



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ
АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНИЧЕСКИЙ

КАФЕДРА БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЁТОВ И ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Направление подготовки 25.06.01 Аэронавигация и эксплуатация
(код и наименование направления подготовки)
авиационной и ракетно-космической техники

Направленность 05.22.14 Эксплуатация воздушного транспорта
(наименование направленности)

НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Тема Разработка интегрированной системы управления безопасностью
полётов и качеством в авиапредприятии с использованием многомерного
статистического анализа

Обучающийся:

Асеев Н.В.
(Ф.И.О.)


(Подпись)

Научный руководитель:

д.т.н., доцент, Шаров В.Д.
(уч.степень, уч.звание, Ф.И.О.)

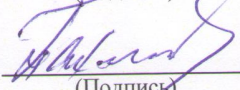

(Подпись)

Рецензенты:

д.т.н., доцент Большедворская Л.Г.
(уч.степень, уч.звание, Ф.И.О.)


(Подпись)

к.т.н., с.н.с. Пахомов О.В.
(уч.степень, уч.звание, Ф.И.О.)


(Подпись)

Работа допущена к защите:

Заведующий кафедрой

д.т.н., профессор, Воробьев В.В.
(уч.степень, уч.звание, Ф.И.О.)


(Подпись)

МОСКВА 2023

Актуальность научно квалификационной работы (НКР) заключается в решении практически важных научных задач по объединению систем управления для оптимизации рабочих процессов авиапредприятия. В связи с вступлением в силу ФАП-10, разрешающих в авиакомпаниях совмещение в одном лице функций по руководству системой управления безопасностью полетов (СУБП) и системой менеджмента качества (СМК), актуальность темы возрастает. В АУЦ объединение СУБП и СМК допускается ФАП-289, в организациях по ТО традиционно вопросами безопасности и качества занимаются одни и те же специалисты.

Целью исследования в НКР является разработка интегрированной системы управления безопасностью полётов и качеством в авиапредприятии, в части формирования методики приоритизации управленческих решений на основе обработки больших массивов данных по деятельности организации с использованием методов многомерного статистического анализа.

Поставленная цель в настоящей работе достигается путем решения основных задач:

1. Исследование существующих требований, методов и опыта интеграции систем управления безопасностью полётов и качеством в авиапредприятиях;
2. Анализ показателей уровня безопасности полетов и качества, их совместного применения в авиапредприятиях и разработка единой системы показателей;
3. Обработка больших массивов данных о деятельности авиапредприятия методом главных компонент факторного анализа с целью выявления укрупненных скрытых факторов состояния безопасности и качества организации;
4. Использование двух главных выявленных факторов в качестве критериев оценки управленческих решений и прогнозирование их изменений методом многомерного регрессионного анализа.

5. Решение двухкритериальной оценки оптимизации для приоритизации управленческих решений.

Объектом исследования в работе является эксплуатант, имеющий свой учебно-тренажёрный центр подготовки персонала, полностью обеспечивающий техническое обслуживание и поддержание лётной годности своего парка ВС.

Предметом исследования является объединенная система управления безопасностью полетов и качеством.

Методы исследования. Для решения поставленных задач в работе использовались методы системного анализа и теории принятия решений, многомерные статистические методы обработки данных, экспертное оценивание.

Научная новизна работы состоит в том, что в ней:

- предложена новая единая система показателей уровня безопасности полетов и качества;
- разработана новая методика оптимизации выбора управленческих решений в области безопасности и качества на основе совместного использования методов факторного анализа и многомерного регрессионного анализа.

Теоретическая значимость заключается в получении теоретико-методологических положений, методик и алгоритмов обработки данных, позволяющих повысить эффективность СУБП и СМК в авиапредприятии.

Практическая значимость работы заключается в том, что ее результаты позволяют:

1. оптимизировать процесс мониторинга показателей и выработки управленческих решений, используя современное программное обеспечение для ЭВМ, автоматизировать процесс оценки степени влияния показателей СУБП и СМК.
2. применять их в качестве методологической базы при разработке, внедрении и совершенствовании современных систем управления БП и качества на авиапредприятии, реализуя требования соответствующих нормативных документов в области гражданской авиации.

3. проводить дальнейшие исследования в целях объединения систем управления.

