

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. Н.Е. ЖУКОВСКОГО  
"ХАРЬКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ"**

**ОТКРЫТЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ  
И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ИНТЕГРИРОВАННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ**

**Сборник научных трудов**

**Выпуск 33**

**Харьков  
«ХАИ»  
2006**

ББК 32.973.3  
О 83  
УДК 629.7.01; 681.327.11

*Утверждено к печати ученым советом Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», протокол № 4 от 20.12.2006 г.*

**Редакционная коллегия: А. И. Бабушкин, П. В. Балабуев, В. К. Борисевич, В. Е. Гайдачук, А. Г. Гребеников, Н. В. Ефремова, В. В. Кириченко, Б. М. Конорев, В. С. Кривцов, А. К. Мялица, В. И. Рябков, И. Б. Сироджа, В. Г. Сухоребрий, О. Е. Федорович, В. Н. Фурашев**

**Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. науч. трудов. Вып. 33. - Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т "ХАИ", 2006. –217 с.**

**ISBN 966-662-146-0**

Освещены вопросы аэродинамики, прочности, конструкции и технологии производства авиационной техники, методы интегрированного проектирования, подготовки производства, инженерного анализа с помощью систем CAD/CAM/CAE. Представлены методы обеспечения безопасности конструкций при длительной эксплуатации, системы информационного обеспечения жизненного цикла самолетов, системы обеспечения безопасности жизнедеятельности для летательных аппаратов, вопросы экономического анализа рисков, методы поддержки, принятия управленческих решений.

Для специалистов промышленных и научных организаций, преподавателей и студентов.

**Адрес редакционной коллегии: 61070, г. Харьков, ул. Чкалова, 17,  
Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»,  
тел. (057) 707-43-63**

**Свидетельство о государственной регистрации КВ №7975 от 09.10.2003 г.  
В сборнике публикуются статьи на украинском и русском языках.**

**ISBN 966-662-146-0**

**© Национальный аэрокосмический университет  
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2006**

## Содержание

А. Г. Гребеников, Ю. Н. Геремес, П.О. Науменко, С. П. Светличный. Метод определения характеристик общего напряжённо-деформированного состояния отсека фюзеляжа самолёта методом конечных элементов	5
В.М. Фурашев. Щодо створення типової інформаційно-аналітичної системи підготовки прийняття рішень в органах державної влади	16
А. Н. Нарожный. Компьютерная поддержка процесса определения летно-технических характеристик самолета. Часть 5	21
Т. В. Доник. Вплив корозійного пошкодження на величину коефіцієнта інтенсивності напружень і граничний стан елемента конструкції	30
А. В. Наумов. Математическое моделирование при создании комплексов бортового оборудования самолета	36
Н.С. Быцко, Т.А. Гамануха, А.Г. Гребеников, В.В. Тюрев. Влияние удлинения крыла на аэродинамические характеристики дозвукового транспортного самолёта в крейсерском режиме полёта	40
С. С. Левин, Ю. К. Чернышев. Сравнение моделирования сверхзвукового течения в расширяющейся трубе с использованием метода конечных элементов и с совместным применением БА-модели и модели «твердых» сфер	53
Д. В. Легошин, А. И. Яковлев, М. А. Затучная. Построение аэродинамических и энергетических характеристик турбины ветроэнергетической установки горизонтально-осевого типа	57
В.Н. Шкурко. Расчёт обтекания тел вращения гиперзвуковым воздушным потоком	62
Н. Д. Кошевой, М. В. Цеховской, В. А. Дергачев, А. Н. Кухар. Оптимизация вихретоковых преобразователей	66
В. В. Баранник, А. К. Юдин. Рекуррентное двухпризнаковое двоичное полиадическое кодирование	70
Д. В. Божко. Управление качеством производственных процессов в проектах создания высокотехнологичной техники	75
М. А. Слепичева, Ю. К. Чернышев. Имитационное моделирование потока объектов с учетом поля предпочтительных направлений	83
В. В. Баранник, А. А. Красноруцкий, Н. Ф. Сидоренко. Обоснование выбора дискретного преобразования Уолша для сжатия изображений	89
В. П. Зинченко, С. В. Зинченко, М. Д. Гераимчук, И. П. Муха, В.В. Борисов. Эмпирический метод анализа алгоритмов поиска	94
Э.Н. Хомяков, А.И. Горб, Е.Э. Наумова, В.Н. Медведев. Двойная дифференциальная коррекция кодовых псевдодальностей, их разностей по навигационным космическим аппаратам в региональной системе координатно-временного обеспечения потребителей	104

Б. М. Конорев, В. Л. Петрик. Обоснование выбора системы единиц физических величин для независимой верификации при сертификации программного обеспечения	116
М. В Лапа. Автоматизированное извлечение конструкторско–технологических знаний	121
В. А. Слободян. Автоматизация процесса распознавания видов загрязнений для космического мониторинга морских акваторий	127
И. В. Кононенко, Н. В. Шатохина. Алгоритмическая модель для решения задачи поиска оптимальной стратегии реконструкции сахарного завода	132
А. Г. Осиевский, Е. В. Макарова. Система управления экономическими рисками в процессе инвестиционной деятельности	137
Д. Л. Крета. Методика мониторинга техногенного загрязнения осаждения пыли в окрестностях крупных городов Украины в ArcGis 9.1	144
Г.Я. Красовский, Т.А. Ключко, М.В. Оксененко. Использование современных компьютерных технологий при создании информационно-аналитической системы НКАУ	154
И.Б. Некрасов, А.Д. Болгаров. Системный анализ функций управления корпорации	157
С. В. Валейшо, Н. И. Баранова. Анализ эффективности ремонтного производства	165
В. С. Исаков, Ю. С. Выходец. Подход к оценке жизнеспособности проекта: экспериментальная проверка на примере лотерейного проекта	172
В.Н. Клименко. Метод определения влияния конструктивно-технологических параметров односрезного болтового соединения на распределение контактных давлений в зоне сопряжения его элементов	178
Рефераты	206
Требования к оформлению статей в тематический сборник научных трудов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» «Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии»	216

**За достоверность информации несет ответственность автор.  
При перепечатывании материалов сборника ссылка на «Открытые  
информационные и компьютерные интегрированные технологии»  
обязательна**

## **Метод определения характеристик общего напряжённо-деформированного состояния отсека фюзеляжа самолёта методом конечных элементов**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*

При исследовании характеристик статической прочности, живучести и долговечности фюзеляжей самолётов применяются экспериментальные и расчётные методы [1]. Однако использование экспериментальных методов исследования связано с большой дороговизной физической модели и испытательного оборудования. Поэтому они дополняются расчётными методами определения характеристик НДС элементов фюзеляжа.

В настоящее время основной расчётный метод определения НДС – это метод конечных элементов, реализованный в компьютерных системах инженерного анализа, одной из которых является система ANSYS. Она позволяет с высокой степенью точности определять характеристики как общего, так и локального НДС элементов конструкций при упругом и упруго-пластическом расчётах.

Целью данной статьи является разработка метода определения характеристик общего напряжённо-деформированного состояния фюзеляжа самолёта методом конечных элементов.

Метод определения характеристик общего НДС фюзеляжа самолёта с помощью системы ANSYS включает в себя следующие этапы:

1. Создание математической модели облика самолёта.
2. Создание мастер-геометрии фюзеляжа и её увязка с мастер-геометрией самолёта с помощью компьютерных систем CAD/CAM/CAE.
3. Определение нагрузок, действующих на агрегаты самолёта и фюзеляж.
4. Выбор конструктивно-силовой схемы самолёта и его фюзеляжа.
5. Создание расчётной схемы конструкции фюзеляжа, определение эпюр изгибающих и крутящих моментов, а также поперечных и продольных сил.
6. Проектировочный расчёт конструктивно-силовых элементов фюзеляжа при разных расчётных случаях.
7. Создание модели распределения пространства фюзеляжа в первом приближении.
8. Зонирование фюзеляжа на расчётные отсеки.
9. Выбор исследуемой зоны фюзеляжа, импортирование её в систему ANSYS.
10. Разработка расчётной схемы отсека фюзеляжа и уточнение нагрузок, действующих на отсек фюзеляжа.
11. Задание характеристик деформирования применяемых конструкционных материалов для силовых элементов отсека фюзеляжа.
12. Создание конечно-элементной модели конструкции отсека фюзеляжа с помощью системы CAD/CAE ANSYS.
13. Расчёт характеристик общего НДС элементов отсека фюзеляжа с

помощью системы ANSYS.

14. Анализ характеристик полученного общего НДС отсека фюзеляжа и коэффициентов запаса прочности. Принятие решения о прочности данной конструкции фюзеляжа.
15. Уточнение геометрических параметров элементов отсека фюзеляжа и повторное проведение расчёта (если конструкция не прочна).
16. Разработка отчёта о проведенном расчёте общего НДС фюзеляжа (если конструкция прочна).

Рассмотрим каждый из этапов более подробно.

Исходными данными для создания математической модели облика самолёта являются содержащиеся в техническом задании величина расчётной дальности  $L_p$  полёта самолёта, масса полезной (коммерческой) нагрузки  $m_n$ , её габаритные размеры, значения скорости  $V$  (максимальной и крейсерской), высота полёта  $H$ , условия базирования (класс аэродрома, длина ВПП), аэродинамическое качество на крейсерском режиме полёта, применяемые конструкционные материалы, совокупность критериев эффективности самолёта [2].

В соответствии с исходными данными выбирают схему самолёта, определяют минимальную взлётную массу самолёта, оптимизируют основные параметры самолёта, разрабатывают компоновку и чертёж общего вида самолёта [2]. Всё это служит основой для создания параметрической модели мастер-геометрии самолёта и фюзеляжа в системах CAD/CAM/CAE (рис. 1).

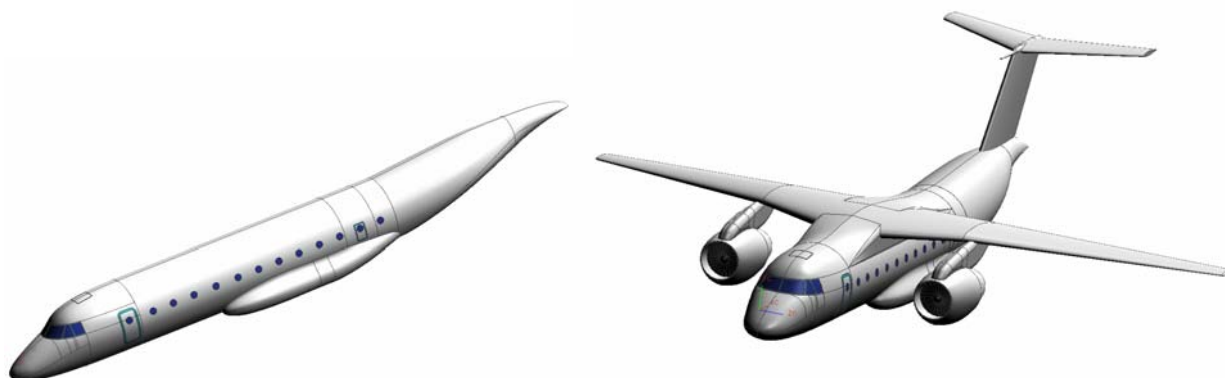


Рис. 1. Мастер-геометрия поверхности фюзеляжа и самолёта, созданная с помощью системы Unigraphics NX

Нагрузки при выбранном случае нагружения определяются в соответствии с НЛГС.

Полётные нагрузки, определённые с учётом сжимаемости воздуха при всех скоростях, должны быть рассмотрены:

- во всём диапазоне расчётных высот полёта;
- при всех требуемых сочетаниях высоты и веса при любом практически возможном распределении нагрузки в пределах эксплуатационных ограничений, предписанных в РЛЭ.

К фюзеляжу крепятся крыло, оперение, шасси и нередко двигатели. Кроме того, в фюзеляже могут размещаться баки с топливом, вооружение, экипаж, пассажиры, оборудование и грузы. Поэтому для фюзеляжа основными внешними нагрузками будут являться нагрузки, подходящие от этих частей и грузов. На поверхности фюзеляжа возникают местные аэродинамические нагрузки

разрежения и давления, которые в отдельных местах (фонарь кабины лётчиков, носовая часть и т.п.) могут достигать величины скоростного напора (давления)  $10^5$  Па разрежения [3].

В герметических отсеках фюзеляжа действуют также значительные нагрузки от избыточного давления, возникающие от разности давлений внутри и снаружи кабины [3].

В полётных случаях опорами для фюзеляжа будут служить лонжероны крыла. В посадочных случаях опорами для фюзеляжа будут являться стойки шасси и лонжероны крыла.

В общем случае на самолёт при полёте в вертикальной плоскости действуют следующие внешние силы (рис. 2): подъёмная сила крыла, сила лобового сопротивления  $X$ , тяга двигателей  $P$ , вес самолёта  $G_0$ , уравнивающая аэродинамическая сила  $Y_{ур}$ , манёвренная сила  $Y_{м.г.о.}$ , массовый момент, вызванный вращением фюзеляжа,  $M_{масс}$  и избыточное давление в фюзеляже. Манёвренная сила  $Y_{м.г.о.}$ , которая возникает на горизонтальном оперении вследствие отклонения руля высоты в начале манёвра, будет создавать как поступательное, так и вращательное движение самолёта [3].

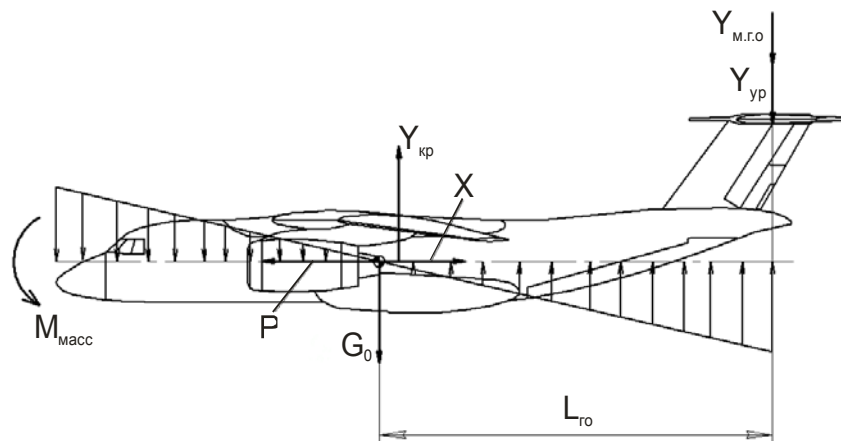


Рис. 2. Внешние нагрузки, действующие на самолёт

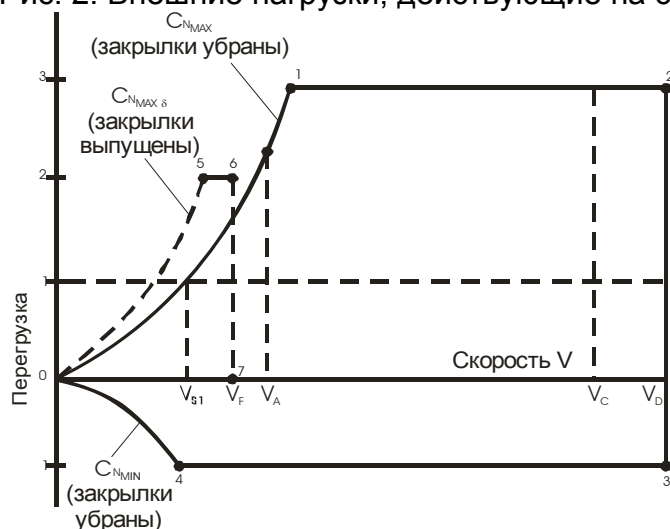


Рис. 3. Огибающая перегрузок при манёвре

Максимальная эксплуатационная перегрузка для любой скорости вплоть до  $V_D$  должна быть не меньше чем

$$n_{\max}^y = 2,1 + \frac{10890}{G + 4540},$$

но при условии, что величина  $n_{\max}^y$  должна быть не меньше 2,5 и не больше 3,8, где  $G$  – максимальный расчётный взлётный вес, кгс.

