



АВИАЦИЯЛЫҚ ТЕХНИКА ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯ
АВИАЦИОННАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ
AVIATION EQUIPMENT AND TECHNOLOGY

DOI 10.51885/1561-4212_2023_1_220

MPHTI 50.01.85

**Б. Тойганбаев¹, К. Кошеков², К. Алибеккызы³, Ж.К. Азаматова⁴, М.Е. Баталова⁵,
Ж.Е. Ерсайнова⁶**

Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск, Казахстан

¹E-mail: Toiganbayev.b@gmail.com

²E-mail kkoshekov@mail.ru

³E-mail: Karlygash.eleusizova@mail.ru*

⁴E-mail: zhanerkeaz@mail.ru

⁵E-mail: esimkhan_kizi.m@mail.ru

⁶E-mail: Zhansaya.ersayynova@mail.ru

**ОЦЕНКА РИСКОВ КОНТРОЛЯ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ
ӘУЕ ҚҰРАЛДАРЫН БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНДЕГІ БАҚЫЛАУ ЖӘНЕ
ШЕШІМДЕР ҚАБЫЛДАУ ТӘУЕКЕЛДЕРІН БАҒАЛАУ
RISK ASSESSMENT OF CONTROL AND DECISION-MAKING
IN THE AIRCRAFT CONTROL SYSTEM**

Аннотация. В статье поставлена цель разработки методики количественного оценивания рисков контроля и принятия решений в системе управления сложными объектами на примере летательных аппаратов. В качестве летательных аппаратов рассматриваются пилотируемые и беспилотные средства. Риск представляется как сложное многофакторное качественное явление, имеющее стохастическую природу. Для количественного оценивания рисков предлагаются формальные математические и имитационные модели. Процесс контроля и принятия решения исследуется как сложная стохастически программируемая система в условиях цифровой трансформации внутренней и внешней среды. Под внешней средой представляется авиационная отрасль, под внутренней – авиационное предприятие. Количественный уровень рисков контроля концептуально и на практике предлагается оценивать цифровой зрелостью этапов жизненного цикла агентов управления: проектирования, производства и эксплуатации. Общий подход и задачи исследования процессов формирования рисков управления летательными объектами представлены системно в трех цифровых концептуальных контекстах. В объеме общего контекста исследуется концепция цифровой трансформации авиаотрасли. На втором концептуальном уровне проблема рассматривается на примере авиационного предприятия. На третьем системном уровне исследуются наиболее динамично развивающиеся цифровые технологии на практике, такие как «Техническое обслуживание авиационной техники» и «Компоненты робототехники и сенсорики». Беспилотное летательное средство представляется как робототехнический комплекс. В данных структурно-функциональных технологиях цифровой трансформации наиболее перспективными и значимыми цифровыми компонентами являются: «Кадры», «Модели», «Инфраструктура и инструменты», «Процессы и продукты», «Данные». Наименее защищенным системным звеном в обмене информацией летательного аппарата с внешней средой является радиоканал, который предлагается в условиях внешних киберугроз заменить на VLC технологии. Формализация процесса количественной оценки уровня цифровой зрелости авиационного предприятия

и практикуемой системы контроля в исследовании опирается на многоподходную методику с использованием разделов теории вероятностей, математической статистики, имитационного моделирования, метода экспертных оценок.

Ключевые слова: авиационная отрасль, цифровая трансформация, метод, технологии, модель, критерий, вероятность, имитация, уровень зрелости.

Аннотация. Мақаланың мақсаты – әуе кемелерінің мысалында күрделі объектілерді басқару жүйесінде бақылау және шешім қабылдау тәуекелдерін сандық бағалау әдістемесін әзірлеу. Басқарылатын және ұшқышсыз көліктер ұшақтар ретінде қарастырылады. Тәуекел жұмыста стохастикалық сипаттағы күрделі көп факторлы сапалық құбылыс ретінде берілген. Сандық тәуекелді бағалау үшін ресми математикалық және имитациялық модельдер ұсынылады. Бақылау және шешім қабылдау процесі ішкі және сыртқы ортаның цифрлық трансформациясы жағдайында күрделі стохастикалық бағдарламаланатын жүйе ретінде зерттеледі. Сыртқы ортада авиация саласы, ал ішкі ортада авиациялық кәсіпорын көрсетіледі. Бақылау тәуекелдерінің сандық деңгейін тұжырымдамалық және іс жүзінде бақылау агенттерінің өмірлік циклі кезеңдерінің цифрлық жетілуімен бағалау ұсынылады: жобалау, өндіру және пайдалану. Әуе кемелерін басқаруда тәуекелді қалыптастыру процестерін зерттеудің жалпы тәсілі мен міндеттері үш цифрлық концептуалды контексте жүйелі түрде ұсынылған. Жалпы контекст көлемінде авиация саласының цифрлық трансформациясының тұжырымдамасы зерттеледі. Екінші тұжырымдамалық деңгейде мәселе авиациялық кәсіпорын мысалында қарастырылады. Үшінші жүйе деңгейінде «Авиациялық техникаға техникалық қызмет көрсету» және «Робототехника және датчиктердің құрамдас бөліктері» сияқты тәжірибеде ең серпінді дамып келе жатқан цифрлық технологиялар зерттеледі. Ұшқышсыз ұшатын аппарат роботтандырылған кешен ретінде ұсынылған. Цифрлық түрлендірудің осы құрылымдық-функционалдық технологияларында ең перспективалы және маңызды цифрлық құрамдас бөліктер: «Персонал»; «Модельдер»; «Инфрақұрылым және құралдар»; «Процестер мен өнімдер»; «Деректер». Әуе кемесі мен сыртқы орта арасындағы ақпарат алмасуда ең аз қауіпсіз жүйе байланысы сыртқы киберқауіптер жағдайында VLC технологиясымен алмастырылуы ұсынылатын радиоарна болып табылады. Авиациялық кәсіпорынның цифрлық жетілу деңгейін сандық бағалау үдерісін және зерттеуде тәжірибелік басқару жүйесін ресімдеу ықтималдықтар теориясы, математикалық статистика, имитациялық модельдеу және имитациялық модельдеу бөлімдерін пайдалана отырып, көп жақты әдістемеге негізделген. сараптамалық бағалаулар.

