЦД дополнительного ресурса.

С учетом этих мер наименее рискованным представляется следующий порядок действий:

- формирование предприятием команды управления внедрением из программистов, расчетчиков и конструкторов, которые помимо компетенций в предметной области имеют практический опыт интеграции процессов, а также работы в интегрированных ИТ-системах;

- привлечение российских разработчиков ПО для ЦД, формирование команды внедрения от разработчиков;

- вместо закупки ПО для ЦД у российских разработчиков — применение сервисного подхода, используемого в ИТ [22] для предоставления необходимых для ЦД ИТ-сервисов по аутсорсингу, включая активное обучение персонала;

- привлечение работников предприятия из группы *O* в группу внедрения от предприятия и активного обучения технологиям ЦД;

- переход группы внедрения от предприятия к работе с технологией ЦД под управлением команды управления внедрением и с поддержкой со стороны группы внедрения от российских разработчиков.

Преимущества данной стратегии:

1) группы *I* и *C* продолжают обеспечивать работу предприятия;

2) группе *O*, как правило, это молодые специалисты, способные к обучению, или наиболее способной ее части дается реальная возможность освоения и использования прорывной технологии ЦД;

3) российские разработчики ПО для ЦД получают возможность не только испытывать свои разработки на практике, но и дорабатывать их исходя из реальных потребностей заказчика;

4) в случае неудачи российских разработчиков ПО для ЦД предприятие теряет только деньги, которые в зависимости от условий договора могут быть не столь большими. Однако даже эти потери компенсируются знаниями и опытом внедрения ЦД, полученными группой управления внедрением и группой внедрения от предприятия;

5) полученный предприятием опыт может быть использован для совершенствования работы группы *C* с помощью технологии ЦД, что обеспечит лучшую интеграцию компьютерных моделей, исключит дублирование и т. п.

Активное обучение персонала. В настоящее время основной формой обучения молодых специалистов является наставничество (согласно статье 351.8 Трудового кодекса Российской Федерации). Очевидной особенностью этой формы, заимствованной из системы

образования, является ее односторонность. С одной стороны — наставник (учитель), с другой — молодой специалист (ученик). Такая система проста в управлении, но, как правило, малоэффективна. Эффективность системы снижается с нарастанием в ней противоречий. Если эти противоречия не разрешаются, то система либо умирает, либо существует лишь формально.

Основное противоречие системы наставничества состоит в том, что если наставник — незаменимый специалист (вариант несостоявшегося специалиста в роли наставника не имеет смысла рассматривать), то он не заинтересован в передаче своего опыта молодому специалисту, так как в результате этой передачи наставник становится заменимым, теряет привилегии, а возможно, и работу. В то же время, выполнять работу и за себя, и за молодого специалиста наставнику тоже не хочется. Возникает компромиссное решение: передать молодому специалисту рутинную часть работы, если удастся. Однако это решение порождает другое противоречие: молодой специалист не будет доволен такой перспективой, а наставник получит слишком мало пользы для себя от присутствия молодого специалиста (рутина иногда является отдыхом от напряженной интеллектуальной работы, и, отказываясь от нее, наставник может испытывать дискомфорт).

Можно попытаться списать эти противоречия на человеческий фактор, но беда в том, что и теоретическая модель идеального наставника и его ученика не может избежать противоречия. Предположим, наставник передал весь свой опыт молодому специалисту, а тот его освоил, т. е. стал молодой копией наставника. Допустим, что копия не хуже оригинала в плане знаний, хотя это очень сильное допущение. Что в итоге даст такое «клонирование»? Иллюзию стабильности, чтобы все оставалось, как есть. И как долго она продлится?

В стабильных условиях эти противоречия стараются не замечать, а случаи, реальные или (чаще) вымышленные, когда наставник воспитал талантливого специалиста, использовать как доказательство эффективности системы наставничества.

Альтернативный шанс появляется в период инновационных преобразований. Применим метод «из центра — вверх — вниз» [11] к обучению профессии. Назовем его «активное обучение». Суть его состоит в следующем:

1) ставим перед группой *O* молодых специалистов задачу, связанную с внедрением технологии ЦД. Это разводит по разным сферам деятельности молодых и опытных специалистов. Разрешается проблема амбиций молодых специалистов и опасений опытных специалистов;

2) привлекаем группу *P* — российских разработчиков программного обеспечения ЦД для внедрения данной технологии с активным обучением группы *O* молодых специалистов технологии ЦД;

3) привлекаем группу *С* опытных специалистов для постановки задач и выработки требований к технологии ЦД с передачей группе *О* для реализации с помощью группы *Р*.