Минимальная эксплуатационная перегрузка  $n_{\min}^y$  для любой скорости вплоть до  $V_D$ , должна быть не меньше чем  $-1,0$ .

При определении расчётных нагрузок, действующих на фюзеляж, необходимо эксплуатационные нагрузки умножить на коэффициент безопасности  $f$ .

Далее выбирают конструктивно-силовую схему самолёта и фюзеляжа (рис. 4).

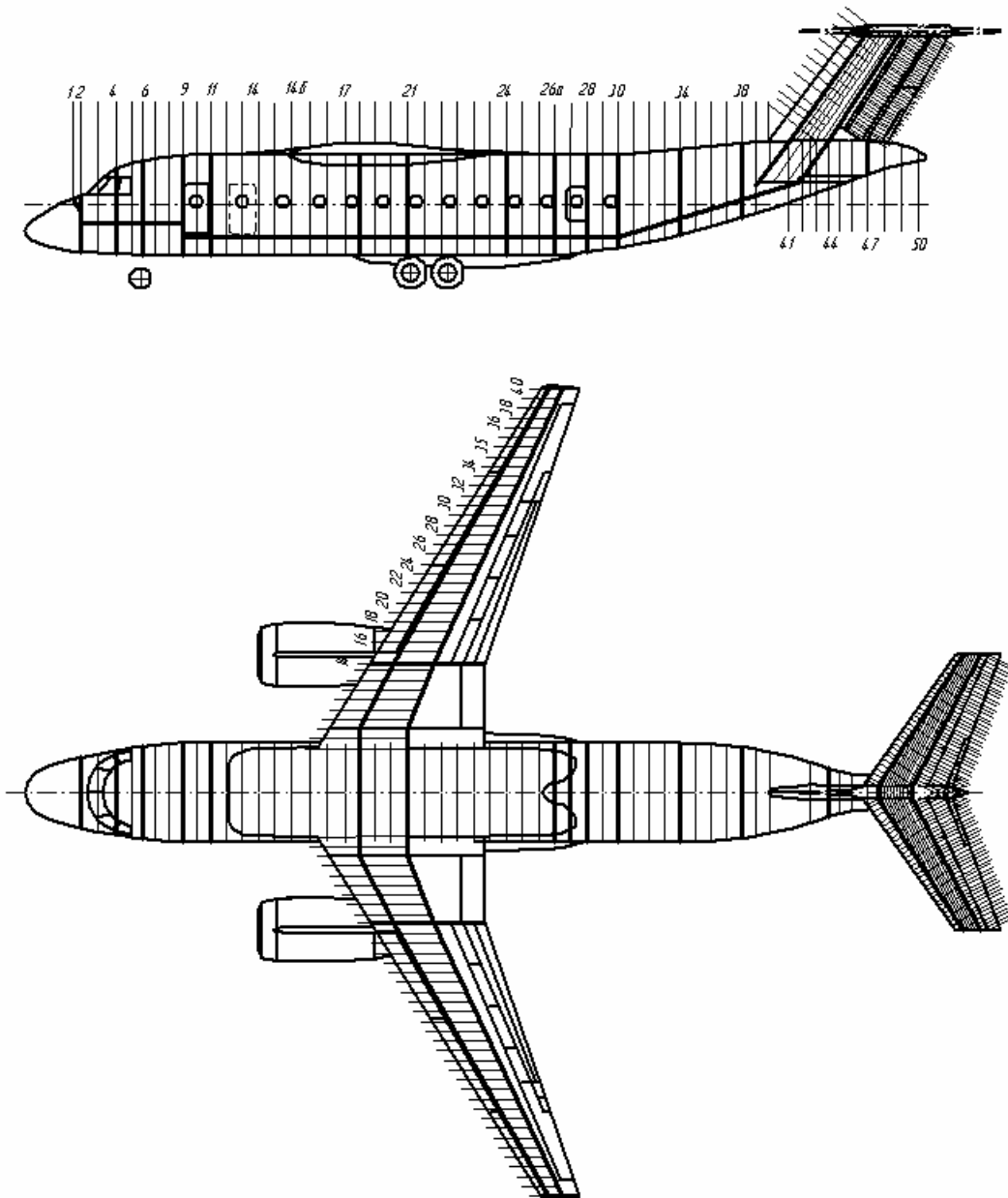


Рис. 4. Конструктивно-силовая схема самолёта

Создаётся расчётная схема фюзеляжа. В случае выполнения манёвра в вертикальной плоскости расчётная схема фюзеляжа самолёта, подобного Ан-74,



представляет собой балку на двух опорах – переднем и заднем лонжеронах крыла (рис. 5).

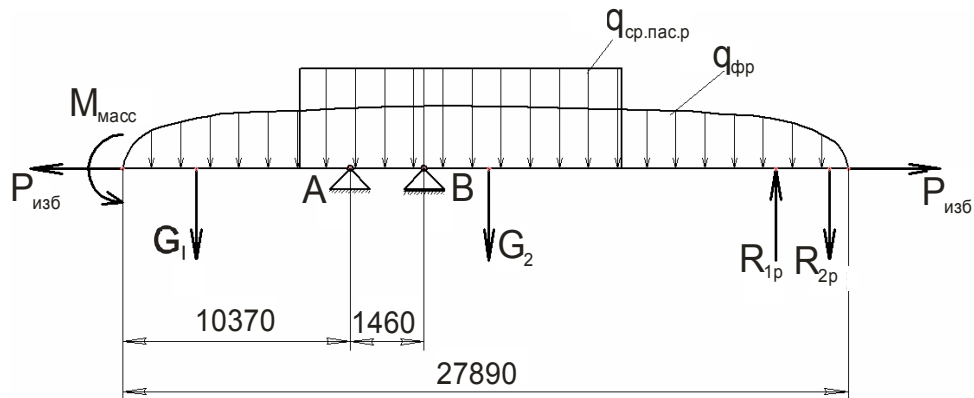


Рис. 5. Расчётная схема фюзеляжа для построения эпюр ВСФ по длине фюзеляжа

Здесь  $q_{од}$  – расчётная погонная нагрузка от собственного веса фюзеляжа;

$q_{пасс.р}$  – расчётная погонная нагрузка от пассажиров;

$G_1$  – сосредоточенная нагрузка от кабины экипажа и передней стойки шасси;

$G_2$  – сосредоточенная нагрузка от задних стоек шасси;

$R_{1p}$  и  $R_{2p}$  – сосредоточенные загрузки от переднего и заднего лонжеронов кила соответственно;

$P_{изб}$  – продольная сила от избыточного давления в фюзеляже.

Затем строят эпюры поперечных сил и изгибающих моментов (рис. 6).

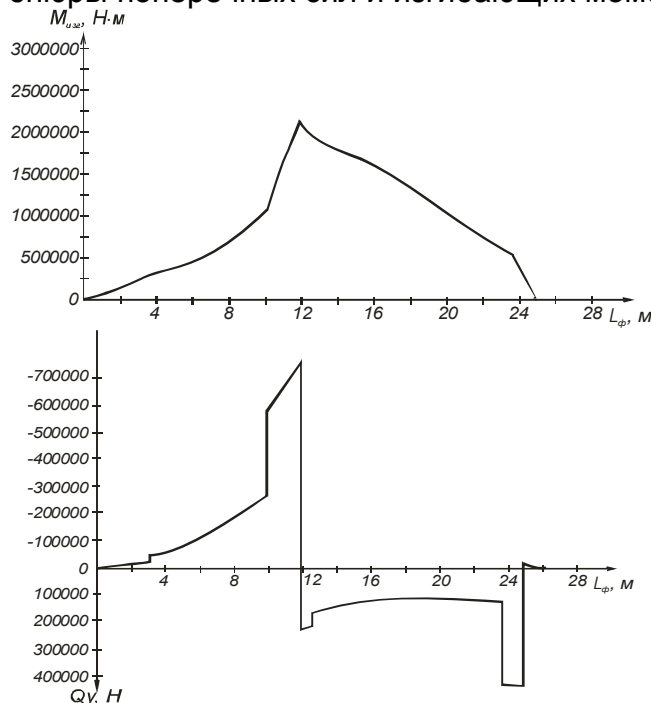


Рис. 6. Эпюры изгибающего момента  $M_{изг}$  и поперечной силы  $Q_y$  вдоль оси фюзеляжа самолёта, подобного Ан-74, при манёвре в вертикальной плоскости

После этого проводят проектировочный расчёт фюзеляжа, в результате которого выбирают геометрические параметры конструктивных элементов фюзеляжа, уточняют модель распределения пространства.

Модель распределения пространства фюзеляжа (рис. 7) рекомендуется создавать в той же системе, в которой создавалась мастер-геометрия.

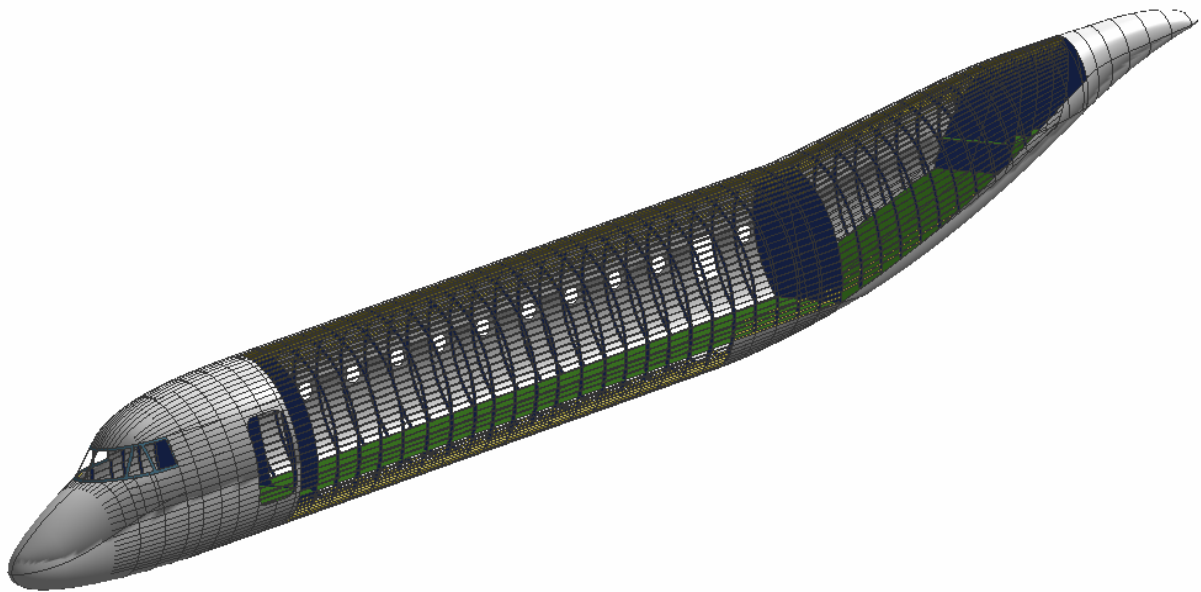


Рис. 7. Часть модели распределения пространства фюзеляжа, необходимая для построения конечно-элементной модели

Фюзеляж представляет собой очень сложный агрегат самолёта с множеством конструктивных элементов. Включение всех этих элементов в расчётную схему при определении характеристик НДС методом конечных элементов приведёт к значительным трудностям как при создании самой модели, так и при её расчёте, ведь в этом случае понадобятся мощнейшие компьютерные ресурсы. Для того, чтобы данную задачу было возможно реализовать, используя обычный ПК, фюзеляж необходимо разбить на зоны и рассчитать их отдельно.

После выбора исследуемой зоны фюзеляжа составляют расчётную схему этой зоны и уточняют нагрузки, действующие на выбранный отсек фюзеляжа. Если расчётная модель обладает симметрией, то можно использовать лишь одну из половин фюзеляжа, находящихся по ту или иную сторону плоскости симметрии. Следует отметить, что от выбора расчётной схемы сильно зависят погрешность и машинное время при расчёте.

В данном случае возникает проблема, как приложить в сечениях фюзеляжа изгибающий момент и поперечную силу. Для решения этой проблемы предлагается прикладывать только поперечную силу на таком расстоянии, на котором она обеспечит необходимый изгибающий момент в нужном сечении фюзеляжа. Поперечная сила и изгибающий момент в итоге пропорционально распределяются по сечению фюзеляжа. Одну из точек приложения поперечных сил следует жёстко закрепить. Примерная расчётная схема отсека фюзеляжа изображена на рис. 8. Здесь в точках А и В прикладывается поперечная сила  $Q$ , одна из которых жёстко закреплена (точка А).

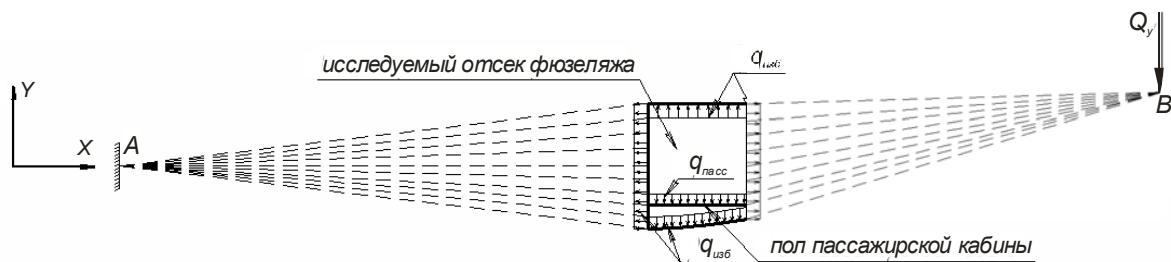


Рис. 8. Расчётная схема отсека фюзеляжа

Задаются характеристики деформирования применяемых конструкционных материалов для силовых элементов отсека фюзеляжа. На рис. 9 представлены характеристики деформирования сплавов 1163АТВ и 1420.

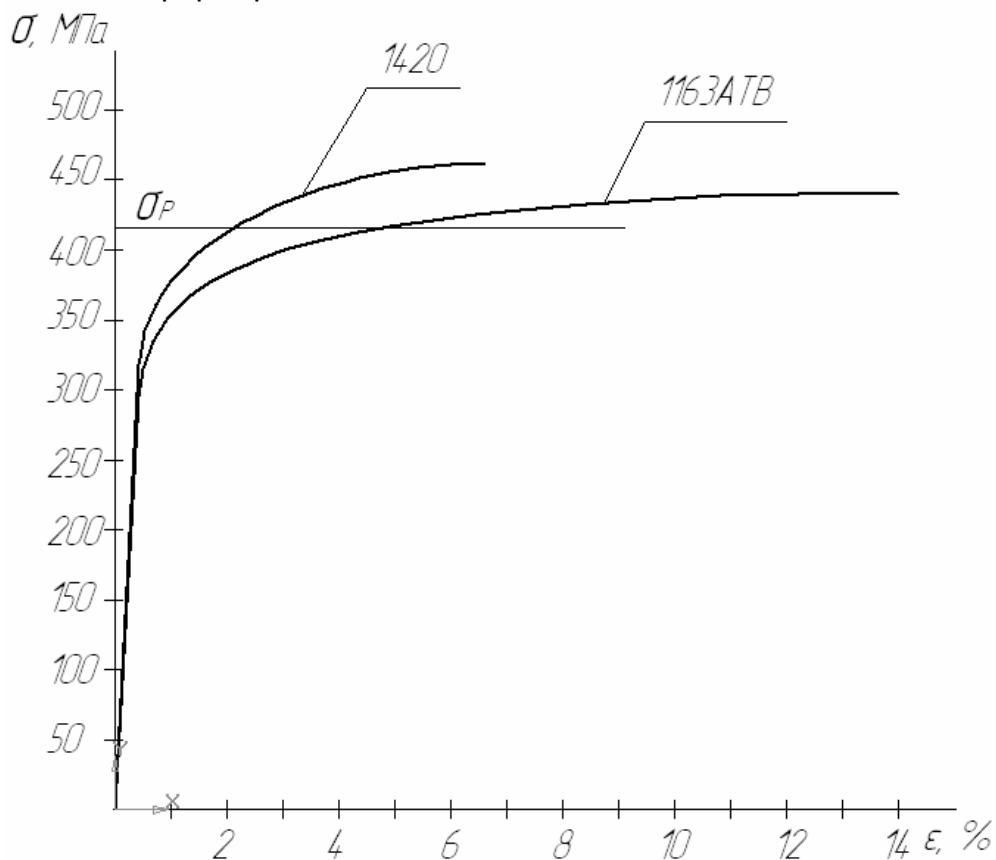


Рис. 9. Характеристики деформирования сплавов 1163АТВ и 1420

Самым сложным этапом при определении НДС является построение конечно-элементной модели конструкции фюзеляжа.