Түйін сөздер: авиация саласы, цифрлық трансформация, әдіс, технология, модель, критерий, ықтималдық, еліктеу, жетілу деңгейі.

Annotation. The aim of the article is to develop a methodology for quantitative assessment of the risks of control and decision-making in the control system of complex objects using the example of aircraft. Manned and unmanned vehicles are considered as aircraft. The risk is presented in the work as a complex multifactorial qualitative phenomenon of a stochastic nature. For quantitative risk assessment, formal mathematical and simulation models are proposed. The process of control and decision-making is studied as a complex stochastically programmable system in the conditions of digital transformation of the internal and external environment. Under the external environment, the aviation industry is represented, and under the internal environment, the aviation enterprise. The quantitative level of control risks, conceptually and in practice, is proposed to be assessed by the digital maturity of the stages of the life cycle of control agents: design, production and operation. The general approach and tasks of studying the processes of risk formation in the management of aircraft are presented systematically in three digital conceptual contexts. In the volume of the general context, the concept of the digital transformation of the aviation industry is explored. At the second conceptual level, the problem is considered on the example of an aviation enterprise. At the third system level, the most dynamically developing digital technologies in practice, such as "Maintenance of aviation equipment" and "Components of robotics and sensors" are explored. The unmanned aerial vehicle is presented as a robotic complex. In these structural and functional technologies of digital transformation, the most promising and significant digital components are: "Personnel"; "Models"; "Infrastructure and tools"; "Processes and products"; "Data". The least secure system link in the exchange of information between an aircraft and the external environment is a radio channel, which is proposed to be replaced by VLC technology in the face of external cyber threats. The formalization of the process of quantitative assessment of the level of digital maturity of an aviation enterprise and the practiced control system in the study is based on a multi-approach methodology using sections of probability theory, mathematical statistics, simulation modeling, and the method of expert assessments.

Keywords: aviation industry, digital transformation, method, technology, model, criterion, probability, imitation, maturity level.

Введение. Бурное развитие цифровых технологий в настоящее время кардинально меняет облик всех, без исключения, отраслей экономики и социальной сферы. Наблюдается доминирующая тенденция смещения бизнес интересов в цифровую среду, что существенным образом снижает транзакционные издержки и расширяет сферу экономической деятельности. Главный недостаток ранних этапов цифровизации состоял в том, что задачи цифровых проектов носили локальный «точечный характер», а сроки полной интеграции автоматизированных процессов в единую управленческую композицию вообще не рассматривались. Из этого следовало, что принятие решений в конечном итоге базировалось на интуиции и опыте ответственного лица, а не на объективных предпосылках. В профессиональной IT-среде и среде массового использования информации широко использовались такие понятия как «цифровизация» (digitalization), «цифровая зрелость» (digital maturity), а сравнительно недавно вошло в употребление словосочетание «цифровая трансформация» (digital transformation [1, 2, 3]).

С точки зрения специалистов, ключевыми признаками «цифровой трансформации», отличающими ее от понятия «цифровизации», являются это интеграция платформ, переход от количества к качеству, решение сложных системных проблем во всех без исключения социально-экономических средах. Отраслевая специфика цифровой трансформации присутствует во всех бизнес-процессах, порождая новые информационные связи и преимущества. Еще сравнительно недавно считалось, что цифровая трансформация – это локальное внедрение цифровых технологий для компьютеризации отдельных услуг с целью повышения производительности информационных документированных процедур. Но уже довольно скоро пришло понимание, что цифровая трансформация – это организация бизнес-процессов [4, 5, 6].

В настоящее время IT-проекты начинают играть роль революционного инструментария в бизнес-процессах, где главным становится не сам цифровой объект (например: воздушное судно, аэропорт, цифровая железная дорога, цифровой поезд, вагон и т.д.), а цифровой процесс. Трансформировались и стандарты качества, которые в русле системной динамики официально стали называться процессными. Появилась гипотеза, что цифровой процесс должен трансформироваться в цифровую дополненную реальность, интегрируя снабжение, сбыт, проектирование, эксплуатацию, утилизацию, т.е. охватить все этапы жизненного цикла объекта. Трансформировалось и определение системы от ранее существовавшего: «система – это совокупность взаимосвязанных элементов, объединенных единой целью», до нового: «система – это совокупность взаимосвязанных процессов, объединенных единой целью». А объект – это процесс или явление.

В бизнес-процессы начали широко внедрять цифровые технологии на базе Smart подходов. Для сравнительного анализа и оценки текущего уровня и измерения динамики цифровизации возникла необходимость в интегральном критерии. В качестве подобного критерия был предложен «Уровень цифровой зрелости» [7, 8, 9]. Для реализации проектов повышения цифровой зрелости использовались следующие системные оценки: текущая цифровая зрелость, желаемый уровень цифровой зрелости, план действий в достижении целевого уровня цифровой зрелости. Литературный анализ показал, что лидерами цифровой трансформации являются: SAP, Sabre, Inform, Lufthansa Systems, IBM, Oracle, Cisco, Microsoft, Celonis. Среди отраслей одним из лидеров в цифровой трансформации бизнес-процессов является авиационная отрасль [10]. Перед авиаотраслью стоят такие первоочередные задачи цифровой трансформации бизнес-процессов, как: создание и сопровождение современных интернет-

порталов и мобильных приложений для авиакомпаний и аэропортов; разработка платформы для управления рисками; повышение конверсии продаж билетов, товаров и услуг; персонализация маркетинговых кампаний для повышения лояльности и качества обслуживания пассажиров; оптимизация затрат на ремонт и техническое обслуживание парка воздушных судов; эффективное планирование работы аэропортов и наземных служб.

Литературный обзор. Общие принципы и критерии цифровой трансформации. В данном аналитическом материале рассмотрены вопросы оценки текущего состояния и потенциала отрасли и предприятия в системе цифровой трансформации. В качестве критерия оценки уровня цифровой трансформации систем и процессов во многих публикациях предлагается цифровая зрелость. Оценка цифровой зрелости – это системное многоуровневое исследование организационно-технического объекта, которое ставит целью оценить его текущее состояние и потенциал роста, выявить направления развития и разработать индивидуальную стратегию цифровой трансформации [11, 12, 13].