Таким образом, группа *О* получает знания с двух сторон: от групп *Р* и *С* аналогично методу «из центра — вверх — вниз» [11]. Противоречия, мешающие работе, сняты. Поскольку группе *О* для получения требуемого результата необходимо проявлять самостоятельность и инициативность, это позволяет считать такое обучение активным.

Крайне важной является и возможность объективной оценки результата внедрения технологии ЦД. Проект как результат коллективного труда либо получит признание, либо нет. В любом случае это будет новый ценный опыт для молодых специалистов, несколько отличающийся от полученного в вузе, где диплом делается индивидуально, и поскольку от дипломной работы требуются новизна и результат, источники знаний порой «забываются», а результаты «подгоняются».

Можно предположить, что с внедрением технологии ЦД и готовностью группы *О* их применять пропадет необходимость в группе *С*. Однако в случае удачного выполнения проекта группа *С* вряд ли окажется в проигрыше. Часть этой группы, участвующая в управлении внедрением, может перейти в группу *И*, а другая, хотя и останется в группе *С*, перейдет на более современную технологию разработки без риска неудачи, который берут на себя группы *О* и *Р*.

Заключение. Развитие человеческого капитала в РКО является жизненно необходимой задачей. Рассмотрены два компонента человеческого капитала — знания явные и неявные, относящиеся к разработкам изделий ракетно-космической техники. Определены основные группы специалистов, обеспечивающие процесс разработки. Обоснована причина низкой эффективности разработки при использовании современных ИТ. Выявлены факторы, препятствующие ее устранению. Предложена стратегия развития человеческого капитала в процессе внедрения ЦД с минимальным риском для предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Малькова Л. Как искусственный интеллект изменит нашу жизнь через 30–50 лет. *РБК Трендов*. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/futurology/64ae65039a79475415aed9b1> (дата обращения: 19.08.2025).
- [2] Маркс К. *Капитал*. Москва, Госполитиздат, 1952, т. 1, 794 с.
- [3] Похабов Ю.П. Некоторые выводы, сделанные по результатам применения конструкторско-технологического анализа надежности для изделий ракетно-космического назначения. Часть 3. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2024, вып. 4. DOI: 10.18698/2308-6033-2024-4-2352
- [4] Матвиенко А. Праздник освобожденного труда. *Культура*. 06.08.2025. URL: <https://portal-kultura.ru/articles/person/372502-prazdnik-osvobozhdenного-truda/> (дата обращения: 06.08.2025).

- [5] Пиралова О.Ф. *Система диагностики компетентности инженерных кадров (авторская разработка)*. Москва, Академия Естествознания, 2010, 59 с.
- [6] Герасименок М. Матрица инженерных компетенций: шесть причин, по которым она необходима компаниям. *Rubrain.com* 28.01.2025. URL: <https://blog.rubrain.com/engineering-competency-matrix-six-reasons-companies-need-it.html> (дата обращения: 19.08.2025).
- [7] Точиллов Л.С. Вопросы управления знаниями об изделии на предприятиях ракетно-космической отрасли. *Информационные технологии в проектировании и производстве*, 2012, № 1, с. 25–31.
- [8] Точиллов Л.С. Инженерное образование: интерес, знания, самостоятельность, творчество и ответственность. *Третья Междунар. науч.-техн. конф. «Аэро-космические технологии», посвященная 100-летию со дня рождения академика В.Н. Челомея, Реутов–Москва, 20–21 мая 2014 г.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014, с. 208–209.
- [9] Герасимова Г.А. В космической отрасли у молодого специалиста нет права на ошибку. *Вестник Бауманского университета «Инженер»*, сентябрь–октябрь, 2012, с. 14–17.
- [10] Точиллов Л.С. Социальный «аванс» для молодых специалистов. *Аккредитация в образовании*, 2011, № 3, с. 38–40.
- [11] Нонака И., Такеучи Х. *Компания — создатель знания: Зарождение и развитие инноваций в японских фирмах*. Москва, ЗАО «Олимп-Бизнес», 2011, 384 с.
- [12] Точиллов Л.С. Методология формирования высокоэффективных команд в космической отрасли. *Точно в цель*, 2019, № 2 (018), с. 30–34.
- [13] Точиллов Л.С. Обмен знаниями и наставничество. *XLV Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства: сборник тезисов. В 4 томах*. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021, т. 4, с. 381–382.
- [14] Tochilov L.S., Tochilova O.L., Mayorova V.I. System analysis of the business process of attracting, selecting and involving in the teamwork of young specialists in the space industry. *AIP Conference Proceedings*, 2019, vol. 2171 XLIII Academic Space Conference, pp. 140004-1–140004-6.
- [15] Похабов Ю.П., Точиллов Л.С. Пути проектирования надежной отечественной ракетно-космической техники в изменяющихся условиях. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2022, вып. 6. DOI: 10.18698/2308-6033-2022-6-2184
- [16] *Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности. Экспертно-аналитический доклад* (подготовлен Инфраструктурным центром по развитию направления «Технет» НТИ в партнерстве с Центром компетенций НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии»). Москва, Технет, 2019, 58 с. URL: <https://technet-nti.ru/article/ekspertno-analiticheskij-doklad-cifrovye-dvojniki-v-vysokotehnologichnoj-promyshlennosti> (дата обращения: 09.08.2025).
- [17] Боровков А.И., Рябов Ю.А., Кукушкин К.В. и др. Цифровые двойники и цифровая трансформация предприятий ОПК. *Оборонная техника*, 2018, № 1, с. 6–33.
- [18] Точиллов Л.С., Точилова О.Л. Концепция цифрового двойника и разработка летательных аппаратов. *XLIX Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С. П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства*.