На защиту выносятся:

- предлагаемая система показателей БП и качества эксплуатанта, имеющего в составе АУЦ и организацию по ТО ВС;
- методика использования метода главных компонент для формирования укрупненных скрытых факторов, определяющих уровень БП и качества в авиапредприятии;
- методика прогнозирования влияния управленческих решений (УР) на уровень БП и качества и решение двухкритериальной задачи оптимизации выбора УР в авиапредприятии.

Апробация.

Промежуточные результаты исследования докладывались на научных и практических семинарах и конференциях:

1. Международная научно-техническая конференция, посвященная 50-летию МГТУ ГА «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества» 25-26 мая 2021 г. Тема: «Применение многомерного статистического анализа при разработке интегрированной системы управления безопасностью в организации по ТО ВС».

2. Конкурс НИР студентов и молодых учёных учебных заведений гражданской авиации, посвященного 100-летию со дня создания отечественной гражданской авиации. Организатор: ФАВТ (Росавиация), 2022 г. в направлении: «Обеспечение безопасности полетов и техносферная безопасность». Тема: «Методика оптимизации управления безопасностью и качеством в организации по ТО ВС с применением метода главных компонент факторного анализа».

3. Международная научно-техническая конференция, посвященная 52-летию МГТУ ГА «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества» 18-19 мая 2023 г. Тема: «Методика оптимизации управления

безопасностью и качеством в организации по ТО ВС с применением метода главных компонент факторного анализа».

По теме диссертации опубликовано 2 статьи.

В первой главе проведён обзор существующих нормативных требований в рамках СУБП и СМК эксплуатанта, организации по ТО и учебного центра.

В авиапредприятии это, прежде всего, СУБП, СМК, система авиационной безопасности (САБ) и системы охраны труда. Эти системы разрабатываются, внедряются и функционируют в организациях-поставщиках авиационных услуг в соответствии с требованиями соответствующих нормативных документов.

Возрастает значение системы информационной безопасности.

Важное значение для управления безопасностью играют и другие системы, активно развивающиеся в последнее время.

Идея интегрированной системы не нова. Еще в 2007 г. Международная ассоциация воздушного транспорта (IATA) в своем руководстве ввела аббревиатуру iASM (Integrated Airline Management System). Предлагается для интегрированной системы управления безопасностью авиапредприятия использовать аббревиатуру ISMS. Концептуально такая система должна включать 8 составляющих (Табл.1).

Таблица 1

Объединение систем в интегрированную систему управления безопасностью

| | |
|--|---|
| Интегрированная система управления безопасностью | Система управления безопасностью полётов |
| | Система менеджмента качества |
| | Управление производственной безопасностью |
| | Управление ресурсами авиапредприятия |
| | Управление экологической безопасностью |
| | Управление взаимоотношениями с клиентами |
| | Управление авиационной безопасностью |
| | Управление информационной безопасностью |

Однако на данном этапе интегрированная система управления в авиапредприятии опирается на объединение СУБП и СМК.

Несоответствия, выявленные в процессе аудитов безопасности и качества можно рассматривать как проявления факторов опасности (ФО). Совместная обработка результатов аудитов с применением современных методов многомерного анализа позволяет более полно использовать информативность

больших массивов, собранных данных и, соответственно, принимать более обоснованные решения по распределению ресурсов авиапредприятия.

Очевидно, что для функционирования такой системы потребуется обработка значительных массивов различной информации. Оптимизация процедур сбора и первичной обработки такой информации является важной задачей и может быть обеспечена применением многомерных статистических методов, в частности, метода главных компонент факторного анализа. Использование метода показано на примере внедрения интегрированной системы управления безопасностью в авиапредприятии являющимся эксплуатантом, организацией по ТО и учебным центром.

Показатели эффективности функционирования СУБП и СМК традиционно играют ключевую роль в стратегии и планировании деятельности по обеспечению безопасности полётов и качества. К тому же, они не только отражают эффективность функционирования процессов в рамках систем управления, но и могут служить индикатором о появлении новых рисков или ФО в деятельности авиапредприятия, играют стимулирующую роль в обеспечении БП и качества. Таким образом, показатели являются и мерой уровня достижения целей, и инструментом для управления ею.

Рассматриваемые КПЭ подразделяются на несколько направлений: финансового, направлений внутренних и внешних процессов. Назначение финансовых показателей – иметь возможность анализировать уровень общих затрат на деятельность и уровень полученной прибыли. В качестве финансовых показателей целесообразно выбрать показатели выполнения плана по реализации услуг и эффективность себестоимости работ (услуг).