Поверхность фюзеляжа, пол кабины экипажа и стенки низинок шпангоутов моделируются оболочечными элементами (например SHELL181), а стрингеры, ободья шпангоутов, продольные балки и пояса низов шпангоутов – балочными элементами (например BEAM189).

Требуемая толщина оболочечных элементов обеспечивается заданием реальных констант. Чтобы задать требуемое сечение балочным элементам, необходимо предварительно создать эти сечения и разместить их (разбить на элементы) (рис. 10), сохранив результаты в отдельном файле.

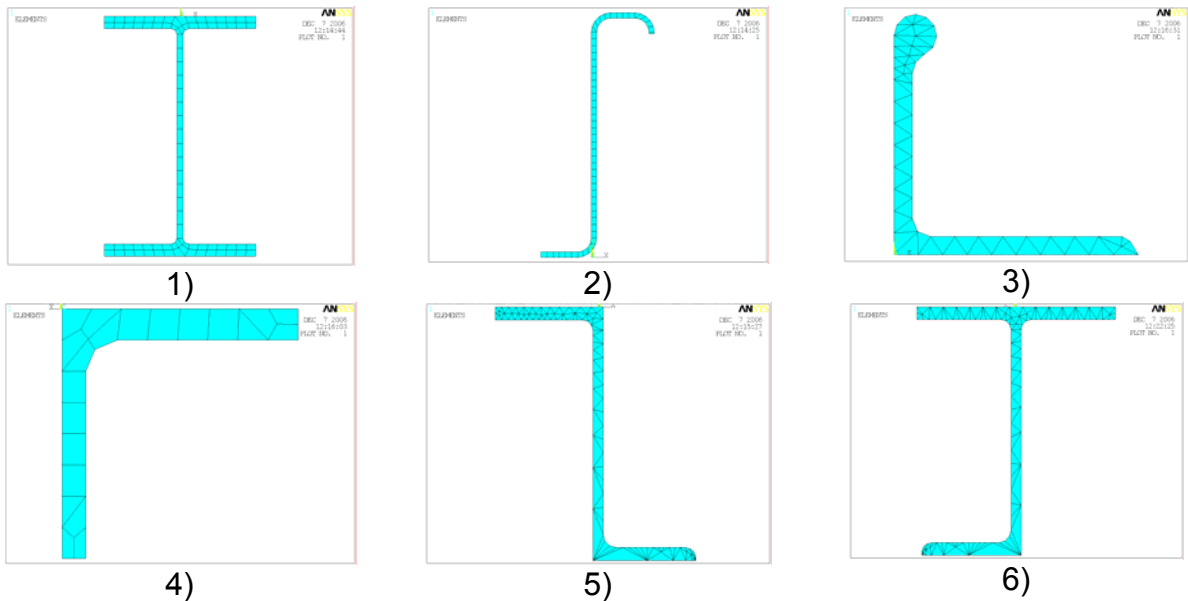


Рис. 10. Размешированные сечения: 1) – силового шпангоута; 2) – нормального шпангоута; 3) – стрингера; 4) – пояса поперечных балок шпангоутов; 5) и 6) – продольных балок

Балочные элементы создаются вдоль направляющих линий. Очень важно, чтобы после меширования узлы балочных элементов совпадали с узлами оболочечных элементов на поверхностях, к которым крепится балочный элемент. Поэтому при создании модели распределения пространства необходимо все поверхности, к которым крепятся стрингеры, шпангоуты и продольные балки, расечь линиями, которые задают направление стрингеров, шпангоутов и продольных балок. В результате получают порезанные на лоскутки поверхности. Линии, принадлежащие этим лоскуткам, будут служить направляющими для балочных элементов.

Сначала разбивают на конечные элементы линии, задающие направления балочных элементов, а затем поверхности. Перед созданием конечно-элементной модели (рис. 11) необходимо каждой линии и поверхности задать материал, число элементов вдоль линии, реальные константы (для поверхностей), сечения (для линий).

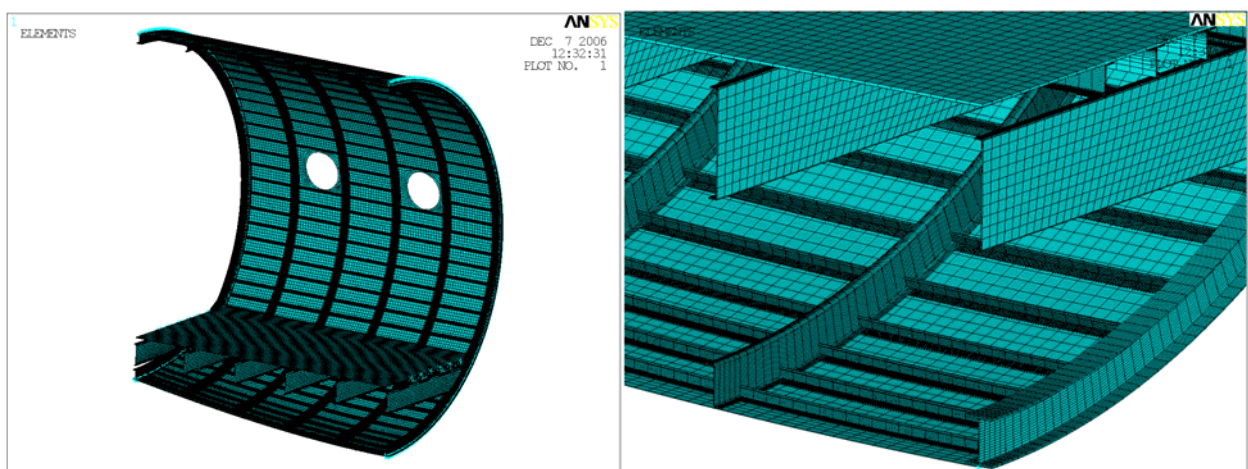


Рис. 11. Конечно-элементная модель отсека фюзеляжа

Совпадающие узлы объединяются в один узел, и балочные элементы оказываются прикрепленными к оболочечным элементам. На необходимые узлы накладывают условия совместности деформаций.

Теперь конечно-элементную модель закрепляют и прикладывают нагрузки.

Затем проводят расчёт характеристик общего НДС элементов фюзеляжа с помощью системы ANSYS. Время расчёта зависит от степени разбиения конструкции на конечные элементы и может быть от нескольких минут до нескольких часов.

Следующий этап – анализ полученного общего НДС отсека фюзеляжа и коэффициентов запаса прочности. Система ANSYS позволяет выводить результаты расчётов как в графической, так и в текстовой форме.

Ниже приведены картины распределения перемещений и напряжений в конструкции отсека фюзеляжа при следующих исходных данных: толщина обшивки 1,5 мм, поперечная сила в первом сечении 121875 Н, в шестом – 115063 Н, изгибающий момент в первом сечении 1612600 Н·м, в шестом – 1283400 Н·м. На рис. 12 и 13 изображена шкала, на которой указан диапазон, соответствующий определённому цвету. Для перемещений размерность цифр на шкале указывается в миллиметрах, а для напряжений – в мегапаскалях. На рис. 14 и 15 ось абсцисс – длина линии в миллиметрах (начало отсчёта – крайняя верхняя точка на поверхности фюзеляжа), ось ординат – напряжения в мегапаскалях. Номера шпангоутов указаны на рис. 13.

По результатам анализа принимается решение о прочности данной конструкции фюзеляжа, разрабатывается отчёт о проведенном расчёте общего НДС фюзеляжа. Если конструкция не прочна, то уточняются геометрические параметры отсека фюзеляжа и расчёт повторяется снова.

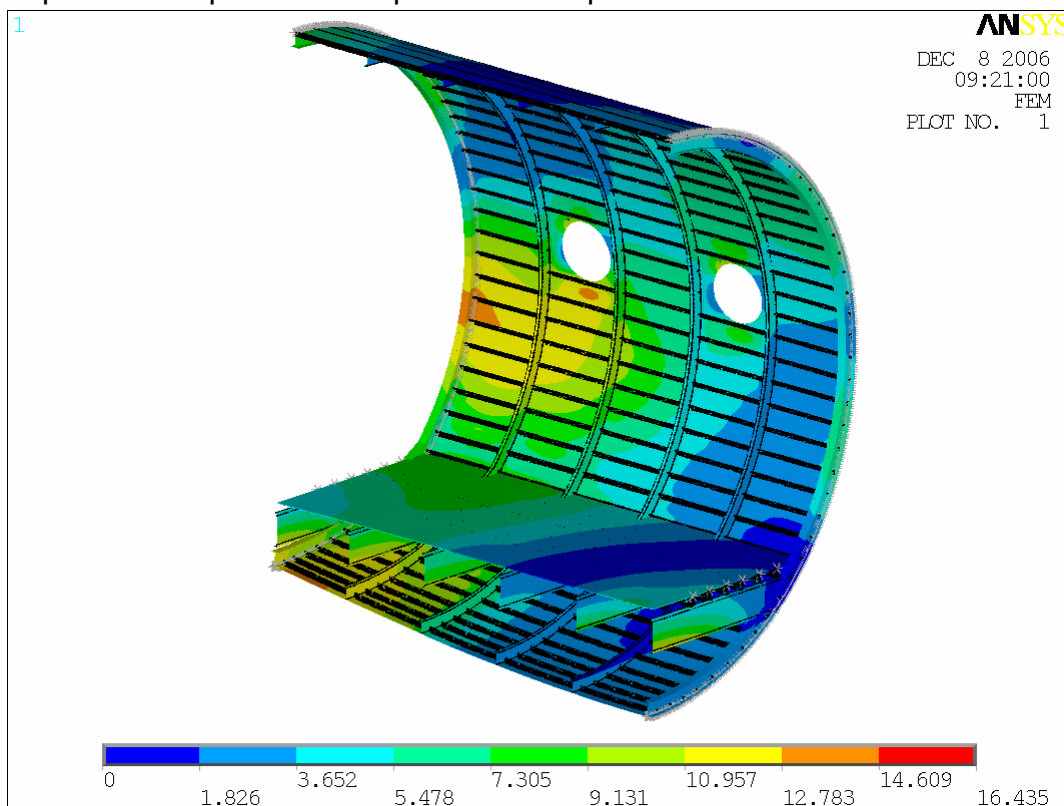


Рис. 12. Характер распределения суммарных перемещений в конструкции фюзеляжа

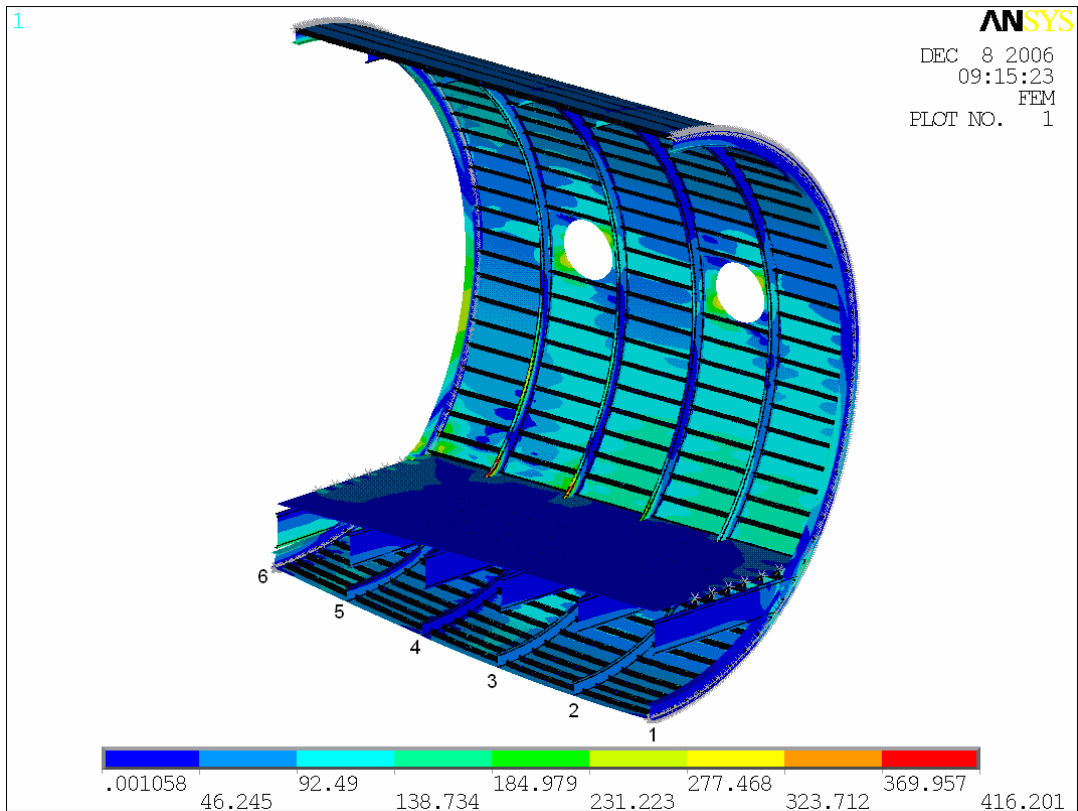


Рис. 13. Характер распределения эквивалентных напряжений в конструкции фюзеляжа

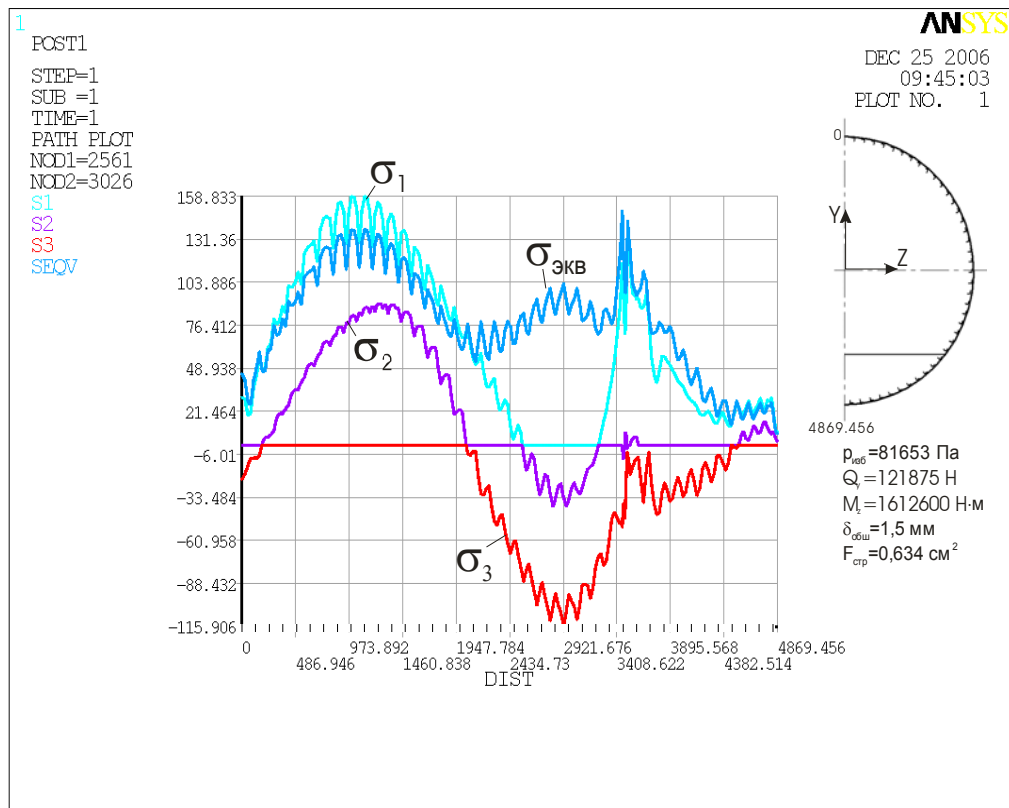


Рис. 14. Зависимость напряжений  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ,  $\sigma_{\text{ЭКВ}}$  от длины линии, лежащей на поверхности фюзеляжа в плоскости шпангоута 1