Важнейшим интегрирующим фактором и инструментом на практике в технологиях цифровой трансформации стала технология Big Data [14, 15]. В среде специалистов считается, что Big Data является наиболее быстро развивающейся технологией выявления в «сырых» данных неявных скрытых искомых знаний [16]. Эти технологии предусматривают работу с информацией огромного объема из разных источников и разнообразного функционального состава, формата и качества. Информация является продуктом мониторинга и постоянно актуализируется.

Технология облачных вычислений. В последнее время бурно развивается и используется технология «Облачные вычисления». Облачные вычисления – это форма предоставления вычислительных и сетевых ресурсов, огромных хранилищ данных и других ИТ-ресурсов в сети интернет за определенную оплату. Облачные вычисления предлагают услугу как онлайн-сервис (cloud computing) для удаленного использования компьютерных ресурсов. Для ускорения доступа к облачным ресурсам появились так называемые «Туманные вычисления» – это реструктуризация технологии облачных вычислений наподобие распределенной обработки. Это технологическое решение является структурным посредником (интерфейсом) между уровнями обработки данных, т.е. между пользователем и «облаком». Тогда естественным образом повышается скорость обработки данных, экономятся вычислительные ресурсы пользователя и сокращаются задержки. Но при этом возникают вопросы: сколько нужно «туманов», как их интегрировать при работе в одном проекте и ряд других вопросов в деталях.

Использование новой технологии порождает новые проблемы и пути их решения. В данной работе, которая носит обзорный характер, авторы исследуют экспериментально эффективность использования облачных вычислений по девяти качественным и количественным показателям. В текущей ситуации провайдеры пытаются равномерно распределить нагрузку между серверами. Авторы предлагают ряд решений для обеспечения удовлетворенности пользователей, а также повышения эффективности системы за счет оптимального использования ресурсов виртуальных машин, уменьшения времени отклика центра обработки данных и повышения общей производительности. Задача относится к многокритериальным и трудно формализуемым. Как правило, в подобных задачах и принятых критериях эффективности (в данном случае – это время, производительность, энергопотребление, затраты) трудно найти баланс и одновременное улучшение всех показателей.

В работе задача повышения эффективности также решается путем оптимизации. Эту

задачу можно отнести к частному случаю распараллеливания вычислений. В работе «оптимизируется выполнение задач в защищенной облачной среде». Авторы считают, что чем меньше энергопотребление, тем выше общая производительность системы. Что в данном случае понимается под производительностью системы? Если производительность системы оценивается общим объемом обработанной информации, тогда удельная производительность – это объем информации на одну машину. Если проблема состоит в том, сколько машин надо отключить, то это уже теория массового обслуживания. Утверждение, что чем меньше загруженность машин, тем выше производительность (чего?) является спорным.

Одна из самых важных задач как в жизни отдельного субъекта, так и жизненном цикле хозяйствующего субъекта – это прогнозирование будущего. Эта функция реализуется двумя способами: методом экспертного анализа и формальными методами с привлечением компьютерной техники. Для формализации процессов прогноза привлекаются математические и алгоритмические инструменты. Американским метеорологом Эдвардом Лоренцом доказана чувствительность формальных методов к начальным данным, что играет огромную роль в системах искусственного интеллекта. Лоренц не мог понять, почему беспрецедентно бурное развитие компьютерных технологий не привело к повышению качества прогнозов, т.е. сегодня, как и много лет тому назад, точный прогноз ограничивается 2-3 днями. Эта проблема особенно актуальна в среде активного использования больших данных. Причина данного явления состоит в динамическом хаосе, что крайне важно при работе с большими данными. Система Лоренца имеет конечный горизонт прогнозирования. Прогнозируемые процессы имеют свойство и тенденцию расходиться с тем большей скоростью, чем дальше от точки начала прогнозирования ставится прогноз. Это определяется так называемым показателем Ляпунова. От этого показателя зависит интервал времени прогнозирования, что крайне важно в задачах качественной кластеризации данных по интервалам времени. В задачах прогнозирования также особенно значим фактор нелинейности. Нелинейная динамика лишает многих иллюзий в процессе роботизации и создании систем с «искусственным интеллектом», что значительно ограничивает функциональность данных систем. В подобном случае возникает необходимость перейти от системного анализа к системному синтезу и извлекать из массы переменных наиболее информативные. Таким образом, прогноз из области чистой науки перемещается в область практических технологий. В работе предлагается новый подход к методам прогнозирования потока запросов и распределения рабочей нагрузки на имеющиеся ресурсы путем присваивания «веса» так называемым историческим данным. Использование исторических данных не является чем-то новым, и довольно часто к нему прибегают в экономике. Но в Big Data и облачных вычислениях, где идет постоянное пополнение информации, крайне актуальной становится необходимость исследований на статистическую однородность данных.

Использование технологии Big Data в авиационной отрасли. В авиационной отрасли технология Big Data используется для обеспечения безопасности полетов, своевременного технического обслуживания, диагностики и ремонта агрегатов самолета; для изучения пассажирских предпочтений и оптимизации пассажиропотока в аэропорту. Большие данные агрегируют техническое, технологическое, математическое и программное обеспечения, которые извлекают смысл из данных на максимальном интеллектуальном уровне, предусмотренном в проекте. Вместе с тем, если рассматривать авиаотрасль в предметном аспекте, то в полной мере можно отнести ее к лидерам по генерации и накоплению цифровых данных, и здесь открывается большая ниша для таких инструментов, как искусственный интеллект (ИИ), ML (machine learning – машинное обучение), Big Data (BD), классических BI-решений и инструментов бизнес-аналитики.

Как свидетельствуют данные авиакомпаний, уже имеющих опыт работы с ВД, одной из наиболее важных подсистем в технологии ВД является «система диагностики и прогнозирования технического состояния узлов и агрегатов воздушных судов». С борта самолета в наземные службы автоматически поступает информация о его техническом состоянии, чтобы задолго до отказа знать об износе деталей. Как показала практика, техническое обслуживание и ремонт с использованием бортовой диагностики значительно опережают все прочие сферы по важности и результативности. На базе полученных данных с бортовой удаленной диагностики появляется возможность реализовать концепцию «предиктивного техобслуживания» и прогнозировать отказы критически важных узлов контролируемого объекта.