К внешним процессам необходимо отнести показатель операционной надёжности (формула 1.1 и 1.2):

$$K_{он} = \frac{Nз}{Nп} * 100\%, \quad (1.1)$$

$$П_{он} = 100\% - K_{он}, \quad (1.2)$$

где $Nз$ – Количество прерванных операций;

$Nп$ – Количество посадок.

Кон – Коэффициент операционной надёжности

Назначением показателей направления внутренних процессов является сравнительный анализ по услугам, трудозатратам собственного капитала, движению остатков и обеспеченности работ материалами и запасными частями (товарно-материальные ценности или ТМЦ), наличия страхового запаса (СЗ) по материалам и запасным частям.

К категории показателей направления внутренних процессов относятся уровень качества ТО, процент выполнения внеплановых ТО по времени простоя – коэффициент внеплановых работ по времени на ремонты оборудования, выполняемого вне плана, в том числе аварийного и т.д.

КПЭ дают более четкое представление о протекающих процессах в авиапредприятии и фокусируют внимание руководителя на наиболее важных вопросах, а также согласуются с возможными современными методами проведения технического обслуживания и ремонта.

Во второй главе приведены результаты использования метода главных компонент для решения задач исследования.

Для решения данной задачи предлагается использовать метод главных компонент факторного анализа.

Цель метода главных компонент состоит в уменьшении количества компонент случайного вектора состояния организации (в уменьшении размерности его пространства), которое возможно без существенной потери информации об исследуемой системе, содержащейся в данных наблюдений.

Задача формулируется следующим образом: используя материалы n наблюдений заменить набор m ФО исходных признаков Z меньшим числом $k < m$ стандартизованных ортогональных факторов или компонент, представляющих собой наиболее существенные латентные ФО.

Модель компонентного анализа в матричном виде представляется как:

$$Z = W \cdot F$$

где $Z=(Z_1, Z_2, \dots, Z_n)$ - случайный стандартизованный вектор исходных признаков;

$F=(F_1, F_2, \dots, F_n)$ вектор факторов;

W – матрица факторных нагрузок.

Матрица W вычисляется на основе собственных чисел и собственных векторов корреляционной матрицы R исходных признаков из соотношения

$$R=W \cdot W^T$$

При этом достигается ортогональность столбцов матрицы W , что при решении системы уравнений (1) относительно F в свою очередь обеспечивает ортогональность найденных компонент.

Из исследований по применению этого метода в авиационной деятельности отметим работу, в которой рассматриваются вопросы прогнозирования и предотвращения авиационных событий на основе больших массивов данных. Факторный анализ используется совместно с методом байесовской сети доверия. Рассматривается более 60 типов авиационных событий и приводится подробная методика пошагового прогнозирования на различных этапах полета. Подход выгодно отличается от прогнозирования с помощью трендов по «историческим данным» и позволяет учитывать системные недостатки. Вместе с тем, попытка решения такой глобальной задачи может столкнуться с проблемой достаточности исходных данных.

В работе приведен практический пример использования факторного анализа для обработки результатов аудита безопасности и качества в организации по ТО. Данный подход может быть использован и для решения поставленной задачи.

Практическая реализацию метода приведена на примере реальных данных того же авиапредприятия. Использован программный пакет STATISTICA-7, его описание в руководстве и методика практического применения факторного анализа из электронного учебника.

В результате проведенного анализа выявлено 4 укрупненных (скрытых) фактора опасности, расположенные ниже в порядке уменьшения факторных нагрузок. Графически представленных на рис. 1