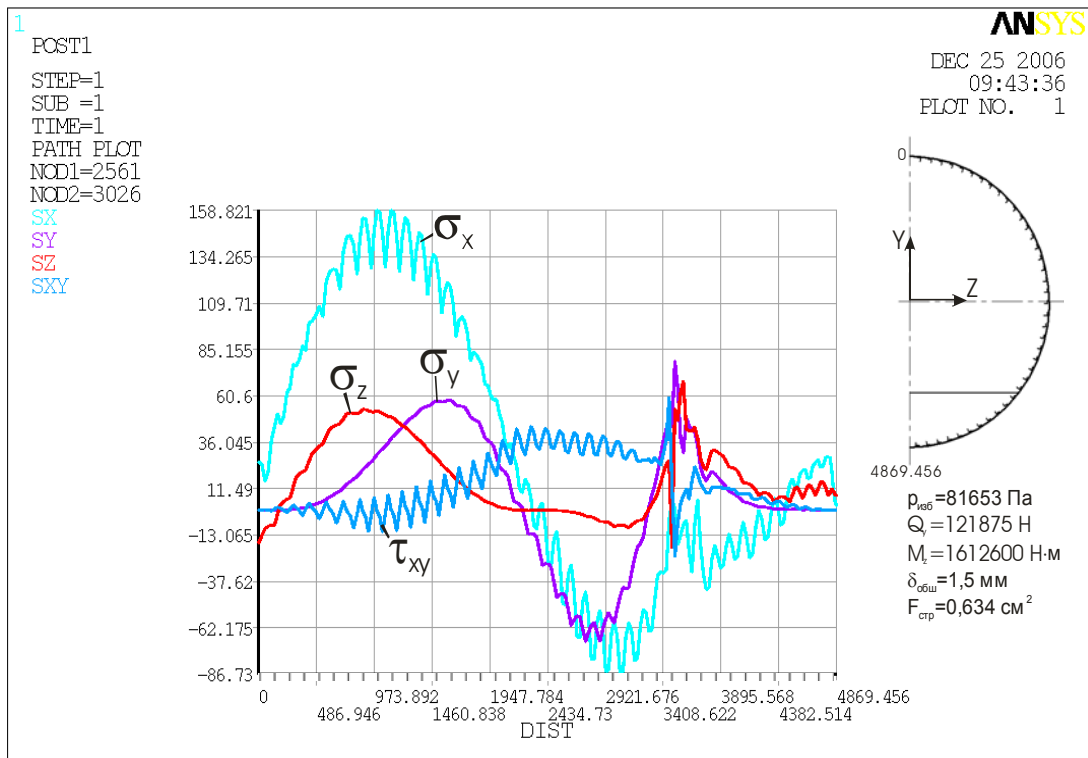


Рис. 15. Зависимость напряжений  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ ,  $\tau_{xy}$  от длины линии, лежащей на поверхности фюзеляжа в плоскости шпангоута 1

### Выводы

Разработан метод определения общего НДС отсека фюзеляжа самолёта методом конечных элементов. Метод апробирован при расчёте НДС отсека фюзеляжа гражданского самолёта. Получены значения напряжений и перемещений в данной конструкции фюзеляжа. Максимальные напряжения действуют в зоне вырезов и в местах соединения пола и обшивки. Из картины распределения напряжений видно, что напряжения в обшивке в зоне соединения её со стрингерами и шпангоутами больше, чем вне этой зоны.

### Список литературы

1. Василевский Е. Т., Шутовский О. В. Современные методы исследования напряжённо-деформируемого состояния планера самолёта // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ». – 2005. – Вып. 27. – С. 42 - 50.
2. Метод интегрированного проектирования и компьютерного моделирования фюзеляжа гражданского самолёта с помощью интегрированных систем CAD/CAM/CAE/PLM / А. Г. Гребеников, А. З. Двейрин, Ю. Н. Геремес, А. М. Гуменный. // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ». – 2006. – Вып. 30. – С. 10 - 30.
3. Стригунов В. М. Расчёт на прочность фюзеляжей и герметических кабин самолётов. – М.: Машиностроение, 1974. – 228 с.
4. Басов К. А. ANSYS: Справочник пользователя. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 640 с.

## **Щодо створення типової інформаційно-аналітичної системи підготовки прийняття рішень в органах державної влади**

### **1. Загальні положення**

Ця стаття тезове визначає основні підходи до створення, використання та розвитку автоматизованих систем інформаційно-аналітичної підтримки процедур прийняття рішень в органах державної влади.

Інформаційне, інформаційно-аналітичне і методологічне забезпечення процедур прийняття рішень – це надання можливостей реалізовувати визначені законодавством повноваження, а також задовольняти інформаційні потреби суб'єктів та учасників процесів, громадян і суспільства, використовуючи сучасні інформаційні технології [1].

### **2. Мета і завдання створення, використання та розвитку**

Метою створення, використання та розвитку інформаційно-аналітичних систем підтримки прийняття рішень (ІАС ППР) є оперативне формування достовірної інформації, забезпечення високої надійності її обробки та оприлюднення на основі впровадження сучасних інформаційно-комунікативних технологій. Окрім того створення, використання та розвитку ІАС ППР передбачає суттєве скорочення часу між процесами, сприяння своєчасному запобіганню можливих порушень конституційних прав громадян.

ІАС ППР має забезпечити інформаційну, інформаційно-аналітичну та методологічну підтримку виконання повноважень органами влади, передбачених відповідними законами України. Також ІАС ППР має забезпечити суттєве підвищення відкритості і прозорості діяльності цих органів влади на основі новітніх досягнень у сфері інформаційних технологій.

Окрім того, з огляду на демократизацію суспільства, важливу роль, у процесах державного управління, все більш починають відігравати питання оцінки та реагування суспільної думки щодо тих чи інших рішень владних структур. Це обов'язково потрібно враховувати під час розробки і розвитку ІАС ППР.

ІАС ППР повинно створювати і функціонувати у єдиному програмно-інформаційному просторі організаційно-адміністративної інфраструктури органів державної влади.

Для створення та ефективного впровадження ІАС ППР необхідно:

- максимально уніфікувати та стандартизувати процедури підготовки прийняття рішень;
- визначити офіційний статус використання і розвитку засобів системної інформатизації у процесах підготовки прийняття рішень;
- визначити статус, умови та пріоритетність використання сучасних телекомунікаційних мереж зв'язку під час застосування засобів системної інформатизації у процесах підготовки прийняття рішень;

Побудова і розвиток ІАС ППР має передбачати створення науково-практичної бази для використання її в подальшому вдосконаленні процедур прийняття рішень.



### 3. Основні напрями створення та розвитку ІАС ППР

Основними напрямками створення та розвитку ІАС ППР, з урахуванням накопиченого досвіду розробки, впровадження та вдосконалення систем такого призначення в органах державної влади, має бути:

- скорочення часу при прийнятті рішень за рахунок максимальної автоматизації/механізації окремих операцій цих процедур;
- інформаційна та інформаційно-аналітична підтримка процедур прийняття рішень;
- накопичення поточної та ретроспективної різноманітної інформації, яка ранжирується за тематичними напрямками;
- моніторинг порядку формування та використання інформаційних фондів відповідними суб'єктами процесу;
- моніторинг мережі Інтернет щодо рішень, які приймаються з метою накопичення, аналітичної обробки суспільної думки щодо рішень, які приймаються;
- накопичення та аналітична обробка офіційної інформації про порушення законодавства України з наступним оприлюдненням;
- оперативне оприлюднення інформації щодо рішень, які приймаються

### 4. Основні складові процесів створення та розвитку ІАС ППР

У загальному плані, основними складовими процесів створення та розвитку ІАС ППР, повинні бути:

- інформаційно-аналітичне забезпечення;
- системне програмно-технічне забезпечення;
- прикладне програмне забезпечення;
- інформаційна безпека.

**Інформаційно-аналітичне забезпечення** створення та розвитку ІАС ППР повинно базуватися на цілісності інформації в єдиному інформаційному просторі.

До складу інформаційно-аналітичного забезпечення ІАС ППР можуть входити сегменти баз даних, загальнодержавні довідники та кодифікатори, що створюються та підтримуються різними державними установами.

Склад та функціональне призначення інформаційного та інформаційно-аналітичного забезпечення ІАС ППР визначаються переліком завдань.

**Системне програмно-технічне забезпечення** (операційні системи, системи телекомунікаційного зв'язку, системи приймання-передачі інформації, системи управління базами даних, системи захисту інформації) в ІАС ППР спрямоване на організацію функціонування корпоративної обчислювальної мережі ІАС ППР, управління її компонентами, а також організацію інформаційних потоків та інформаційної безпеки.

Системне програмно-технічне забезпечення базується на принципах єдиної платформи та сумісності, забезпечує передачу даних, контроль за їх цілісністю, моніторинг передачі даних, а також моніторинг функціонування ІАС ППР, контроль повноважень і прав доступу користувачів.

ІАС ППР будується за принципом відкритих систем, що надає можливості використання розподілених баз даних та обчислень, масштабованості і можливості перенесення на інші платформи в процесі розвитку, забезпечення сумісності та інтеграції з іншими системами.

ІАС ППР розбудовується за модульним принципом організації та поетапним нарощуванням функціональних можливостей, що дозволяє розвивати складові, не порушуючи функціонування системи в цілому.

**Прикладне програмне забезпечення** ІАС ППР повинно базуватися на сучасних засобах управління базами даних та забезпечувати формування, обробку, накопичення та підготовку інформації для передачі за узгодженими форматами.

Прикладне програмне забезпечення повинно виконувати максимально можливий перелік функцій для інформаційної підтримки єдиного інформаційного простору.

Прикладне програмне забезпечення ІАС ППР має підтримувати всі види формування і обробки інформації, інформаційну та інформаційно-аналітичну підтримку прийняття рішень.

**Інформаційна безпека** ІАС ППР забезпечується нормативно-організаційними, стандартними програмно-технічними та спеціалізованими засобами захисту інформації.

Стійкість ІАС ППР в цілому не повинна залежати від працездатності будь-якої складової єдиного програмно-інформаційного простору системи.

Створювані програмні засоби повинні забезпечувати запобігання втратам інформації та несакціонованого втручання, знищення, спотворення, підробки, копіювання інформації.

ІАС ППР повинна забезпечити контроль за інформаційними потоками, шифрування трафіку, ідентифікацію як суб'єкта програмно-інформаційного простору, так і кожного абонента ІАС ППР.

## 5. Структура та склад ІАС ППР

Структура ІАС ППР має відповідати інформаційно-технологічній структурі процедур прийняття рішень.

До комплексу систем ІАС ППР входять:

- базова інформаційно-аналітична система підтримки прийняття рішень;
- система оцінки та врахування громадської думки, яка базується на моніторингу контенту Інтернет-простору;
- інформаційна система оприлюднення інформації щодо рішень, які приймаються.

Корпоративна обчислювальна мережа ІАС ППР має забезпечити життєздатність єдиного програмно-інформаційного простору системи.

Головне завдання корпоративної мережі ІАС ППР полягає у створенні програмно-технічного ресурсу для оперативного обміну інформаційними пакетами між системами різних рівнів єдиного програмно-інформаційного простору ІАС ППР та іншими державними системами, авторизованого контролю доступу, захисту інформації від несакціонованого втручання, знищення і спотворення, управління інформаційними потоками.

До складу корпоративної мережі має входити технічне забезпечення локальних комп'ютерних мереж органу влади та телекомунікаційної системи обміну інформацією. На телекомунікаційну систему покладаються завдання побудови і раціонального використання ресурсів корпоративної мережі, забезпечення надійного зв'язку і обміну даними, а також інтеграції з автоматизованими системами інших органів державної влади.

Типову архітектуру ІАС ППР наведено на рис. 1. Ця архітектура включає дві підсистеми – корпоративну (intranet) та відкриту (Internet) [2].

Центральними елементами обох підсистем є web-сайти – у першому випадку – корпоративний, у другому – відкритий, офіційний. З цих web-сайтів здійснюється доступ до баз даних (відповідно, корпоративної, внутрішньої бази даних та бази даних для оприлюднення). Природно, важливою складовою корпоративної мережі є система документообігу, яка у відповідності з ідеологією intranet має бути доступна з інтерфейсів корпоративного web-сайту.

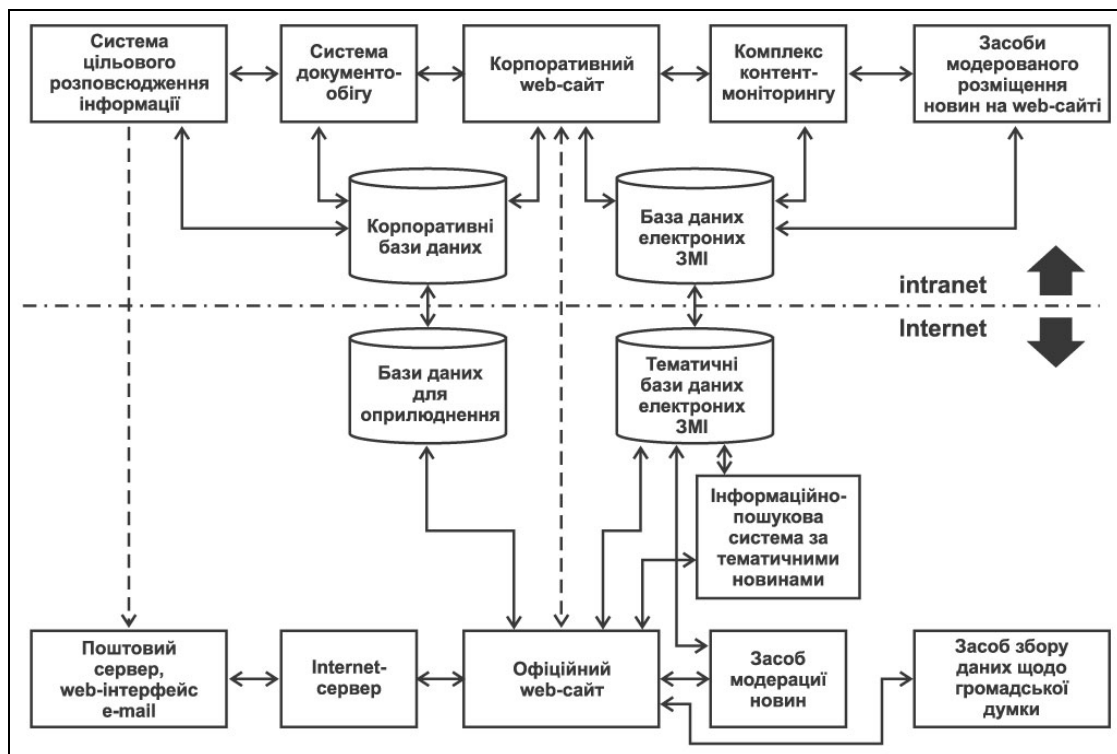


Рис. 1. Архітектура типової ІАС ППР

Одним з найважливіших функціональних елементів зовнішньої підсистеми є Internet-сервер, за допомогою якого забезпечується зв'язок із зовнішнім світом (глобальною мережею). На базі Internet-сервера має функціонувати поштовий сервер. Для забезпечення надійного (безпечного, захищеного), мобільного та оперативного доступу до своєї електронної кореспонденції з будь-якого місця має бути реалізовано також доступ до електронних поштових скриньок через web-інтерфейс.