Другим крайне важным качеством ВД является возможность реализации технологии «цифровых двойников» («digital twins»). Цифровые двойники – это виртуальные модели физических объектов и процессов, имитирующие работу двигателя в тот момент, когда самолёт находится в воздухе. Это представляется возможным, когда на этапе проектирования и производства двигателя устанавливаются тысячи точек и датчиков сбора данных. В полете совокупность датчиков создает цифровую информационную модель физического и технического состояния работы двигателя в режиме реального времени, обеспечивая информацией о работоспособности объекта на заданном периоде времени. Датчики представляют физические данные, которые обрабатываются программным инструментом Big Data Analytics. Благодаря внедрению цифровых двойников и инструментов Big Data Analytics появилась возможность с 95 % вероятностью выявлять неисправности, прежде чем они станут крупными проблемами. Кроме того, с появлением прогнозного моделирования (predictive modelling) стала возможной замена деталей, которые на базе анализа определены как требующие замены, до того, как они вышли из строя, а именно во время плановых работ по ремонту и техническому обслуживанию. Всё это способствует сокращению расходов и повышает безопасность полётов

Одним из широко и часто используемых средств интеллектуальной обработки данных является Data Mining. В среде специалистов считается, что Data Mining является наиболее быстро развивающейся технологией обнаружения в «сырых» данных неочевидных скрытых полезных знаний. В отличие от экспертных методов, Data Mining предлагает методику «объективной» селекции новых знаний. В качестве инструментов выбора новых знаний в данной технологии используется методика использования шаблонов «паттернов». В отличие от статистических методов, где связь ищется между заранее подготовленными выборками путем расчета коэффициента корреляции, в Data Mining эти информационные совокупности, особенно в среде ВД, определяются и формируются программно, что можно отнести к понятиям интеллектуальности. В Data Mining используются пять шаблонных закономерностей и связей: ассоциация, последовательность, классификация, кластеризация и хронология.

В системах искусственного интеллекта в настоящее время довольно широко и успешно в авиации внедряются нейронные технологии. Главная особенность нейрона состоит в способности обучения. На вход нейрона поступает совокупность (вектор) данных или объектов. В нейроне формируется сумма «взвешенных» данных. Указанная сумма сравнивается с пороговым значением, если результат сравнения по заданному алгоритму не удовлетворяет условиям задачи, то входной вектор модифицируется. Главный недостаток этой технологии состоит в том, что «вес» входных элементов необходимо оценивать экспертно.

Использование Smart-технологий в авиаотрасли. В результате глубокого анализа, проведенного специалистами «Института статистических исследований и экономики знаний Высшей школы экономики», для авиаотрасли был разработан и рекомендован список цифровых СМАРТ-технологий в следующем структурно-функциональном оформлении: «Нейротехнологии и искусственный интеллект»; «Технологии распределенного реестра»; «Квантовые технологии»; «Новые производственные технологии»; «Технологии умного производства (Smart Manufacturing)»; «Компоненты робототехники и сенсорики»; «Технологии беспроводной связи»; «Технологии виртуальной и дополненной реальности»; «Лазерные и VLC технологии»; «Техническая СМАРТ диагностика». С целью оценки эффективности каждой из приведенных технологий была исследована успешность отраслей и даже государств в реализации цифровой трансформации. Анализ выявил следующие группы и СМАРТ технологии:

1. Группа «Нейротехнологии и искусственный интеллект» объединяет такие технологии, как: компьютерное зрение, обработка естественного языка, распознавание и синтез речи, системы поддержки принятия решений, нейроинтерфейсы, нейростимуляция и нейросенсинг. Компьютерное зрение – одна из ключевых технологий искусственного интеллекта, активно применяемая в транспорте. Определение необходимости ремонта транспортных средств представляется очень эффективным при помощи систем предиктивного технического обслуживания. Транспорт со встроенными нейроинтерфейсами существенно упростит управление автомобилями, самолетами и водным транспортом;

2. Группа «Технологии распределенного реестра» содержит: технологии организации и синхронизации данных, технологии обеспечения целостности и непротиворечивости данных, технологии создания и исполнения децентрализованных приложений и смартконтрактов;

3. Группа «Квантовые технологии» содержит: квантовые коммуникации; квантовые вычисления; квантовые сенсоры. В настоящее время решения на основе квантовых коммуникаций находятся на этапе разработки;

4. Группа «Новые производственные технологии» интегрирует цифровое проектирование, математическое моделирование и управление жизненным циклом изделия или продукции (Smart Design);

5. Группа «Компоненты робототехники и сенсорики». Один из наиболее быстро развивающихся сегментов робототехники – беспилотная авиация. В авиационном роботизированном транспорте для беспилотного управления, как правило, используется радиоканал. Недостаток радиоканала состоит в том, что он довольно часто подвергается внешнему противодействию. В этих условиях приобретают беспрецедентную значимость и актуальность принципы безопасного управления беспилотными транспортными потоками. Беспилотные средства являются стратегическим трендом развития многих отраслей, в основе которого лежит комплекс передовых систем искусственного интеллекта;

6. Группа «Технологии беспроводной связи» содержит WAN (Wide Area Network), LPWAN (Low Power Wide Area Network), WLAN (Wireless Local Area Network), PAN (Personal Area Network), RFID (HF- и UHF-метки), спутниковые технологии связи и VLC технологии, которые обеспечивают возможность эксплуатации умной дорожной инфраструктуры, интеллектуальных транспортных систем и беспилотного наземного транспорта;

7. Группа «Технологии виртуальной и дополненной реальности» содержит средства разработки VR/AR-контента. На текущий момент уровень использования средств разработки VR/AR-контента в транспортной отрасли не высок. В авиации такие решения

могут применяться для тренировки пилотов и персонала, участвующего в обеспечении полетов.