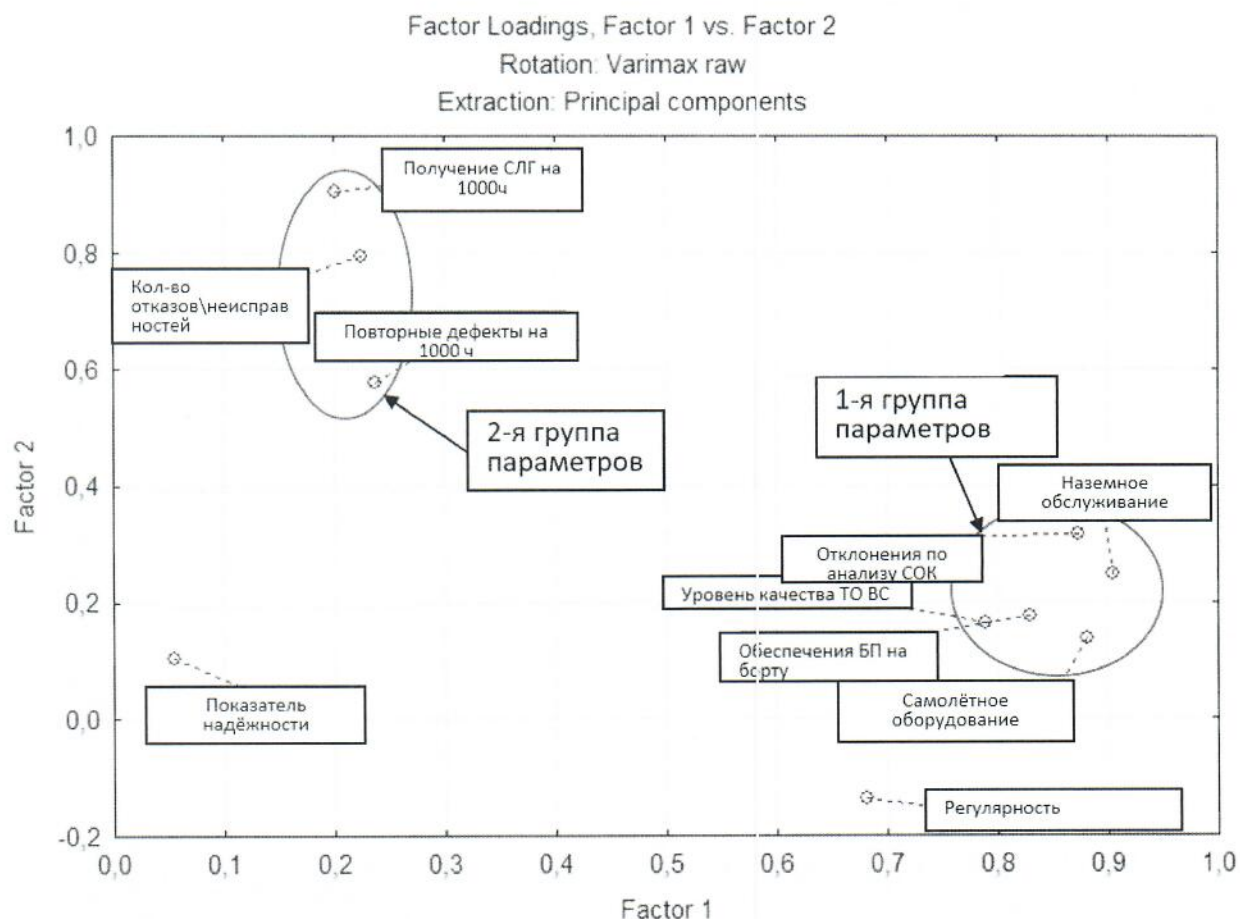


Рис. 1 Распределение исходных параметров показателей в пространстве двух главных компонент

$F_1=4,74$ – Недостатки в профессиональной подготовке и допуска персонала к работе;

$F_2=2,40$ – Недостатки в техническом состоянии ВС;

$F_3=1,35$ – Показатель надёжности;

$F_4=1,24$ - Регулярность.

В следующей главе по F_1 и F_2 решена двухкритериальная задача по поиску комплексного критерия выработки управленческих решений

В третьей главе приведена методика разработки управленческих решений в авиапредприятии на основе многомерного регрессионного анализа показателей безопасности и качества.

К решению данной проблематики необходим особый подход с научно обоснованной методологией. Согласно теории принятия решений, данная задача имеет двухкритериальный характер.

На сегодняшний день существуют различные методы решения двухкритериальных задач для принятия единственного оптимального решения.

Чаще всего принцип решения сводится к сокращению критериев до одного. Результат достигается использованием метода свертки, метода главного критерия, метода пороговых критериев, метода расстояния, что строгое обоснование этих методов отсутствует и их применение определяется условиями задачи и предпочтением лица принимающего решения (ЛПР).

Наряду с перечисленными, также, часто используют множество Эджворта-Парето, принцип Нэша и человеко-машинные методы принятия решений. Последние представляют наибольший интерес, т.к. не требуют изначально фиксированного определения схемы выбора наилучшего решения, и позволяют сохранить всю имеющуюся информацию.

Для возможности выбора наиболее подходящего метода решения двухкритериальной задачи обозначим исходные данные, а также условия, которым они должны соответствовать.