Через поштовий сервер має забезпечуватися й розсилка цільової інформації абонентам органу державної влади. При цьому перелік абонентів розсилки має формуватися автоматизовано в корпоративній підсистемі ІАС ППР на основі використання багатопараметричної бази даних. Це забезпечить можливість цільового масового розповсюдження матеріалів визначеної тематики через електронну пошту.

Програмно-технологічне забезпечення комплексу контент-моніторингу, що входить до складу корпоративної підсистеми, орієнтоване, в першу чергу, на роботу користувачів у межах локальної корпоративної мережі, доступ до інформаційних ресурсів комплексу здійснюється через веб-інтерфейс за допомогою стандартних web-браузерів.

Інформаційне сховище (бази даних електронних ЗМІ, тематичні у випадку застосування в Internet-підсистемі) комплексу контент-моніторингу забезпечує зберігання повідомлень у вимірах рубрик, джерел та часу. Новинні повідомлення швидко старіють, втрачаючи актуальність, тому у вимірі часу вони розподіляються на оперативні або свіжі, що використовуються найчастіше, та ретроспективні або архівні, що використовуються рідше, у спеціальних задачах.

Доступ до новинних даних здійснюється за допомогою інформаційно-пошукових систем або модерованої публікацій на відповідних сторінках web-сайтів [3].

Враховуючи рівень відповідальності ІАС ППР, необхідно передбачити створення підсистеми резервування та використання резервних каналів мереж зв'язку і передачі даних.

## **6. Заключні положення**

Послідовність і етапи робіт щодо реалізації викладених положень мають визначатися планами заходів відповідного органу державної влади, технічними проектами та завданнями на створення, розвиток відповідних підсистем і комплексів ІАС ППР з дотриманням принципів “наступності” і “єдності близької та далекої мети”.

На основі використання ІАС ППР можлива інформаційна підтримка рішень при виконанні процедур здійснення політики державного управління шляхом забезпечення:

- гласності та відкритості підготовки та прийняття рішень органами або особами, які мають на це відповідні повноваження;
- аналізу подій, реакцій на заходи, які пов'язані з цією подією (наприклад, щодо євроатлантичної інтеграції України або щодо створення і забезпечення функціонування конкурентного середовища, або інше) ;
- оцінки сфер впливу конфліктних або кризових ситуацій, які сприяють чи не сприяють прийняттю рішень або є наслідками прийнятих рішень;
- зв'язків з громадськістю;
- розвитку та наповнення національних електронних інформаційних ресурсів.

Реалізація викладених положень можлива лише за умови ефективної співпраці органу державної влади з іншими органами законодавчої та виконавчої влади та належного кадрового, фінансового і матеріально-технічного забезпечення.

## **Список літератури**

1. Фурашев В.М., Ланде Д.В., Григор'єв О.М., Фурашев О.В. Електронне інформаційне суспільство України: погляд у сьогодення і майбутнє / Академія правових наук України. Науково-дослідний центр правової інформатики. - К.: Інжиніринг, 2005. — 163 с.
2. Ланде Д.В., Фурашев В.М, Григор'єв О.М. Програмно-апаратний комплекс інформаційної підтримки прийняття рішень: Науково-методичний посібник. / - К. : Інжиніринг, 2006. - 48 с.
3. Д.В. Ланде, В.М. Фурашев. Забезпечення вибіркового доступу до контенту мережі Інтернет як засобу оцінки ситуації та прийняття рішень // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. науч. трудов. Вып. 32. –Харьков: аэрокосмический ун-т "ХАИ", 2006. - С. 47-54.

## Компьютерная поддержка процесса определения летно-технических характеристик самолета.

### Часть 5

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОЕКТНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Наличие проектной информации позволяет провести предварительные исследования исходных данных самолета с точки зрения построения наиболее оптимальных схем действий как при подготовке к испытаниям, так и в процессе непосредственного определения ЛТХ. Важным моментом таких исследований является решение задачи определения минимального количества плановых точек и распределение этих точек в  $W$ , которые дают приемлемую ошибку восстановления аэродинамических коэффициентов при использовании в аппроксимациях гладких функций и последующего уточнения финитными функциями [1-2]. Если для гладких функций оптимальное распределение точек дают методы математического планирования оптимального эксперимента [3], то подключение финитных функций требует дополнительного анализа, связанного с общей формой проектных поверхностей  $C_y(\alpha, M)$  и  $C_x(C_y(\alpha, M), M)$  в  $W$ , а также с особенностями аппроксимаций функциями с конечным носителем. Ограничения со стороны финитных функций, в общем случае, требуют пересмотра классического оптимального плана.

Вторым моментом, связанным с анализом проектных данных, является проверка возможности использования при обработке результатов натурных экспериментов значений части неизвестных, которые появляются в разложениях аэродинамических коэффициентов и которые могут быть найдены заранее на основе проектной информации. Другими словами, ставится вопрос о возможности выхода на этап практического определения ЛТХ самолета с меньшим количеством неизвестных, что приводит к дополнительному уменьшению необходимого набора плановых точек.

Решение этих двух задач имеет смысл при положительном ответе на главный вопрос, предшествующий аналитическому этапу: будут ли иметь практическую ценность выводы предварительного анализа в случае несоответствия проектных данных данным реального самолета, которое может быть как из-за ошибок аэродинамического проектирования, так и отступлений в технологии изготовления планера? Этот вопрос ставит под сомнение саму идею возможного смещения центра тяжести процессов в подготовке и проведении летных испытаний из области эмпирической в расчетно-аналитическую область, в которой предполагается широкое использование проектной информации для детальной проработки предстоящих действий на основе их математического моделирования и компьютерных вычислительных экспериментов. Поэтому качественное и количественное определение степени возможного расхождения проектных и реальных данных, в пределах которого будет правомерным использование выводов предварительного анализа, является основным моментом в обосновании подхода в целом.

С целью выяснения допустимых диапазонов отклонений фактических характеристик от проектных данных, при которых выводы предварительного анализа будут справедливы для реального самолета, для двух типов возможных расхождений в характеристиках были проведены вычислительные эксперименты. Эти типы отклонений в данных были выбраны для исследований по причине отражения наиболее вероятных ошибок в проектировании и создании планера самолета, а результаты соответствующих вычислительных экспериментов позволят сделать некоторое обобщение и распространить их на иные типы возможных расхождений. При этом все исследования проводились в пределах эксплуатационной области  $W$ .

Первый тип отклонений – раздельное и совместное деформирование зависимостей  $C_y(\alpha, M)$  и  $C_x(C_y(\alpha, M), M)$  “вверх” и “вниз” при закрепленных их границах в расширенной по сравнению с  $W$  области. Второй тип расхождений – смещение коэффициентных поверхностей вдоль осей “угол атаки  $\alpha$ ” и “сопротивление  $C_x$ ”, которые могут быть из-за ошибок определения угла атаки нулевой подъемной силы и пассивного компонента сопротивления  $C_{x_0}$ .

Без учета вычислительных проблем, связанных с особенностью расчетов аэродинамических коэффициентов подъемной силы и сопротивления, в проектную аэродинамическую информацию гипотетического самолета вносились указанные выше искажения. Например, деформации кривых осуществлялись таким образом, чтобы они, с одной стороны, имели достаточно простой и физически допустимый вид, связанный с реально возможными зависимостями у самолетов данной категории, а с другой стороны, для этих деформаций можно было бы ввести некоторый количественный параметр. Так как рассматриваемое несоответствие данных при достаточно корректном проектировании самолета не может быть значительным, эти отступления от проектных данных (с учетом монотонности в поведении основных аэродинамических характеристик самолета) моделируются с помощью полиномов невысоких степеней.

Для базового плана в 20 точек и каждого нового варианта исходных аэродинамических данных гипотетического самолета (фактически, уже нового гипотетического самолета) проводился вычислительный эксперимент, в рамках которого осуществлялась полная компьютерная реализация программы выполнения испытаний и обработки полученных данных (“полная оптимизация”). После этой процедуры проводился второй вычислительный эксперимент, в котором при решении обратных задач для этого нового самолета использовались функциональные параметры, полученные на основе данных первоначально взятого гипотетического самолета, т. е. на основе “проектных” данных. Другими словами, решалась вторая задача как задача “частичной минимизации” функционалов  $\Phi_y$  и  $\Phi_x$  [2] для нового самолета (“частичная оптимизация”). Сравнивались результаты, полученные при решении полной оптимизационной задачи для нового самолета, с результатами решения задачи частичной оптимизации. Это сопоставление позволяет сделать определенные выводы относительно возможности использования результатов предварительного анализа проектных данных на стадии подготовки к летным испытаниям и диапазона допустимых отклонений исходной информации от данных реального самолета, в пределах которого можно пользоваться выводами этого анализа.

### 5.1. Возмущение зависимости $C_y(\alpha, M)$

Деформация поверхности  $C_y(\alpha, M)$  осуществлялась следующим образом. На граничные точки исходных кривых  $C_y(\alpha)$ , заданных для разных значений чисел Маха, опираются кривые “возмущения”, которые представляют собой квадратичные параболы. В плоскости  $(\alpha, C_y)$  выпуклость парабол направлена “вверх”, а величина возмущения определяется задаваемым процентом от значения исходного аэродинамического коэффициента в средней по углу атаки точке для рассматриваемой кривой (рис.1). Иными словами, поверхность  $C_y(\alpha, M)$  деформируется задаваемым процентом “вверх” по оси  $C_y$  с сохранением собственной границы (деформации с закрепленными границами).

Для полученного таким образом нового гипотетического самолета решались полная и частичная оптимизационные задачи с применением представленных ранее алгоритмов. Результаты этих вычислительных экспериментов, в зависимости от процента отступлений от исходных данных, представлены в Таблице 1, где для каждого из указанных слева процентов деформации  $C_y(\alpha, M)$  верхняя строка показывает точность полученных характеристик самолета при полной оптимизации (П.О.), а нижняя – при частичной оптимизации (Ч.О.). Как следует из этой таблицы, использование при частичной оптимизации заранее найденных по данным исходного гипотетического самолета функциональных параметров базисных функций  $\{\phi_i\}_{i=1}^{N_y}$  и  $\{\varphi_i\}_{i=1}^{N_x}$  [3] практически приводит к тем же по точности результатам, что и полная оптимизация для нового гипотетического самолета.

### 5.2. Возмущение зависимости $C_x(C_y(\alpha, M), M)$

Деформация поляры осуществлялась по аналогичной схеме, что и деформация  $C_y(\alpha, M)$ , но с применением кубических парабол. Процент деформации кривой учитывался в двух точках, симметрично расположенных относительно центральной точки между минимальным и максимальным значениями переменной  $C_y$  для соответствующего числа Маха (рис. 2). Реальный процент возмущения кривых вблизи средних точек был выше и, например, для табличного значения в 20 % составлял примерно 23.7 %.

Точно по такой же схеме, как и для возмущений  $C_y(\alpha, M)$ , решались задачи полной и частичной оптимизаций, результаты которых представлены в табл. 2.

Результаты расчетов при совместном 20%-ом деформировании “вверх” двух характеристик  $C_y(\alpha, M)$  и  $C_x(C_y(\alpha, M), M)$  представлены в табл. 3

Совместное деформирование двух зависимостей  $C_y(\alpha, M)$  и  $C_x(C_y(\alpha, M), M)$  аналогичными возмущениями, ориентированными выпуклостью “вниз”, при значительных процентах отклонения требует коррекции первоначально взятого за основу плана с 20 точками. Так, для 20 %-ного совместного возмущения

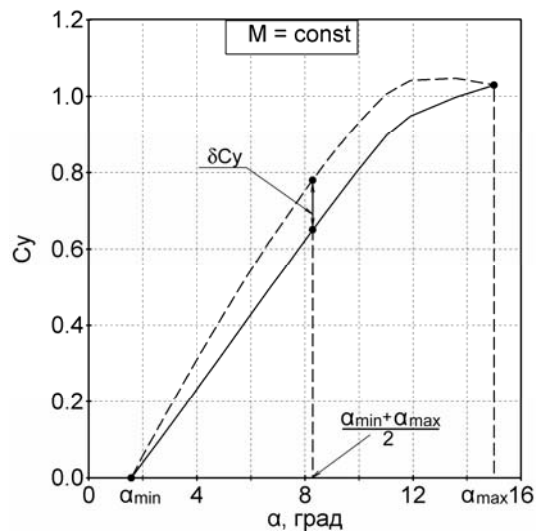


Рис.1. Деформации зависимости  $C_y(\alpha, M)$  квадратичной параболой.