Анализ литературных источников в предметной области показал, что количественным критерием степени использования технологии цифровой трансформации в авиационной отрасли является цифровая зрелость. Главный недостаток всех предлагаемых методик в оценке уровня зрелости состоит в дифференцированном подходе к цифровому объекту или цифровой технологии. Однако по определению «Цифровая трансформация» отличается от «цифровизации» своим интегральным подходом к оценке цифровой зрелости, который реализуется в форме математической свертки.

Использование Smart-технологий в авиационных предприятиях. В отличие от уровня цифровой зрелости отрасли, для предприятий были разработаны и предлагаются следующие шесть направлений в оценке цифровой зрелости: «Инфраструктура и инструменты»; «Процессы и продукты»; «Данные»; «Модели»; «Кадры»; «Культура». Приведенные критерии, на контекстном уровне системы являются дифференцированными оценками цифровой зрелости текущего состояния предприятия. При любом выбранном подходе к оценке цифровой зрелости необходимо контролировать целевое состояние организации, заданное требованиями цифровой трансформации.

Формальное обеспечение процессов управления рисками в цифровой трансформации предприятий. Каждое направление содержит процедуру и документированный акт контроля и принятия решения. Контроль необходим для диагностирования текущего состояния объекта по ряду технико-экономических показателей и составления прогнозов на будущее. Современные организационно-технические бизнес-системы работают в условиях статистической неопределенности и нечеткости данных. Принятие решений в данных условиях сопровождается рисками. Работами ряда авторов было доказано, что данные риски по социально-экономическому содержанию и последствиям являются риском производителя и риском потребителя. Риски имеют стохастическое происхождение и имеют многофакторное функциональное содержание и форму. Количественно риски можно оценить только формальными математическими и имитационными инструментами.

В работе исследовались вопросы математического обеспечения процесса диагностирования с целью оценки влияния различных факторов на результат диагностирования, особенно на ошибки контроля, которые считаются рисками контроля. Исследовалось влияние статистических законов распределения диагностических параметров на вероятные ошибки диагноза. При этом во всех исследованиях исследовались различные начальные гипотезы и статистические условия. Для количественного оценивания приводятся вероятностные модели оценки ошибок контроля при однопредельном ограничении контролируемого параметра снизу, которые имеют следующий вид:

$$P_{н\bar{o}} = \sum_{t=1}^n \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{t_i}^{t_{i+1}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{z_i}^{+\infty} e^{-\frac{z^2}{2}} dz, \quad (1)$$

$$P_{л\bar{o}} = \sum_{t=1}^n \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{t_i}^{t_{i+1}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{z_i} e^{-\frac{z^2}{2}} dz, \quad (2)$$

где: $P_{н\bar{o}}$ – вероятность необнаруженного отказа (брака); $P_{л\bar{o}}$ – вероятность ложного отказа (брака).

Необнаруженным отказом (браком) считается случай, когда контролируемый параметр находится за допустимыми пределами, а система контроля регистрирует факт нахождения параметра в допустимых пределах. И наоборот, ложным отказом (браком) считается случай, когда контролируемый параметр находится в допустимых пределах, а система контроля регистрирует факт нахождения параметра за допустимыми пределами. В приведенных моделях используется гипотеза принадлежности статистических законов распределения всех параметров к закону Гаусса.

В работе исследуется гипотеза распределения диагностического параметра по закону Вейбулла, а других параметров по закону Гаусса. Используя интегральную функцию закона Вейбулла, было получено в окончательном виде выражение для вычисления вероятности $P_{л\bar{o}}$ и $P_{н\bar{o}}$:

$$P_{л\bar{o}} = \sum_{i=1}^k \left(e^{-\frac{S_i^\beta}{\alpha}} - e^{-\frac{S_{i+1}^\beta}{\alpha}} \right) \cdot \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \int_{S_n}^{S_i - 3\sigma_y} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} dy +$$

$$+ \sum_{i=1}^k \left(e^{-\frac{S_i^\beta}{\alpha}} - e^{-\frac{S_{i+1}^\beta}{\alpha}} \right) \cdot \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \int_{S_e}^{S_i + 3\sigma_y} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} dy \quad (3)$$

$$P_{н\bar{o}} = \sum_{i=1}^k \left(e^{-\frac{S_i^\beta}{\alpha}} - e^{-\frac{S_{i+1}^\beta}{\alpha}} \right) \times \left[\frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \int_{S_n}^{S_i - 3\sigma_y} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} dy + \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \int_{S_e}^{S_i + 3\sigma_y} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} dy \right]. \quad (4)$$

В работе [15] исследуется гипотеза о недетерминированных нормативах. Нормативы обозначены как S_n – нижний норматив и S_e – верхний норматив, их статистические характеристики представлены в виде законов распределения:

$$\Theta_1(S_n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_t} e^{-\frac{(S_n - S_{н\text{сп}})^2}{2\sigma_t^2}}, \quad (5)$$

$$\Theta_2(S_e) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_t} e^{-\frac{(S_e - S_{е\text{вс}})^2}{2\sigma_t^2}}. \quad (6)$$

Для исследования данного варианта гипотез был использован имитационный подход и реализован компьютерный эксперимент.

Методы и результаты исследования. Цель исследования состоит в разработке формальной методики количественного оценивания уровня цифровой зрелости авиационной отрасли и предприятий.

Методика данной работы предполагает этапы теоретических и экспериментальных исследований, которые содержат: анализ методов диагностирования авиационных агрегатов и систем, исследование датчиков преобразования физических параметров рабочих процессов двигателя в электрический сигнал, исследование методов защищенной передачи информации управления беспилотными аппаратами, разработку математической модели количественного оценивания рисков контроля диагностических параметров.

Методология исследования базируется на системном подходе. В данной интерпретации

система рассматривается как интегрированная совокупность цифровых агентов управления, где агентами могут быть цифровые технологии, находящиеся в системной связи друг с другом. В качестве прикладных инструментов формализации методов системного подхода в задачах оценки и прогнозирования технологической и эксплуатационной динамики используются технологические аналогии, функциональные зависимости, вероятностные и имитационные модели, агентные подходы. Для проведения компьютерного эксперимента используется разработанное программное приложение.