Итак, имея два основных фактора (два показателя) необходимо произвести оптимизацию УР. Она может выражаться в логическом виде (да или нет), т.е. выполнять ли рассматриваемое УР, или затраты на его реализацию не имеют смысла, или в виде ранжирования первоочередности внедрения запланированных УР. В связи с тем, что на практике не все УР можно отменить, зачастую, перечень УР планируется ввиду необходимости реализации мер, логический вид оптимизации в данной работе не рассматривается. Здесь и далее, под оптимизацией УР будет пониматься их ранжирование по первостепенности их внедрения в деятельность авиапредприятия.

Принятие решения по двум критериям необходимо обосновывать математически, однако математика не позволяет видеть будущее, так как работает с известными значениями. Моделирование частично помогает решить эту проблему, однако любая модель также основывается на известных данных.

Для построения регрессионной модели прогнозирования эффективности УР рассматриваются 6 параметров X - ОФО, отражающих недостатки в деятельности по каждому направлению X_{ORG} X_{DSP} X_{FLT} X_{GRH} X_{MNT} X_{CAB}

Значения параметров являются независимым переменными в уравнениях регрессии, а зависимыми являются F_1 и F_2

Эксперты оценивают количественно влияние каждого параметра ОФО (X) на F_1 и F_2 за 12 месяцев и составляются уравнение 1.3

$$F_1 = B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_4X_4 + B_5X_5 + B_6X_6 + E \quad (1.3)$$

Таких уравнений минимум 6 по F_1 и F_2 . Эти данные являются исходными для модели в программе STATISTICA

Далее вводятся прогнозируемые значения X без учета УР с получением соответствующих значений F_1 и F_2

Составляется список УР и оценивается, как каждое УР влияет на каждый ОФО (X)

После этого вводятся все X поочередно с учетом каждого УР и получаем прогнозные значения $F_{1ур1}$ и $F_{2ур1}$

А дальше для каждого УР рассчитывается разность ΔF_1 и ΔF_2 . (табл. 2).

Таблица 2

Экспертные оценки влияния УР на ОФО

| Название управленческого решения (УР) | ΔF_1 | ΔF_2 | Коэффициенты эффективности (K_n) для F_1/F_2 | | | | | |
|--|--------------|--------------|--|-------------|-------------|----------------|----------------|-------------|
| | | | ORG | DSP | FLT | GRH | MNT | CAB |
| 1. Обновление программ обучения | 0,137 | 0,392 | 0,035 /0 | 0,015 /0 | 0,015 /0 | 0,01/ 0 | 0,005 /0,01 | 0,005 /0 |
| 2. Разработать методические рекомендации по взаимодействию смежных служб при наземном обслуживании | 0,213 | 0,246 | 0/0 | 0/0 | 0,005 /0 | 0,01/ 0,035 | 0,005 /0,02 | 0/0 |
| 3. Выпуск распоряжения согласно ЛМС по | 0,315 | 0,102 | 0/0,0 1 | 0/0 | 0,02/ 0 | 0,02/ 0 | 0/0,0 35 | 0/0 |

| | | | | | | | | |
|--|-------|-------|---------------------|-------------|-------------|----------------|-------------|-------------|
| раннему включению обогрева крыла | | | | | | | | |
| 4. Обновление навигационных баз данных\поиск альтернативных поставщиков информационных систем | 0,096 | 0,368 | 0/0,0 05 | 0,035 /0 | 0,01/ 0 | 0,005 /0 | 0,01/ 0 | 0,005 /0 |
| 5. Приобретение браслетов для мониторинга устойчивости | 0,270 | 0 | 0/0 | 0,035 /0 | 0,005 /0 | 0,005 /0 | 0,005 /0 | 0,005 /0 |
| 6. Внесения изменений в ВНД согласно новым стандартам ISM | 0,064 | 0,452 | 0,015 /0,00 5 | 0,015 /0 | 0,005 /0 | 0,05/ 0,005 | 0,005 /0 | 0/0 |
| 7. Заключение договора на расчёт центровки | 0,344 | 0,251 | 0/0 | 0,005 /0 | 0,02/ 0 | 0,01/ 0,01 | 0/0 | 0/0 |

Исходя из выше приведенных данных, представляется возможным скорректировать среднемесячные (за весь предыдущий год) коэффициенты вклада каждого ОФО в показатель после внедрения каждого УР, используя формулу:

$$M_{ij} = M_{i\text{ ср}} - M_{i\text{ ср}} * K_{ij}, \quad (1.4)$$

где: $M_{i\text{ ср}}$ - среднемесячные значения ОФО за прошлый год;

K_{ij} – коэффициенты эффективности управленческих решений.