- (Москва, 28–31 января 2025 года): сборник тезисов. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025, 562 с.
- [19] Хаммер М., Чампи Дж. *Реинжиниринг корпорации: Манифест революции в бизнесе*. Пер. с англ. Санкт-Петербург, Изд-во С.-Петербургского университета, 1997, 332 с.
- [20] *Знакомство с SAP Human Capital Management (HCM)*. URL: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.ed4200fc-68a438fe-9c0c125e-74722d776562/https/www.geeksforgeeks.org/business-studies/introduction-to-sap-human-capital-management-hcm/ (последнее обновление: 23 июля 2025 г.).
- [21] Точиллов Л.С., Точилова О.Л., Долголенко А.В., Майорова В.И. Вопросы управления критически важными знаниями при разработке программного обеспечения космических аппаратов. *Труды секции 22 имени академика В.Н. Челомея XLIV Академических чтений по космонавтике*. Вып. 8. Реутов, АО «ВПК «НПО машиностроения», 2020, с. 145–152.
- [22] Van Bon J., Kemmerling G., Pondman D. *IT Service Management: An Introduction*. ItSMF-Canada, 2002.

Статья поступила в редакцию 01.09.2025

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Точиллов Л.С., Похабов Ю.П. Стратегия развития человеческого капитала в ракетно-космической отрасли при внедрении цифровых двойников. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2025, вып. 11. EDN HWQTJD

Точиллов Леонид Сергеевич — канд. физ.-мат. наук, ученый секретарь НТС — начальник подразделения, АО «ВПК «НПО машиностроения».
e-mail: tochilov@vpk.promash.ru

Похабов Юрий Павлович — канд. техн. наук, начальник центра научно-технических разработок АО «НПО ПМ — Малое Конструкторское Бюро» (АО «НПО ПМ МКБ»). e-mail: pokhabov_yury@mail.ru

Strategy for the development of human capital in the rocket and space industry when introducing digital twins

© L.S. Tochilov¹, Yu.P. Pokhabov²

¹JSC MIC “NPO Mashinostroyenia”
Reutov, Moscow Region, 143966, Russian Federation

²JSC “NPO PM — Small Design Bureau”,
Zheleznogorsk, Krasnoyarsk Territory, 662972, Russian Federation

One of the main problems in the missile and space industry is the quality of human capital, which is essential for achieving the goal of research and production objectives. This is a systemic problem, and the solution is not limited to simple recipes. Making changes to a complex system requires an initial action that responds to current trends, but is not sustainable. The introduction of digital twins technology can become this action. The paper presents a strategy for the development of human capital in the rocket and space industry when implementing digital twins technology with minimal risk of slowing research, production, and economic activity of the enterprise.