На базе разработанных моделей, данных экспериментально-статистических исследований и программного приложения предусматривается реализация компьютерного эксперимента с целью оценки адекватности теоретических предпосылок и результатов машинного моделирования на фактическом экспериментальном материале.

Для обработки статистического материала был использован профессиональный пакет программ STATISTICA 10.

Методы и средства диагностирования авиационных двигателей. В авиации методы управления эксплуатационной надежностью воздушного судна и диагностика авиационных агрегатов и систем занимают исключительно важное место, так как эти технологии определяют безопасность полетов. Одной из главных проблем в технологиях диагностирования двигателя являются датчики, преобразующие физические параметры рабочих процессов двигателя в электрический сигнал. Используются индуктивные, емкостные, пьезоэлектрические датчики, которые генерируют электрический заряд при изменении давления на его контактных плоскостях. Пьезокварцевые датчики требуют очень высокое сопротивление входа измерительной цепи и использования специальных кабельных соединений с высоким импедансом. Для регистрации тепловых параметров используются термопары или термосопротивления, а при дистанционном контроле – пирометры, конструктивно оформленные в виде приборов-тепловизоров. В настоящее время интенсивно развиваются виброакустические методы. В качестве примера на рис. 1 показан прямой спектр вибрации вращения роторов и приводных агрегатов авиадвигателя.

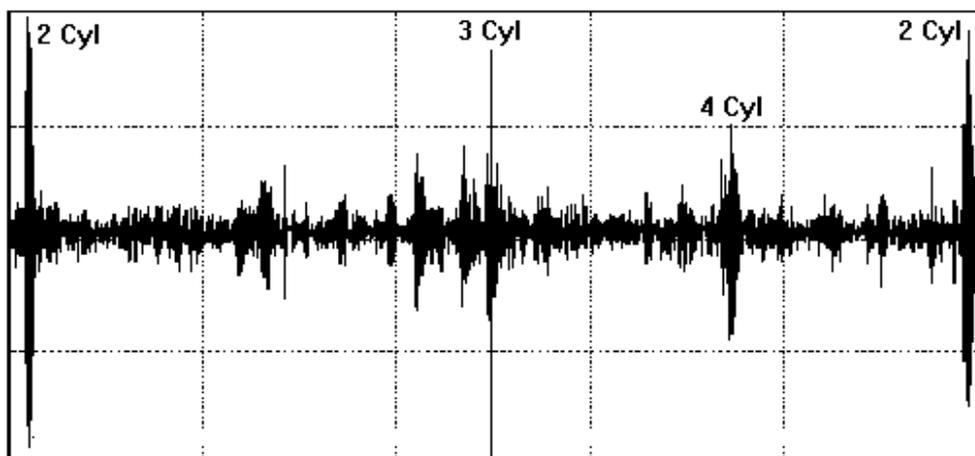


Рисунок 1. Сигнал вибрации вращения роторов и приводных агрегатов

В последнее время появились новые технологии обработки информации с привлече-

нием компьютерной техники, что существенно повысило достоверность диагностирования.

Методы и средства дистанционного контроля и защиты информации на базе VLC технологий. Большим недостатком, который сопровождает работы по исследованию авиационных двигателей в лабораторных условиях, является низкая экологичность лабораторного пространства. Поэтому измерительное оборудование размещают в отдельных помещениях, а датчики диагностической информации, установленные на двигателе, соединяют с диагностической аппаратурой кабельными соединениями, что крайне нетехнологично. В последнее время появилась новая технология беспроводной передачи информации, использующая не радиоволны, а видимый свет и светодиодные лампочки. В основе технологии лежит одна из главных особенностей светоизлучающих диодов – способность с огромной скоростью переключаться незаметно для человеческого зрения, что позволяет с большой частотой передавать информацию без заметных изменений в уровне освещенности помещения. Эта технология получила название VLC (Visible Light Communication) и обеспечивает беспроводную передачу данных на фотоприемники вместе с потоком света, излучаемым светодиодами. Кроме того, технология VLC обладает высокой пропускной способностью со скоростью в 500 Мбит/с. В любом функциональном целевом применении VLC комплекса присутствует система контроля и принятия решения. Процесс контроля, как было показано выше, сопровождается рисками. Количественный уровень рисков зависит от системной композиции многих статистических и детерминированных факторов и параметров. Произвести количественную оценку и прогнозирование рисков можно только формальными методами, для чего в литературе предлагаются математические модели для различных начальных условий в системе контроля. Заключительной фазой процесса контроля является принятие решений, что завершает функцию постановки диагноза.

Математическое обеспечение системы диагностики летательных объектов. Практика контроля показывает, что наиболее сложным, трудоемким и рисковым этапом является практическая реализация результатов контроля и восстановления нормативных функций. Реализация решения с целью восстановления нормативных функций в кибернетической модели управления является обратной связью. Качество системы управления в целом зависит от оптимального сочетания характеристик всех звеньев системы, где решающую роль играет качество звена обратной связи. Процесс восстановления нормативных функций объекта управления на практике является недетерминированным по своей природе. В этой связи возникает общая задача оценки и прогнозирования рисков в замкнутом цикле управления (например, в системе управления качеством контроля технического состояния летательных аппаратов всех типов). В замкнутой модели управления решение о восстановлении нормативных рабочих функций реализуется корректирующим воздействием на объект контроля, и осуществляется эта процедура субъектом. Цикл управления с обратной связью содержит следующие этапы: измерение функционального параметра S_i (контролируемого параметра), сравнение измеренного значения с нормативными S_n и S_v (нижним и верхним). Если контролируемый параметр объективно или ложно зарегистрирован за пределами нормативов, то возникает необходимость активного вмешательства в деятельность системы с целью устранения возникшей проблемы. В техническом обслуживании сложного объекта (например, летательных аппаратов) восстановление работоспособности решается путем проведения определенных корректирующих процедур. Независимо от типа объекта управления, возможность устранения возникшей проблемы имеет существенные ограничения, особенно в условиях неопределенности. Тогда функция восстановления нор-

мативно устойчивого состояния системы с обратной связью является величиной случайной, имеющей определенный закон распределения $\gamma(S_p)$. В этих условиях начинает играть роль психологический тип лица (человеческий фактор), принимающего решения и осуществляющего коррекцию системы. Учет этого фактора необходим также и при моделировании (в данной статье эта проблема не входит в задачи исследования).