Новые коэффициенты (M_{ij}) нашего примера после корректировки по формуле приведены в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициенты вклада ОФО с учетом прогнозируемого эффекта от внедрения
каждого УР

| УР | Коэффициенты M_{ij} | | | | | |
|----|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | ORG | DSP | FLT | GRH | MNT | CAB |
| 1 | 1,1492 | 1,1258 | 3,3654 | 1,7325 | 1,1608 | 0,4146 |
| 2 | 1,1667 | 1,1667 | 3,3996 | 1,7325 | 1,1608 | 0,4167 |
| 3 | 1,1667 | 1,1667 | 3,3483 | 1,7150 | 1,1667 | 0,4167 |
| 4 | 1,1667 | 1,1258 | 3,3825 | 1,7413 | 1,1550 | 0,4146 |
| 5 | 1,1667 | 1,1258 | 3,3996 | 1,7413 | 1,1608 | 0,4146 |

| | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 6 | 1,1492 | 1,1492 | 3,3996 | 1,6625 | 1,1608 | 0,4167 |
| 7 | 1,1667 | 1,1608 | 3,3483 | 1,7325 | 1,1667 | 0,4167 |

По результатам выполнения расчетов производится оценка значений комплексных критериев. Для удобства целесообразно сортировать УР по убыванию значений (табл. 2).

Так как задача двухкритериальная, представим два критерия эффективности УР:

$$C_1^j = \frac{\Delta F_{1j}}{Q_i}; \quad C_2^j = \frac{\Delta F_{2j}}{Q_j} \quad (3.21)$$

где Q_j – стоимость j -го УР.

Значения критериев эффективности рассчитываются для каждого УР.

Далее, необходимо выполнить расчеты нормированных значений, как рекомендуется в [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Для критерия C_1 нормированное значение C_1^{j*} рассчитывается как:

$$C_1^{j*} = \frac{C_1^j - \min C_1^j}{\max C_1^j - \min C_1^j} \quad (3.22)$$

где: $\max C_1^j$ и $\min C_1^j$ максимальное и минимальное значение критерия

Тогда можно выполнить расчет комплексных критериев C^j для каждого УР используя формулу:

$$C^j = C_1^{j*} w_1 + C_2^{j*} w_2 \quad (3.23)$$

Таблица 3

Ранжирование УР по степени оптимизации

| п/п | Управленческое решение | Комплексный критерий безопасности и качества в интегрированной системе управления (СУБП ∩ СМК) |
|-----|---|--|
| 1 | Обновление программ обучения | 0,945 |
| 2 | Разработать методические рекомендации по взаимодействию смежных служб при наземном обслуживании | 0,519 |

| | | |
|---|--|-------|
| 3 | Выпуск распоряжения согласно ЛМС по раннему включению обогрева крыла | 0,474 |
| 4 | Обновление навигационных баз данных\поиск альтернативных поставщиков информационных систем | 0,432 |
| 5 | Приобретение браслетов для мониторинга утомляемости | 0,362 |
| 6 | Внесения изменений в ВНД согласно новым стандартам ISM | 0,352 |
| 7 | Заключение договора на расчёт центровки | 0,282 |

В результате формируется перечень УР с указанием степени целесообразности внедрения каждого из них. Низкая степень целесообразности означает, что внедрение этого решения повлечет слишком большие финансовые затраты, не оказав равноценно существенного влияния на улучшение БП и качества.

Цель НКР достигнута: решена важная научная задача разработки интегрированной системы управления безопасностью полётов (СУБП) и качеством авиапредприятия (СМК) в виде методики принятия управленческих решений.

Основные результаты НКР сводятся к следующему:

1. Сформирована единая совокупность показателей для интегрированной системы СУБП+СМК.

2. Разработана методика применения факторного анализа статистических данных по предприятию, имеющему в составе авиакомпанию, учебный центр и организацию по ТО ВС, с целью выделения обобщенных факторов, что позволяет предлагать конкретные мероприятий для повышения безопасности полетов и качества авиационных услуг.

3. Разработан применимый для такого авиапредприятия метод поддержки принятия управленческих решений с использованием регрессионного моделирования и метода двухкритериальных решений - «человеко-машинных» процедур.

Применение разработанной методики позволит улучшить качественные показатели работы предприятия, повысить безопасность полетов, сократить

количество претензий от заказчиков, а, следовательно, повысить конкурентоспособность предприятия в целом.