Таблица 1  
Ошибки идентификации характеристик самолета в  $W$  от процента деформации  $C_y(\alpha, M)$

% деформ.	Тип оптим.	$\max \Delta C_y $ %	$\langle \Delta C_y \rangle$ %	$\max \Delta C_x $ %	$\langle \Delta C_x \rangle$ %	$\max \Delta K $	$\langle \Delta K \rangle$	$\max \Delta V_y $ м/с	$\langle \Delta V_y \rangle$ м/с
0	П.О.	1.36	0.45	1.97	0.65	0.09	0.05	0.21	0.07
5	П.О.	1.42	0.59	1.84	0.57	0.11	0.05	0.17	0.06
	Ч.О.	1.40	0.57	2.00	0.61	0.10	0.05	0.21	0.07
10	П.О.	2.17	0.61	1.53	0.56	0.11	0.04	0.17	0.06
	Ч.О.	1.77	0.66	1.83	0.64	0.12	0.04	0.20	0.07
15	П.О.	2.18	0.61	1.47	0.55	0.11	0.03	0.16	0.06
	Ч.О.	2.09	0.73	1.79	0.66	0.12	0.05	0.20	0.07
20	П.О.	2.49	0.60	1.56	0.49	0.13	0.06	0.20	0.05
	Ч.О.	2.33	0.84	2.12	0.65	0.13	0.07	0.23	0.07

Таблица 2  
Ошибки идентификации характеристик самолета в  $W$  от процента деформации  $C_x(C_y, M)$

% деформ.	Тип оптим.	$\max \Delta C_y $ %	$\langle \Delta C_y \rangle$ %	$\max \Delta C_x $ %	$\langle \Delta C_x \rangle$ %	$\max \Delta K $	$\langle \Delta K \rangle$	$\max \Delta V_y $ м/с	$\langle \Delta V_y \rangle$ м/с
5	П.О.	1.37	0.44	1.78	0.59	0.06	0.03	0.18	0.07
	Ч.О.	1.36	0.44	1.98	0.66	0.09	0.04	0.19	0.07
10	П.О.	1.37	0.46	1.61	0.60	0.07	0.03	0.18	0.07
	Ч.О.	1.35	0.46	1.99	0.73	0.14	0.06	0.21	0.08
15	П.О.	1.36	0.45	1.47	0.59	0.05	0.03	0.19	0.08
	Ч.О.	1.34	0.45	1.99	0.83	0.12	0.07	0.24	0.10
20	П.О.	1.48	0.49	1.57	0.60	0.11	0.05	0.21	0.08
	Ч.О.	1.45	0.48	2.18	0.95	0.11	0.04	0.29	0.11



Таблица 3

Ошибки основных характеристик самолета в  $W$  от совместного деформирования  $C_y$  и  $C_x$

% деформ.	Тип оптим.	$\max \Delta C_y $ %	$\langle \Delta C_y \rangle$ %	$\max \Delta C_x $ %	$\langle \Delta C_x \rangle$ %	$\max \Delta K $	$\langle \Delta K \rangle$	$\max \Delta V_y $ м/с	$\langle \Delta V_y \rangle$ м/с
20	П.О.	2.54	0.56	1.33	0.43	0.13	0.07	0.21	0.06
	Ч.О.	2.37	0.81	2.35	0.92	0.12	0.06	0.29	0.11

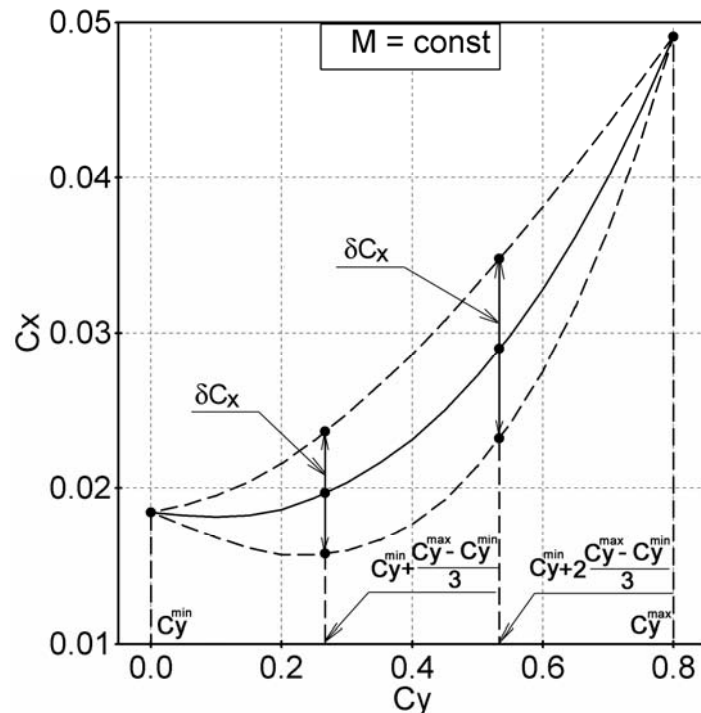


Рис. 2. Деформации зависимости  $C_x(C_y(\alpha, M), M)$  "вверх" и "вниз".

кривых выпуклостью "вниз" (ниже, в таблице, обозначается как  $-20\%$ ) на рис. 2 представлена итоговая кривая зависимости  $C_x(C_y(\alpha, M), M)$  при  $M=0.70$ , которая демонстрирует появление нелинейностей при малых углах атаки (малые  $C_y$ ), что практически не присутствует в исходных данных гипотетического самолета. Поэтому при малом количестве плановых точек по углу атаки, как это было при плане в 20 точек, преодолеть влияние на точность оценки аэродинамического качества самолета отклонения проектных данных от реальных за счет двух каналов "подавления" этих расхождений (коэффициентами разложения и уточнением финитными функциями) уже не представляется возможным. В этом случае использование готовых внутренних параметров, полученных на основе проектных данных, приводит к максимальной ошибке в аэродинамическом качестве, равной 0.83. Кроме этого, возмущения выпуклостью "вниз" в области больших чисел Маха ( $M \in [0.75; 0.80]$ ), где наблюдаются основные нелинейности в исходных данных, требуют включения в план дополнительных точек из указанного промежутка значений  $M$ , для того, чтобы в рамках рассматриваемой точности

идентификации аэродинамических коэффициентов самолета можно было использовать проектные значения функциональных параметров.

Переход к плану с 30 точками, в котором для каждого, ранее использованного планового числа  $M$ , добавляется по одной точке, а пять дополнительных точек включается в план с  $M = 0.78$ , решает эту проблему на инженерном уровне.

В таблице 4 представлены результаты вычислительных экспериментов для плана с 30 точками, полученные как на исходных (“проектных”) данных, так и полученные при +20%-ном и –20%-ном совместном деформировании. Из данных этой таблицы следует, что в указанных пределах отклонений проектных данных от реальных характеристик самолета возможно использование заранее рассчитанных на основе исходной аэродинамической информации внутренних параметров в процессе обработки результатов летных испытаний.

Таблица 4

Ошибки основных характеристик самолета в  $W$  от совместного деформирования  $C_y$  и  $C_x$ . Количество точек плана равно 30.

% деформ	Тип оптим.	$\max \Delta C_y $ %	$\langle \Delta C_y \rangle$ %	$\max \Delta C_x $ %	$\langle \Delta C_x \rangle$ %	$\max \Delta K $	$\langle \Delta K \rangle$	$\max \Delta V_y $ м/с	$\langle \Delta V_y \rangle$ м/с
0	П.О.	1.34	0.46	1.91	0.62	0.09	0.03	0.20	0.07
+20	П.О.	1.72	0.43	1.06	0.42	0.12	0.07	0.19	0.06
	Ч.О.	2.00	0.62	1.97	0.72	0.10	0.04	0.23	0.09
-20	П.О.	1.57	0.49	2.35	0.64	0.10	0.05	0.24	0.06
	Ч.О.	2.71	0.62	2.57	0.59	0.15	0.06	0.25	0.05

### 5.3. Смещение коэффициентных поверхностей

Смещения поверхностей вдоль соответствующих осей могут быть учтены либо оптимизацией только по тем функциональным параметрам, которые непосредственно связаны с подобными смещениями, либо использованием подходящих базисных функций, если первым способом невозможно учесть этот сдвиг. Например, угол атаки нулевой подъемной силы, отличающийся от проектного значения, при обработке экспериментальных данных может быть получен частичной оптимизацией по параметру  $A_1$  функционала  $\Phi_y$  при фиксированных значениях остальных внутренних параметров, полученных на основе проектной информации.

Смещение реальной поляры относительно проектной, например, по оси  $C_x$ , можно учесть выбором соответствующей функции среди базисных функций в разложении коэффициента аэродинамического сопротивления. Так, например, на рис. 3 – 6 представлены результаты вычислительного эксперимента при 50%-ной добавке, взятой от значения  $C_{x_0}$  при  $M = 0.4$ , ко всем исходным значениям  $C_{x_0}(M)$ . Представленные результаты получены при решении задач полной и частичной оптимизаций. В последнем случае были использованы внутренние параметры, значения которых найдены на основе исходных (“проектных”) данных гипотетического самолета при плане с 40 точками.

## 5.4. Выводы

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы. В рамках рассмотренных типов и величин отклонений исходных и реальных зависимостей коэффициента подъемной силы и поляры самолета имеются средства “подавления” этого расхождения, что необходимо для использования аналитических методов в подготовке к летным испытаниям на ранних этапах проектирования самолета. Этими средствами являются: оставшиеся степени свободы (коэффициенты разложения), уточнение финитными функциями, дополнительные плановые точки и их расположение в  $W$ .

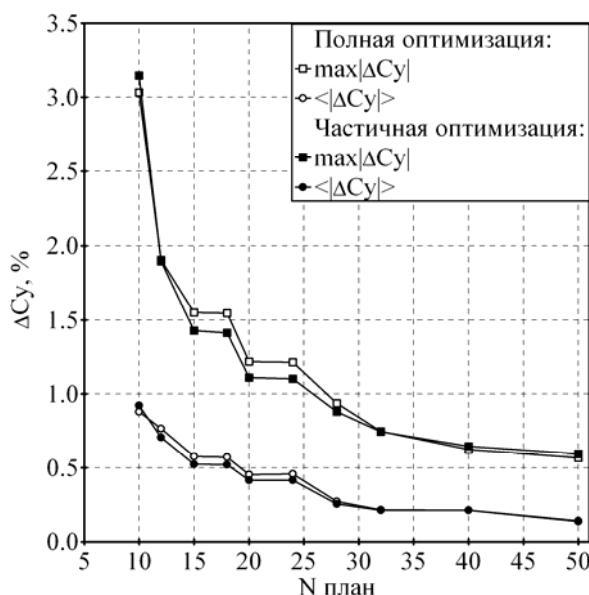


Рис. 3. Ошибки определения коэффициента подъемной силы от числа плановых точек.

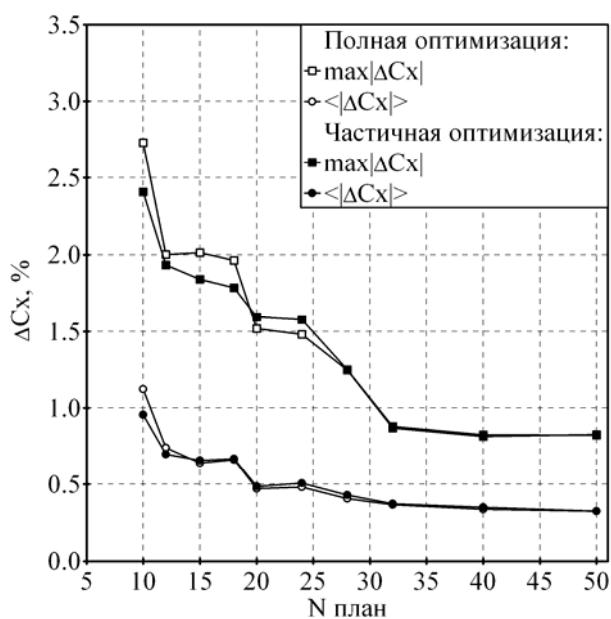


Рис. 4 Ошибки определения коэффициента сопротивления от числа плановых точек.

Иные возможные отклонения, например, вращение на малые углы аэродинамической поверхности относительно заданной оси в комбинации со смещением ее как целого, могут быть преодолены указанными средствами.

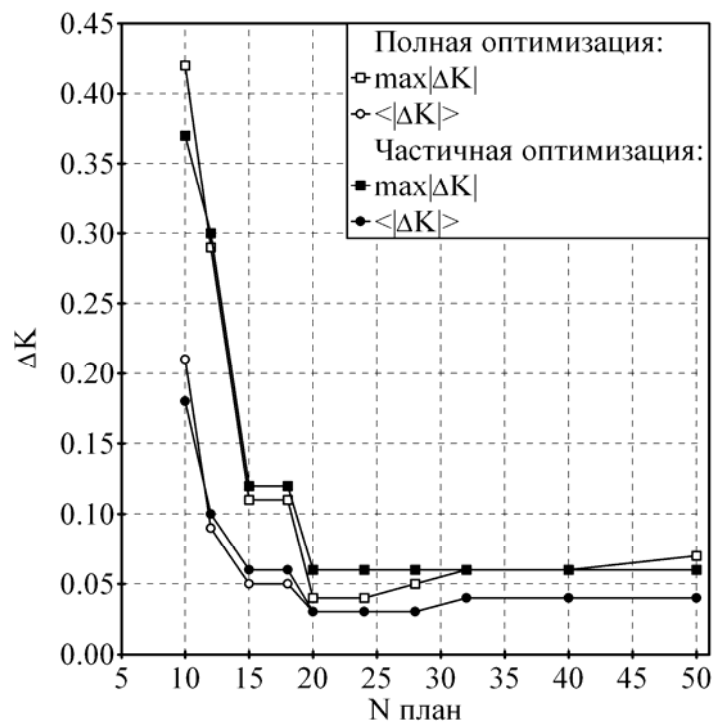


Рис. 5. Ошибки определения максимального аэродинамического качества в зависимости от числа плановых точек.

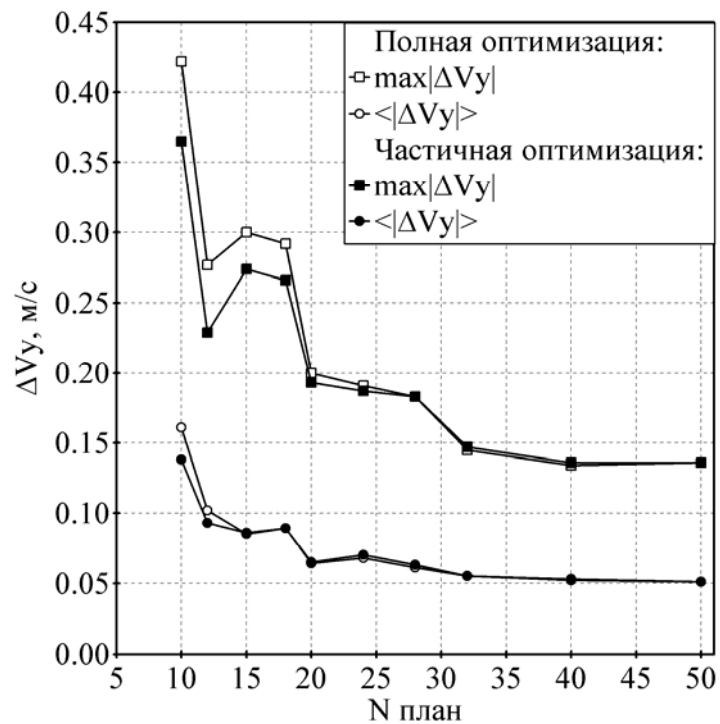


Рис. 6. Ошибки определения вертикальной скорости самолета в зависимости от числа плановых точек

Для создаваемого самолета, с учетом имеющейся практической информации, эффективность любого из перечисленных методов подавления отклонений может быть определена непосредственно вычислительными экспериментами на этапе предварительного анализа. Однако из имеющихся результатов уже следует, что наиболее эффективным является уточнение финитными функциями. Оно, в свою очередь, предполагает достаточно правильную передачу исходных аэродинамических поверхностей комбинациями базисных функций с целью получения небольшого (с точки зрения второго шага аппроксимаций) отклонения поверхностей, а также необходимое количество плановых точек и их оптимальное распределение в эксплуатационной области.

Четыре составляющие – внутренние параметры, коэффициенты разложения, финитное уточнение, количество плановых точек и их расположение в  $W$  - являются базовыми элементами, обеспечивающими возможность смещение центра тяжести из эмпирической области в расчетную область. Это позволяет на основе проектных данных строить планы идеального вычислительного эксперимента с большим количеством точек и с помощью полной цепочки компьютерных вычислительных процедур определять с хорошей точностью функциональные параметры и использовать их при обработке данных реальных испытаний, что сокращает общее число неизвестных и необходимых опытов.

Полученные результаты указывают на возможность использования уже на этапе генерации в САД-системе 3D-модели самолета рассмотренных компьютерных подходов к анализу технологических процедур подготовки и проведения летных испытаний с целью создания рациональных схем определения ЛТХ, а также формирования соответствующих наборов “аналитических” данных (базы данных) для конфигураций самолета.

Результаты исследований возможности применения проектной информации для предварительного определения значений внутренних параметров уже были использованы: при построении D-оптимального плана для регрессионной нелинейной модели (скрытая форма), при построении аналогичного плана для регрессионной линейной модели (явная форма) [4], а также при определении мультипликативной поправки  $\bar{\lambda}$  к расчетной тяге двигателя [5] (явная форма).