Для количественного исследования процесса контроля с обратной связью была разработана имитационная модель, содержащая блок контроля и блок «восстановления работоспособности» системы, при условии, что контролируемый параметр имеет нижнее и верхнее допусковые нормативы $\Delta = S_v - S_n$. В модели считается, что нормативы величины детерминированные. Функциональное назначение первых блоков модели имеет типовое известное назначение. Отличие блока 1 состоит в том, что вводятся статистические характеристики подсистемы реализации решений (коррекции). В блоке 7 генерируется значение ошибки «регулирования» системы. В блоке 8 рассчитывается полная величина «регулирующего» воздействия на систему, состоящую из случайной $\Delta_{сл}$ и детерминированной планируемой составляющей $\Delta_{пл}$. В отличие от рассмотренных случаев, где отклонение (брак) было выявлено, но не предпринимались меры по устранению проблемы, в данном случае эти меры предпринимаются, и в блоках 11 и 15 генерируется значение корректирующего воздействия на контролируемый процесс. В блоках 13 и 17 работают счетчики: «ложный отказ» – $N_{лo}$, «необнаруженный отказ» – $N_{нo}$. Функции блоков 18 и 19 аналогичны последним двум блокам предыдущих моделей.

Результаты компьютерного моделирования. Результаты, проведенного компьютерного моделирования, с целью оценки влияния статистической неопределенности параметров обратной связи на вероятные риски системы управления и принятия решений, представлены в графической форме на рис. 2, где в качестве примера приводятся только вероятные риски $P_{нo}$ необнаруженного брака (отказа).

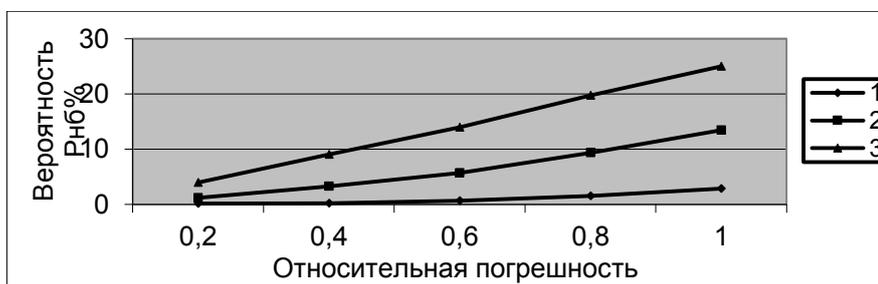


Рисунок 2. Вероятность риска необнаруженного брака (отказа) $P_{нo}$ с учетом статистических свойств обратной связи

На рисунке представлены результаты контроля с учетом статистических свойств обратной связи и результаты контроля с корректирующими операциями после проведения одного цикла регулирования диагностического параметра при разных исходных соотношениях неопределенности измерения и неопределенности процедуры восстановления работоспособности системы. Как следует из результатов моделирования, независимо от величины допуска, моделируемый уровень риска необнаруженного брака $P_{нo}$ в системе с обратной связью достигает 25 % (рис. 2), что существенно выше, чем в случае отсутствия обратной связи. По результатам моделирования было установлено, что качество восстановления работоспособности объекта зависит от сочетания статистических параметров всех звеньев

процесса «контроль – восстановление». В случае необходимости повышения качества восстановительных работ можно идти по пути повышения точности средств и методов коррекции либо провести второй цикл контроля и последующей коррекции. Следует учитывать, что возможность повторных контрольно-регулирующих операций в динамических системах (например, в управлении и контроле беспилотными средствами во время полета) бывает невозможна.

Заключение. В статье поставлена цель разработки методики количественного оценивания рисков контроля и принятия решений в системе управления сложными объектами на примере летательных аппаратов. В качестве летательных аппаратов рассматриваются пилотируемые и беспилотные средства. В результате аналитического обзора было установлено, что риск представляется в работе как многофакторная стохастически программируемая система в условиях цифровой трансформации отрасли и предприятия. Выявлено, что процесс цифровой трансформации авиапредприятия в настоящее время определяется уровнем цифровой зрелости и корреляционно связан с динамикой таких цифровых отраслевых технологий, как «Техническое обслуживание авиационной техники» и «Компоненты робототехники и сенсорики», а в структурно-функциональных технологиях цифровой трансформации предприятия наиболее перспективными и значимыми являются: «Кадры», «Модели», «Инфраструктура и инструменты», «Процессы и продукты», «Данные». Величина риска оценивает синергию агентов цифровой трансформации и факторов дополненной реальности, не входящую явно в аналитические модели. Для количественного оценивания рисков разработаны математические и имитационные модели. Результаты компьютерного эксперимента показали, что статистическая вероятность ошибок контроля (рисков) в значительно большей степени зависит не от погрешности измерения, а от количественной композиции в форме отношения среднего квадратического отклонения (неопределенности) погрешности инструментальных средств измерения к среднему квадратическому отклонению контролируемого параметра. Представление результатов моделирования в пространственной форме 3D позволяет визуально оценить общую системную картину результатов контроля при всех возможных композициях статистических характеристик агентов контроля.

Статья выполнена в рамках проекта Министерства образования и науки Республики Казахстан на грантовое финансирование фундаментальных и прикладных научных исследований молодых ученых-постдокторантов по проекту «Жас галым» на 2022-2024 гг. ИРН: AP14972524 – «Разработка VLC технологий в управлении беспилотными транспортными средствами».

Список литературы

1. Роджерс Д.П. Цифровая трансформация: практическое пособие / пер. с англ. – М.: Точка, 2017. – С. 7.
2. Грибанов Ю.И. Цифровая трансформация социально-экономических систем на основе развития института сервисной интеграции: дис. ... д-ра экон. наук. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2019. – URL: <https://unecon.ru/sites/default/files/dissgribanovui.pdf> (дата обращения: 08.10.2020).
3. Исаев Е.А., Коровкина Н.Л., Табакова М.С. Оценка готовности ИТ-подразделения компании к цифровой трансформации бизнеса // Бизнес-информатика. – 2018. – № 2 (44). – С. 55-64. – DOI: 10.17323/1998-0663.2018.2.55.64.
4. Методические рекомендации по цифровой трансформации государственных корпораций и компаний с государственным участием / Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. – URL: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/mr-po-tst-gk.pdf> (дата обращения: 08.10.2020).