Keywords: *human capital, rocket and space industry, digital twin, strategy, risk, artificial intelligence, engineer of the future*

REFERENCES

- [1] Malkova L. Kak iskusstvennyy intellekt izmenit nashu zhizn cherez 30–50 let [How artificial intelligence will change our lives in 30–50 years]. *RBC Trends*. Available at: <https://trends.rbc.ru/trends/futurology/64ae65039a79475415aed9b1> (accessed August 19, 2025).
- [2] Marx K. *Kapital* [Capital]. Moscow, Gospolitizdat, 1952, vol. 1, 794 p. (In Russ.)
- [3] Pokhabov Yu.P. Nekotorye vyvody, sdelannye po rezultatam primeneniya konstruktorsko-tehnologicheskogo analiza nadezhnosti dlya izdeliy raketno-kosmicheskogo naznacheniya. Chast 3 [Certain conclusions on the results of introducing the design and technological reliability analysis in rocket and space technology. Part 3]. *Inzhenerny zhurnal: nauka i innovatsii — Engineering Journal: Science and Innovation*, 2024, iss. 4. DOI: 10.18698/2308-6033-2024-4-2352
- [4] Matvienko A. Prazdnik osvobodhdennogo truda [Holiday of Liberated Labor]. *Kultura*. 06.08.2025. Available at: <https://portal-kultura.ru/articles/person/372502-prazdnik-osvobodhdennogo-truda/> (accessed August 6, 2025).
- [5] Piralova O.F. *Sistema diagnostiki kompetentnosti inzhenernykh kadrov (avtorskaya razrabotka)* [System for Diagnostics of Engineering Personnel Competence (original development)]. Moscow, RAE Publ., 2010, 59 p.
- [6] Gerasimenok M. Matritsa inzhenernykh kompetentsiy: shest prichin, po kotorym ona neobkhodima kompaniyam [Engineering Competency Matrix: six reasons why companies need it]. *Rubrain.com* 28.01.2025. Available at: <https://blog.rubrain.com/engineering-competency-matrix-six-reasons-companies-need-it.html> (accessed August 19, 2025).
- [7] Tochilov L.S. Voprosy upravleniya znaniyami ob izdelii na predpriyatiyakh raketno-kosmicheskoy otrasli [Issues of product knowledge management in the rocket and space industry]. *Informatsionnyye tekhnologii v proyektirovanii i proizvodstve* (Information Technologies in Design and Manufacturing), 2012, no. 1, pp. 25–31.

- [8] Tochilov L.S. Inzhenernoe obrazovanie: interes, znaniya, samostoyatel'nost, tvorchestvo i otvetstvennost [Engineering education: interest, knowledge, independence, creativity and responsibility]. *Tret'ya Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. "Aerokosmicheskiye tekhnologii", posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya akademika V.N. Chelomeya, Reutov–Moskva, 20–21 maya 2014* [The Third International Scientific and Technical Conference "Aerospace Technologies" dedicated to the 100th anniversary of the birth of Academician V.N. Chelomey, Reutov–Moscow, May 20–21, 2014]. Moscow, BMSTU Publ., 2014, pp. 208–209.
- [9] Gerasimova G.A. V kosmicheskoy otrasli u molodogo spetsialista net prava na oshibku [In the space industry, a young specialist has no room for error]. *Vestnik Baumanskogo universiteta "Inzhener"* (Bauman University Bulletin "Engineer"), September–October, 2012, pp. 14–17.
- [10] Tochilov L.S. Sotsialnyy «avans» dlya molodykh spetsialistov [Social "advance" for young professionals]. *Akkreditatsiya v obrazovanii* (Accreditation in Education), 2011, no. 3, pp. 38–40.
- [11] Nonaka I., Takeuchi H. *The Knowledge-Creating Company: How Japanese companies create the dynamics of innovation*. New York, Oxford, Oxford University Press, 1995, 304 p. [in Russ.: Nonaka I., Takeuchi H. *Kompaniya — sozdatel znaniya. Zarozhdeniye i razvitiye innovatsiy v yaponskikh firmakh*. Moscow, Olimp-Biznes Publ., 2011, 384 p.].
- [12] Tochilov L.S. Metodologiya formirovaniya vysokoeffektivnykh komand v kosmicheskoy otrasli [Methodology for Building High-Performance Teams in the Space Industry]. *Tochno v tsel* (Right on Target), 2019, no. 2 (018), pp. 30–34.
- [13] Tochilov L.S. Obmen znaniyami i nastavnichestvo [Knowledge sharing and mentoring]. In: *XLV Akademicheskiye chteniya po kosmonavtike, posvyashchennyye pamyati akademika S.P. Koroleva i drugikh vydayushchikhsya otechestvennykh uchenykh — pionerov osvoyeniya kosmicheskogo prostranstva: sbornik tezisov*. [XLV Academic Readings on Cosmonautics, dedicated to the memory of Academician S.P. Korolev and other outstanding Russian scientists – pioneers of space exploration: collection of abstracts]. In 4 vols. Moscow, BMSTU-Press, 2021, vol. 4, pp. 381–382.
- [14] Tochilov L.S., Tochilova O.L., Mayorova V.I. System analysis of the business process of attracting, selecting and involving in the teamwork of young specialists in the space industry. *AIP Conference Proceedings*, 2019, vol. 2171 XLIII Academic Space Conference, pp. 140004-1–140004-6.
- [15] Pokhabov Yu.P., Tochilov L.S. Puti proyektirovaniya nadezhnoy otechestvennoy raketno-kosmicheskoy tekhniki v izmenyayushchikhsya usloviyakh [Approaches to designing reliable domestic rocket and space equipment under changing conditions]. *Inzhenerny zhurnal: nauka i innovatsii — Engineering Journal: Science and Innovation*, 2022, iss. 6. DOI: 10.18698/2308-6033-2022-6-2184
- [16] *Tsifrovyye dvoyniki v vysokotekhnologichnoy promyshlennosti. Ekspertno-analiticheskiy doklad (podgotovlen Infrastrukturnym tsentrom po razvitiyu napravleniya «Tekhnet» NTI v partnerstve s Tsentrom kompetentsiy NTI SPbPU «Novyye proizvodstvennyye tekhnologii»)* [Digital Twins in the High-Tech Industry. An Expert Analytical Report (prepared by the NTI Infrastructure Center for the Development of the TechNet Direction in partnership with the SPbPU NTI Competence Center for New Production Technologies)]. Moscow, TekhNet Publ., 2019, 58 p. Available at: <https://technet-nti.ru/article/ekspertno-analiticheskiy-doklad-cifrovyye-dvoyniki-v-vysokotekhnologichnoy-promyshlennosti> (accessed August 19, 2025).