### Список литературы

1. Нарожный А. Н., Высокогляд Г. Г., Шелудько А. И., Стефанишин Н. И. Компьютерная поддержка процесса определения летно-технических характеристик самолета. Часть 1. //Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. Харьков: НАКУ “ХАИ”, 2005. – Вып. 29. – С. 16-26.
2. Нарожный А. Н. Компьютерная поддержка процесса определения летно-технических характеристик самолета. Часть 2. //Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. Харьков: НАКУ “ХАИ”, 2006. – Вып. 30. – С. 62-72.
3. Ермаков С. М., Жиглявский А. А. Математическая теория оптимального эксперимента. – Москва: “Наука”, 1987.
4. Нарожный А. Н. Компьютерная поддержка процесса определения летно-технических характеристик самолета. Часть 3. //Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. Харьков: НАКУ “ХАИ”, 2006. – Вып. 31. – С. 10-19.
5. Нарожный А. Н. Компьютерная поддержка процесса определения летно-технических характеристик самолета. Часть 4. //Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. Харьков: НАКУ “ХАИ”, 2006. – Вып. 32.

## **Вплив корозійного пошкодження на величину коефіцієнта інтенсивності напружень і граничний стан елемента конструкції**

*Національний авіаційний університет*

Розглядається задача про напружений стан прямокутної пластинки, яка ослаблена корозійним пошкодженням і тріщиною. Досліджується вплив глибини корозійного пошкодження на величину коефіцієнта інтенсивності напруження та на граничний стан пластинки

**Постановка проблеми**

Розробка та залучення принципу безпечного пошкодження можливо тільки при використанні методів механіки руйнування. У відповідності з загальнопризнаними уявленнями напружений стан тіл з тріщинами повністю характеризується величинами коефіцієнтів інтенсивності напружень (КІН). На їхньому попередньому визначенні основані практично всі відомі на сьогоднішній день критерії крихкого і квазікрихкого руйнування, які описують ріст тріщин від втоми.

Розроблений на кафедрі «Механіки» НАУ метод визначення граничного стану елементів конструкції з концентраторами напружень або з експлуатаційними пошкодженнями також заснован на силовому критерії крихкого і квазікрихкого руйнування і потребує для своєї реалізації обчислення КІН.

Розглядається задача про напружений стан прямокутної пластинки, яка ослаблена корозійним пошкодженням і тріщиною. Досліджується вплив глибини корозійного пошкодження на величину коефіцієнта інтенсивності напруження та на граничний стан пластинки.

**Аналіз дослідження**

Багато результатів, отриманих щодо міцності елементів конструкцій, які ослаблені корозійними пошкодженнями наведено в науковій та довідковій літературі. Останні дослідження даного питання знаходяться в працях [1-7].

Однак у відомій літературі мало уваги приділяється питанню про сумісну дію корозійного пошкодження і тріщини на напружений стан елементів конструкцій.

**Мета**

Отримати розв'язок проблеми про вплив глибини корозійного пошкодження на величину коефіцієнта інтенсивності напруження та граничний стан елементів конструкцій, які ослаблені пошкодженнями та тріщинами.

**Актуальність проблеми**

Конструкційні матеріали, які знаходяться в різних умовах експлуатації, піддаються корозійним пошкодженням, в результаті яких знижується їх міцність і скорочуються строки їх служби. Існують внутрішні і зовнішні фактори корозії. До перших відносяться фактори, які зв'язані з природою матеріалу. Зовнішні фактори визначаються складом корозійного середовища і умовами корозії.

Корозія – руйнування матеріалів в результаті хімічної чи електрохімічної реакції.

Розрізняють декілька типів корозії:

1) рівномірна корозія; швидкість рівномірної корозії виражають в  $\text{мм/год}$ ,

2) питинг – це руйнування локального типу, яке спостерігається у тих випадках, коли швидкість корозії на одних ділянках вище, ніж на інших.

Будемо розглядати експлуатаційні корозійні пошкодження елементів конструкцій локального типу.

Вибір конструктивного елемента

В якості конструктивного елемента, який прийнято до розв'язання сформульованої вище проблеми, розглянута прямокутна пластина з корозійним пошкодженням.

Розглядається пластина з матеріалу Д-16Т товщиною 3 мм. Пластина має корозійне пошкодження обмежене еліпсом (рис 1). Пластина розтягається в напрямку осі  $y$  рівномірно-розподіленими по верхній та нижній граням зусиллями  $\sigma$ . Розглядається декілька варіантів величини корозійного пошкодження. Товщина пластинки всередині може бути 3; 2,25; 1,5; 0,75 мм. Характеристики матеріалу  $\nu = 0.33$ ;  $\mu = 2.7 \cdot 10^4$  МПа;  $E = 7.4 \cdot 10^4$  МПа. Крім того пластина вміщує центральну наскрізну тріщину.

Метод розв'язання проблеми

Проблема розглядається як плоска задача теорії пружності. Диференціальні рівняння плоскої задачі теорії пружності мають такий вигляд:

$$\begin{aligned}(\lambda + \mu) \frac{\partial \theta}{\partial x} + \mu \nabla^2 u &= 0, \\(\lambda + \mu) \frac{\partial \theta}{\partial y} + \mu \nabla^2 v &= 0,\end{aligned}$$

де

$$\nabla^2 u = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \text{ - оператор Лапласа;}$$

$u, v$  - проєкції вектора переміщень відповідно на осі  $x, y$ ;  $\theta$  - об'ємне розширення;  $\lambda, \mu$  - постійні Ламе.

Задача розв'язується за допомогою метода скінчених елементів і програмного комплексу.

Програмний комплекс реалізований як інтегрована система аналізу напружено-деформованого стану і проектування елементів конструкцій на базі метода скінчених елементів (МСЕ). Теоретичною основою комплексу є МСЕ в формі метода переміщень. В методі переміщень окремі скінчені елементи з'єднуються один з одним тільки в вузлах.

В основу визначення КІН на базі переміщень покладена формула

$$K_1 = (2\pi)^{1/2} \frac{(1 + \nu)\mu}{4} \lim_{x \rightarrow a-0} \left[ \frac{v(x, +0) - v(x, -0)}{(a - x)^{1/2}} \right] \quad (1)$$

де  $\nu$  – коефіцієнт Пуассона,  $a$  - довжина тріщини.

Оскільки задача розглядається чисельним методом на базі методу скінчених елементів, тоді формула (1) будемо використовувати в такому вигляді

$$K_1 = (2\pi)^{1/2} \frac{(1 + \nu)\mu}{4} \lim_{x \rightarrow a-0} \left[ \frac{v(x_0, +\Delta y) - v(x_0, -\Delta y)}{(a - x_0)^{1/2}} \right],$$

де  $\Delta y$  - дуже мала величина.

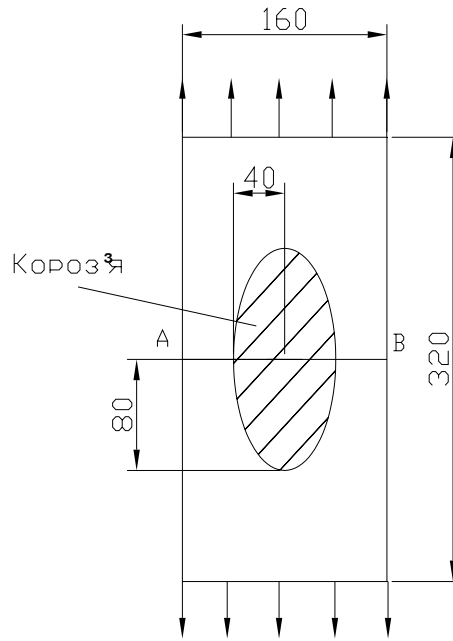


Рис 1 Схема конструктивного елемента, який ослаблений корозійним пошкодженням і тріщиною

Як приклад, розглянемо послідовність обчислень величини  $K_I$  для випадку, коли товщина в середині еліпса складає 1,5мм, а довжина тріщини – 15мм (табл. 1).

Таблиця 1  
Координати і вертикальні переміщення точок розташованих на верхній та нижній поверхнях тріщини

u, мм	x, мм	y, мм	z, мм
0.24606	87	160	1.5
0.22277	87	159.5	1.5

Отже,

$$K_I = (2\pi)^{1/2} \frac{(1 + 0.33) \cdot 2.7 \cdot 10^4}{4} \cdot \frac{(0.24606 - 0.22277) \cdot 10^{-3}}{(0.5 \cdot 10^{-3})^{1/2}} = 23.4 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$$

Аналогічно, можна обчислити величину  $K_I$  для інших значень довжини тріщини і товщини листа в середині еліпса. Результати обчислень наведені у табл. 2

Таблиця 2  
Вплив довжини тріщини і товщини зразка в середині еліпса на величину коефіцієнта інтенсивності напружень  $K_I$ ,

Товщина зразка в середині еліпса, мм	Довжина тріщини, мм				
	5	10	15	20	25
0.75	14.4	20.3	24.9	28.5	31.9
1.50	13.7	19.2	23.4	26.8	29.8
2.25	12.4	17.3	21.2	24.3	27.2
3.00	8.97	12.7	15.5	17.8	20.0



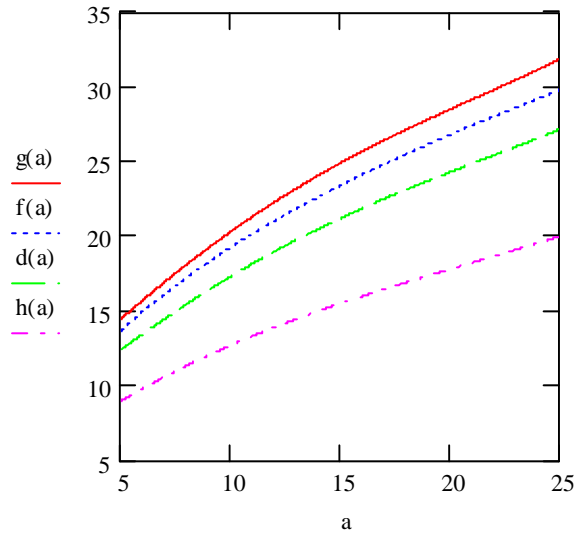


Рис 2 Залежність  $K_I$  від довжини тріщини і глибини корозійного пошкодження

По цим даним будуюмо інтерполяційні поліноми  $g(a)$ ,  $f(a)$ ,  $d(a)$ ,  $h(a)$ , які відповідають товщині в середині еліпса 0,75; 1,5; 2,25; 3мм відповідно.

$$g(a) = 7.61 + 1.4242 \cdot a - 0.5249 \cdot 10^{-2} \cdot a^2 - 0.1367 \cdot 10^{-2} \cdot a^3 + 0.34 \cdot 10^{-4} \cdot a^4$$

$$f(a) = 5.8 + 1.893 \cdot a - 0.715 \cdot 10^{-1} \cdot a^2 + 0.1867 \cdot 10^{-2} \cdot a^3 - 0.2 \cdot 10^{-4} \cdot a^4$$

$$d(a) = 6.66 + 1.2033 \cdot a - 0.7 \cdot 10^{-2} \cdot a^2 - 0.933 \cdot 10^{-3} \cdot a^3 + 0.24 \cdot 10^{-4} \cdot a^4$$

$$h(a) = 3.85 + 1.19516 \cdot a - 0.3755 \cdot 10^{-1} \cdot a^2 + 0.6733 \cdot 10^{-3} \cdot a^3 - 0.2 \cdot 10^{-5} \cdot a^4$$

На рис 2 наведені поліноми  $g(a)$ ,  $f(a)$ ,  $d(a)$ ,  $h(a)$ .

З рис 2 видно, що  $K_{IH}$  зростає при збільшенні довжини тріщини і зменшення товщини зразка в середині еліпса.

В даному випадку найбільше значення мають напруження  $\sigma_y$ . На рис 3 зображен графік  $\sigma_y$  в небезпечному перерізі А-В. Видно, що ці напруження різко зростають при наближенні до вершини тріщини. Крім того, має місце різке змінення епюри поблизу еліпса, який обмежує область корозійного пошкодження

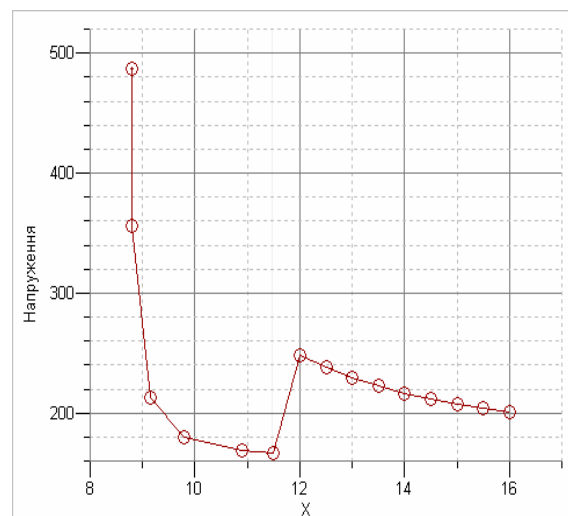


Рис 3 Епюра напружень  $\sigma_y$

### Визначення граничного стану

Визначимо граничне напруження  $\sigma_k$  для даного конструктивного елемента. Скористаємось умовою руйнування Ірвіна. Критерій Ірвіна формулюється так: тріщина починає розповсюджуватися в пружному тілі, коли значення коефіцієнта інтенсивності напружень досягає деякого критичного для даного матеріалу значення.

Значення  $K_1$ , при досягненні якого тріщина буде розповсюджуватися нестійко, являється константою матеріалу, яка називається в'язкістю руйнування або критичним коефіцієнтом інтенсивності напружень. Критичний коефіцієнт інтенсивності напружень при статичному прикладенні навантаження в умовах плоскої деформації позначається через  $K_{1C}$ , а при узагальненому плоскому напруженому стану – через  $K_C$ .

Таким чином, умова руйнування для тіла з тріщиною при плоскому напруженому стану має вигляд

$$K_1 = K_C$$

Величина  $K_C$  визначається експериментально і являється постійною матеріалу.

Розглянемо випадок, коли товщина зразка в середині еліпса дорівнює 1.5мм. В цьому випадку

$$K_1 = b(a) = 5.8 + 1.893 \cdot a - 0.715 \cdot 10^{-1} \cdot a^2 + 0.1867 \cdot 10^{-2} \cdot a^3 - 0.2 \cdot 10^{-4} \cdot a^4$$

Використовуючи умову Ірвіна отримуємо

$$\frac{\sigma_k}{100} \cdot b(a) = K_C$$

Звідси

$$\sigma_k = \frac{100 \cdot K_C}{b(a)} \quad (2)$$

Для матеріалу Д-16Т  $K_C = 36 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ . Прийняв у формулі (2) послідовно  $a = 5; 10; 15; 20; 25$  знаходимо відповідні значення напруження  $\sigma_k$ . Результати наведені в табл. 3

Таблиця 3

Величина критичного напруження  $\sigma_k$  в залежності від довжини тріщини

$a, \text{ мм}$	5	10	15	20	25
$\sigma_k, \text{ МПа}$	262.8	187.0	153.8	134.3	120.8

За результатами цієї таблиці підбираємо інтерполяційний поліном  $b(a)$  і будуємо графік залежності критичного напруження  $\sigma_k$  від довжини тріщини  $a$  (рис 4).

$$b(a) = 431.3 - 47.37 \cdot a + 3.2447 \cdot a^2 - 0.10092 \cdot a^3 + 0.001413 \cdot a^4$$

Подібним чином, можна побудувати такі графіки для будь-якої товщини зразка в середині еліпса.