5. Прохоров А., Коник Л. Цифровая трансформация: анализ, тренды, мировой опыт. – М.: АльянсПринт, 2019. – 368 с.
6. Абдрахманова Г.И., Быховский К.Б., Веселитская Н.Н., Вишневецкий К.О., Гохберг Л.М. Цифровая трансформация отраслей: стартовые условия и приоритеты: XXII Междунар. научная конференция по проблемам развития экономики и общества. – Москва, 2021. – С. 11-16.
7. Оценка цифровой зрелости //cdto.wiki» ...
8. Стратегия достижения цифровой зрелости в учреждениях СПО // <https://ruresh.ru/info-centr/articles/StrategiyadostizheniyatsifrovoyzrelostivuchrezhdeniyakhSPO/>
9. Методика расчета показателя "достижение "цифровой зрелости"...//consultant.ru>document/cons_doc_la...
10. Методические положения по интеграции высокотехнологичных предприятий промышленности в цифровое пространство (на примере предприятий авиастроительной отрасли) // cyberleninka.ru>article/n/metodich...
11. Государственная Программа «Цифровой Казахстан»: утв. Постановлением Правительства Республики Казахстан от 12 декабря 2017 года № 827.
12. Алтухов А.И., Дудин М.Н., Анищенко А.Н. Цифровая трансформация как технологический прорыв и переход на новый уровень развития России // Продовольственная политика и безопасность. – 2020. – Том 7. – № 2. – С. 81-96. – doi: 10.18334/ppib.7.2.100923.
13. Цифровая трансформация и цифровая зрелость бизнеса//datalab-nsu.ru>digital-transformat...
14. Big Data - что такое системы больших данных? Развитие...//promdevelop.ru>industry/big-data.
15. Yesmagambetova Marzhan, Keribayeva Talshyn, Koshekov Kairat, Belginova Saule, Alibekkyzy Karlygash, Ospanov Yerbol. «Smart technologies of the risk-management and decision-making systems in a fuzzy data environment» Indonesian // Journal of Electrical Engineering and Computer Science. – Vol. 28. – No. 3, December 2022. – ISSN: 2502-4752. – DOI: 10.11591/ijeecs.v28.i3.pp1-1x.

References

1. Rodzhers D.L. Cifrovaya transformaciya: prakticheskoe posobie / per. s angl. – М.: Tochka, 2017. – S. 7.
2. Gribanov YU.I. Cifrovaya transformaciya social'no-ekonomicheskikh sistem na osnove razvitiya instituta servisnoj integracii: dis. ... d-ra ekon. nauk. – SPb.: Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj ekonomicheskij universitet, 2019. – URL: <https://unecon.ru/sites/default/files/dissgribanovui.pdf> (data obrashcheniya: 08.10.2020).
3. Isaev E.A., Korovkina N.L., Tabakova M.S. Ocenka gotovnosti IT-podrazdeleniya kompanii k cifrovoj transformacii biznesa // Biznes-informatika. – 2018. – № 2 (44). – S. 55-64. – DOI: 10.17323/1998-0663.2018.2.55.64.
4. Metodicheskie rekomendacii po cifrovoj transformacii gosudarstvennykh korporacij i kompanij s gosudarstvennym uchastiem / Ministerstvo cifrovogo razvitiya, svyazi i massovykh kommunikacij Rossijskoj Federacii. – URL: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/mr-po-tst-gk.pdf> (data obrashcheniya: 08.10.2020).
5. Prohorov A., Konik L. Cifrovaya transformaciya: analiz, trendy, mirovoj opyt. – М.: Al'yansPrint, 2019. – 368 s.
6. Abdrahmanova G.I., Byhovskij K.B., Veselitskaya N.N., Vishnevskij K.O., Gohberg L.M. Cifrovaya transformaciya otraslej: startovye usloviya i priority: XXII Mezhdunar. nauchnaya konferenciya po problemam razvitiya ekonomiki i obshchestva. – Moskva, 2021 g. – S. 11-16.
7. Ocenka cifrovoj zrelosti //cdto.wiki» ..
8. Strategy for achieving digital maturity in SPO institutions. – <https://ruresh.ru/info-centr/articles/StrategiyadostizheniyatsifrovoyzrelostivuchrezhdeniyakhSPO/>
9. Metodika rascheta pokazatelya "dostizhenie "cifrovoj zrelosti"...//consultant.ru>document/cons_doc_la...
10. Metodicheskie polozheniya po integracii vysokotekhnologichnykh predpriyatij promyshlennosti v cifrovoe prostranstvo (na primere predpriyatij aviastroitel'noj otrasli)//cyberleninka.ru>article/n/metodich...
11. Gosudarstvennaya Programma "Cifrovoy Kazahstan": utv. Postanovleniem Pravitel'stva Respubliki Kazahstan ot 12 dekabrya 2017 goda № 827.
12. Altuhov A.I., Dudin M.N., Anishchenko A.N. Cifrovaya transformaciya kak tekhnologicheskij proryv i perekhod na novyj uroven' razvitiya Rossii // Prodovol'stvennaya politika i bezopasnost'. – 2020. – Том

7. – № 2. – С. 81-96. – doi: 10.18334/ppib.7.2.100923.
13. Cifrovaya transformaciya i cifrovaya zrelost' biznesa//datalab-nsu.ru>digital-transformat...
14. Big Data – chto takoe sistemy bol'shih dannyh? Razvitie...// Promdevelop.ru>industry/big-data.
15. Yesmagambetova Marzhan, Keribayeva Talshyn, Koshekov Kairat, Belginova Saule, Alibekkyzy Karlygash, Ospanov Yerbol. «Smart technologies of the risk-management and decision-making systems in a fuzzy data environment» Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. – Vol. 28. – No. 3, December 2022. – ISSN: 2502-4752. – DOI: 10.11591/ijeecs.v28.i3.pp1-1x.