- [17] Borovkov A.I., Ryabov Yu.A., Kukushkin K.V., Maruseva V.M., Kulemin V.Yu. Tsifrovyye dvoyniki i tsifrovaya transformatsiya predpriyatiy OPK [Digital twins and digital transformation of defense industry enterprises]. *Oboronnaya tekhnika* (Defence technology), 2018, no. 1, pp. 6–33.
- [18] Tochilov L.S., Tochilova O.L. Kontseptsiya tsifrovogo dvoynika i razrabotka letatelnykh apparatov [The concept of a digital twin and the development of aircraft]. In: *XLIX Akademicheskkiye chteniya po kosmonavtike, posvyashchennyye pamyati akademika S.P. Korolova i drugikh vydayushchikhsya otechestvennykh uchenykh — pionerov osvoyeniya kosmicheskogo prostranstva (Moskva, 28–31 yanvarya 2025 goda): sbornik tezisov* [XLIX Academic Readings on Cosmonautics, dedicated to the memory of Academician S.P. Korolev and other outstanding Russian scientists – pioneers of space exploration (Moscow, January 28–31, 2025): collection of abstracts]. Moscow, BMSTU-Press, 2025, 562 p.
- [19] Hammer M., Champy J. *Reengineering the Corporation: A manifesto for Business Revolution* [in Russ.: Hammer M., Champy J. Reinzhiniring korporatsii: Manifest revolyutsii v biznese. St. Petersburg, St. Petersburg State University Publ., 1997, 332 p.].
- [20] *Znakomstvo s SAP Human Capital Management (HCM)*. Available at: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.ed4200fc-68a438fe-9c0c125e-74722d776562/https/www.geeksforgeeks.org/business-studies/introduction-to-sap-human-capital-management-hcm/ (last updated July 23, 2025).
- [21] Tochilov L.S., Tochilova O.L., Dolgolenko A.V., Mayorova V.I. Voprosy upravleniya kriticheskimi vazhnymi znaniyami pri razrabotke programmnoy obespecheniya kosmicheskikh apparatov [Issues of critical knowledge management in spacecraft software development]. In: *Trudy seksii 22 imeni akademika V.N. Chelomeya XLIV Akademicheskikh chte-niy po kosmonavtike* [Proceedings of Section 22 named after Academician V.N. Chelomey of the 44th Academic Readings on Cosmonautics]. Iss. 8. Reutov, MIC “NPO Mashinostroyeniya”, 2020, pp. 145–152.
- [22] Van Bon J., Kemmerling G., Pondman D. *IT Service Management: An Introduction*. ItSMF-Canada, 2002.

Tochilov L.S., Cand. Sc. (Phys.-Math.), Scientific Secretary, Head of Department, JSC MIC “NPO Mashinostroyeniya”. e-mail: tochilov@vpk.npomash.ru

Pokhabov Yu.P., Cand. Sc. (Eng.), JSC “NPO PM — Small Design Bureau”, Head of Scientific and Technical Development Centre. e-mail: pokhabov_yury@mail.ru