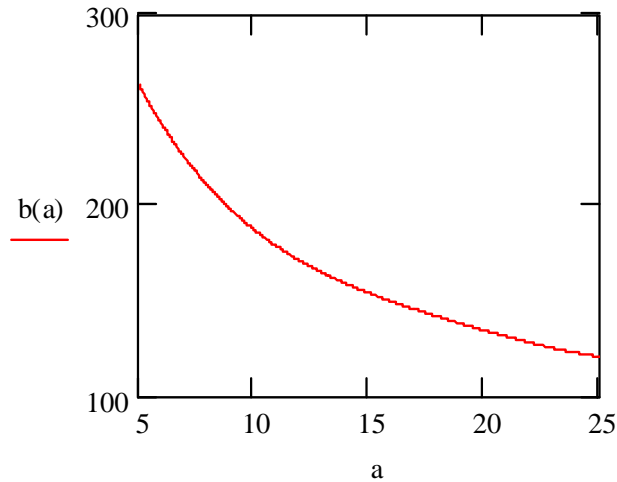


Рис 4. Графік залежності  $\sigma_k$  від  $a$ .

### Висновки

1. Запропонований спосіб, який дозволяє проводити чисельне обчислення коефіцієнта інтенсивності напружень для елементів конструкцій з тріщиною і корозійним пошкодженням.

2. Як показали розрахунки (рис. 2) коефіцієнт інтенсивності напружень зростає при збільшенні глибини корозійного пошкодження і довжини тріщини.

3. Показано, як визначати критичне напруження для елемента конструкції з корозійним пошкодженням і тріщиною (на прикладі, прямокутної пластини з корозійним пошкодженням і тріщиною, яка розташована по центру).

В подальшому передбачається розв'язати подібну задачу з врахуванням як корозійного пошкодження, так і температури пластинки.

Отримані результати можуть знайти використання в розрахунковій практиці при перевірці на міцність елементів авіаційних конструкцій.

### Список література

1. Гаджиев Г.Х., Мирсалимов В.М. Проблемы механики: Сборник статей к 90-летию со дня рождения А.Ю. Ишлиринского. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 196-207 с.
2. Глаголев В.В., Кузнецов К.А., Маркин А.А. Модель процесса разделения деформируемого тела // Изд. АН. Мех. Тверд. Тела. РАН. 2003. - №6. – 61-68.
3. Панасюк В.В. Механика квазихрупкого разрушения материалов. – Киев: Наукова думка, 1991. – 416с.
4. Справочник по коэффициентам интенсивности напряжений. В 2-х томах. / Под ред. Ю. Мураками. – М.: Мир, 1990. т.1 – 448 с., т.2 – 565 с.
5. Хеллан К. Введение в механику разрушения. – М.: Мир, 1998. – 364 с.
6. Kubair D.V., Geubell P.H. Comparative analysis of extrinsic and intrinsic cohesive models of dynamic fracture // Int. J. Solids and Struct. - 2003. – 40. – №15. – P. 3853-3868.
7. Nishioka T., Syano S., Fujimoto T. Concepts of separated J-integrals, separated energy release rates, and the component separation method of the J-integral for interfacial fracture mechanics // Trans. ASME. J. Appl. Mech. – 2003. – 70. - №4. – P. 505-516.

## **Математическое моделирование при создании комплексов бортового оборудования самолета**

*АНТК им. О.К. Антонова*

Большие технические системы (БТС), как правило, не поддаются полному математическому описанию, а если и удастся разработать математическую модель, то ввиду большой сложности, практически не удастся провести ее аналитическое исследование, как это возможно в теории систем автоматического управления. Однако в связи со сложностью и большой стоимостью БТС их разработка с самого начала должна выполняться как разработка оптимальной системы [1]. Известно, что затраты на доработку БРЭО на этапах проектирования, серийного производства и эксплуатации относятся как 1 : 10 : 100 [2].

Известны и широко применяются при проектировании больших технических систем методы «черный ящик», «прозрачный ящик», «самоорганизующая система»[3]. В области проектирования бортовых комплексов оборудования известна «Временная методика оценки экономической эффективности пилотажно-навигационного оборудования самолетов ГА. № 25-87-III» НЭЦАУВД, НИИАО.[4] Однако, математические модели, описывающие достаточно полно комплексы бортового оборудования самолета, отсутствуют и требуется их разработка.

В настоящее время по рекомендациям ICAO ведется разработка и создание новой глобальной системы аэронавигации и организации воздушного движения CNS/ATM (Communication, Navigation, Surveillance / Air Traffic Management - Связь, Навигация и Наблюдение за воздушным пространством / Организация воздушного движения). Указанная система включает в себя комплекс бортового оборудования воздушных судов и глобальную систему организации воздушного движения ATM [5].

Для работы в системе CNS/ATM перспективный бортовой интегрированный электронный комплекс (БИЭК) должен включать в свой состав пилотажно-навигационное, радиосвязное оборудование, систему индикации, многорежимные пульта управления, самолетные системы с системой управления, бортовую автоматизированную систему контроля, цифровые датчики первичной информации, объединенные посредством мультиплексных и радиальных связей в единую информационно-управляющую систему. Бортовое радиоэлектронное оборудование (БРЭО) нового поколения должно комплексоваться на базе иерархической структуры с многомашинной топологией, позволяющей изменять конфигурацию комплексов. Основными нововведениями в области БРЭО будет: интеграция функций, массивов памяти, программного обеспечения на базе языков высокого уровня; панорамная трехмерная индикация; использование тепловизионных и спутниковых систем для посадки воздушного судна (ВС); применение экспертных систем; создание волоконно-оптических информационных систем связи; создание сверхнадежных необслуживаемых систем БРЭО, оптимизация структур цифровых вычислительных систем и оборудования в целом.

Отличительной особенностью проектирования бортового комплекса оборудования воздушного судна является необходимость учета большого

количества факторов, влияющих на облик комплекса, к основным из которых можно отнести:

- обеспечение соответствия нормам летной годности АП-25;
- обеспечение соответствия рекомендациям ICAO и требованиям;
- определение требуемых уровней безопасности выполнения функциональных задач;
- обеспечение коммерческой эффективности эксплуатации;
- обеспечение наглядного представления информации экипажу и обслуживающему персоналу о функционировании агрегатов и систем;
- определение технико-экономических показателей вновь разрабатываемых систем;
- обеспечение регулярности полетов;
- обеспечение уровня комфорта для пассажиров;
- определение видов информационных связей аппаратуры и взаимодействия отдельных систем;

Данный перечень можно продолжить техническими, экономическими и временными аспектами, степенью технического риска, а также многими другими. Однако, определяющими вопросами проектирования являются выбор и обоснование состава комплекса оборудования, определение технико-экономических показателей для вновь разрабатываемой аппаратуры комплекса. Без решения этих задач остальные вопросы проектирования теряют смысл.

Задача выбора состава и технических характеристик бортового оборудования является задачей системного проектирования и сводится к выбору и обоснованию приемлемых для ВС параметров БРЭО. Задача является многокритериальной и относится к области векторной оптимизации. Наличие нелинейных соотношений показателей оборудования и самолета требует применения многокритериальных методов векторной оптимизации.

Рассматриваемую проблему можно сформулировать в виде математической постановки и далее реализовать в виде математических моделей.

Задачу проектирования можно свести к поиску и определению таких проектных параметров БРЭО, которые обеспечат максимальную прибыль воздушного судна (ВС) на протяжении жизненного цикла. Для технологии проектирования БРЭО математическую постановку можно выразить как:

$$P_{BC}(T_{\text{экспл}}) = \varphi(P_{БРЭО}(T_{\text{экспл}}) / \vec{A}_{БРЭО}^{(o)}) \rightarrow \max, \quad (1)$$

где

$P_{BC}(T_{\text{экспл}})$  - функционал прибыли от применения ВС на протяжении жизненного цикла;

$P_{БРЭО}(T_{\text{экспл}})$  - функционал прибыли от применения БРЭО на протяжении жизненного цикла;

$\vec{A}_{БРЭО}^{(o)}$  - вектор параметров БРЭО. Включает состав БРЭО и технические характеристики.

Таким образом, установив зависимость между характеристиками оборудования и ВС, можно проводить поиск точечных значений характеристик аппаратуры и оценивать эксплуатационно-технические показатели ВС.

Разработка математических моделей должна включать разработку алгоритмов оценки эффективности бортового оборудования, определение аргументов и функций для обобщенных моделей показателей БРЭО. Как частный случай, в качестве математической модели может служить прибыль от парка самолетов на протяжении жизненного цикла. В качестве аргументов обобщенных моделей выступают характеристики оборудования, в качестве функций - эксплуатационно-технические характеристики самолета.

На рис.1 представлены этапы разработки расчетного метода выбора состава и определения основных технико-экономических показателей комплекса бортового оборудования.

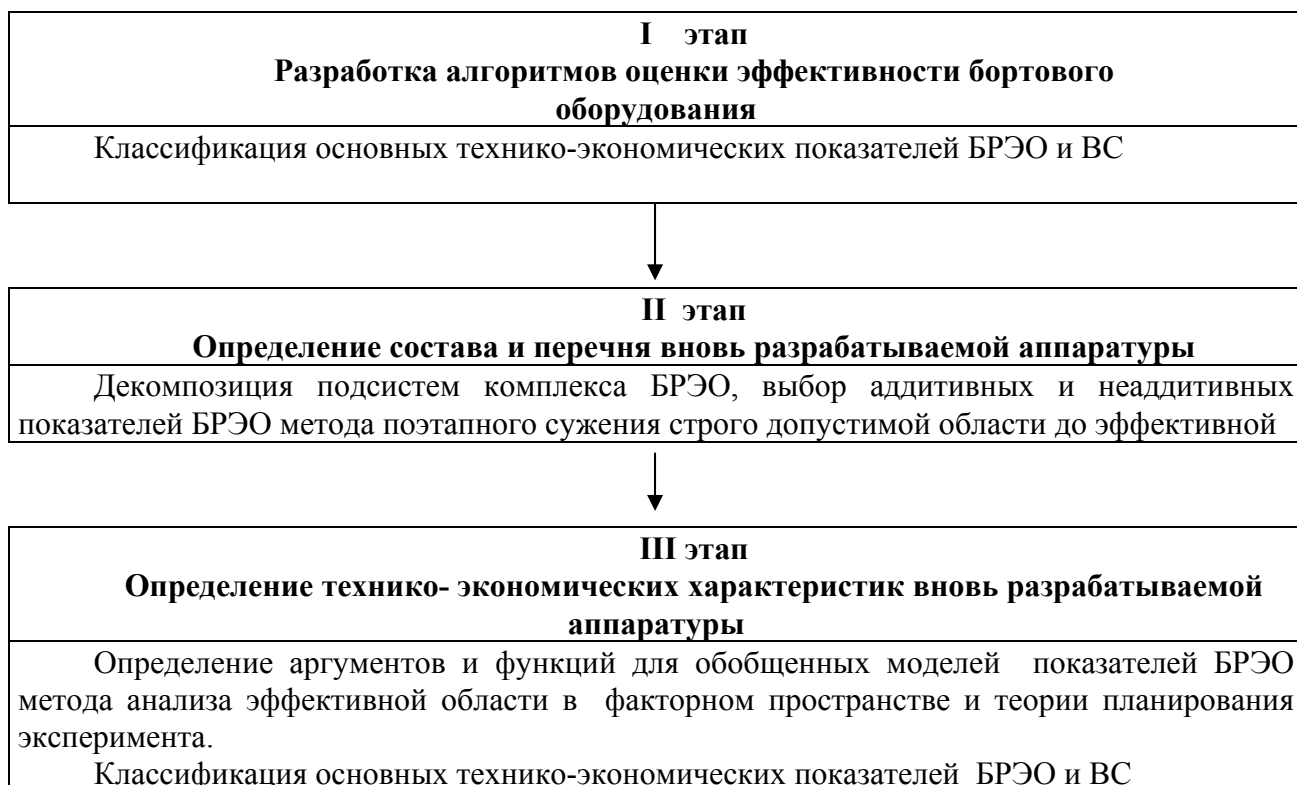


Рис. 1 Этапы разработки расчетного метода

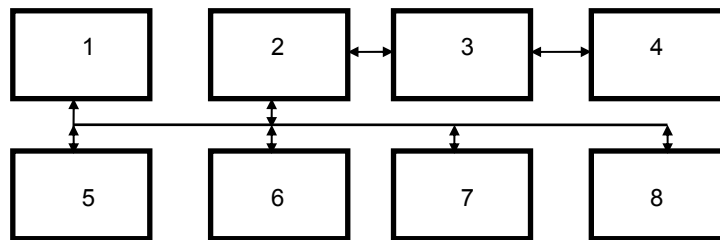
Сложность решаемой задачи требует автоматизации подготовки принятия решения и разработки автоматизированного рабочего места конструктора (АРМК). Автоматизированное рабочее место конструктора представляет собой совокупность технических и программных средств. В качестве технических средств используется IBM PC. Программные средства разрабатываются на базе алгоритмических языков программирования высокого уровня.

Пакет прикладных программ должен позволить:

- автоматизировать подготовку и принятие решения выбора состава бортового оборудования,
- проводить количественную оценку рассматриваемых вариантов комплексов бортового оборудования и определять оптимальный из них,
- формировать технические требования к вновь заказываемой аппаратуре,
- представлять конструктору в удобном виде результаты расчетов.

Областью применения АРМК являются этапы проектирования ВС, связанные с анализом выбора состава и выбором основных технических характеристик бортового оборудования.

На рис. 2 представлена структурная схема программного комплекса БИЭК.



- |                          |  |
|--------------------------|--|
| 1. модуль печати         | 5. модуль выбора базового варианта         |
| 2. модуль ведения БД     | 6. модуль формирования множества вариантов |
| 3. система управления БД | 7. модуль расчета эффективности            |
| 4. база данных БД        | 8. модуль поиска оптимального варианта     |

Рис.2 Структурная схема программного комплекса БИЭК

### Выводы

1. Создание перспективной авионики требует новых подходов к проектированию интегрированных комплексов бортового оборудования самолетов, прежде всего, на основе математических методов и использования математических моделей, описывающих достаточно полно комплексы оборудования.

2. Технология проектирования бортовых комплексов оборудования с помощью автоматизированного рабочего места конструктора дает возможность автоматизировать подготовку и принятие решения выбора состава бортового оборудования, проводить количественную оценку рассматриваемых вариантов комплексов и определять оптимальный из них.

Перспективой дальнейших исследований в данном направлении является разработка математических моделей функционирования бортового оборудования.

### Список литературы

1. Попов И.А., Скворцов В.В., Мицитис А.К. Исследование и проектирование больших технических систем. - Киев: КИ ВВС, 1995.
2. Моисеев С.В. Экономические критерии выбора радиоэлектронных комплексов самолетов. – М.: Машиностроение, 1984.
3. Джонс Дж.К. Методы проектирования.-М.: Мир, 1986.
4. НЭЦАУВД, НИИАО Временная методика оценки экономической эффективности пилотажно-навигационного оборудования самолетов ГА. № 25-87-III. - М.: 1987.
5. Инструктивный материал. ICAO/ Национальный план для систем CNS/ATM// 1999.

## Влияние удлинения крыла на аэродинамические характеристики дозвукового транспортного самолёта в крейсерском режиме полёта

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»  
Авиационный научно-технический комплекс им. О.К. Антонова*

Одной из важнейших проблем, возникающих при создании авиационной техники, является определение аэродинамических характеристик проектируемого летательного аппарата. Выполнение аэродинамических требований к проектируемому самолёту стоит в ряду наиболее приоритетных задач. Самые надёжные результаты по определению аэродинамических характеристик самолёта дают лётные испытания. Но такие испытания требуют очень больших затрат трудовых, временных и материальных ресурсов. Кроме того, на предварительных этапах проектирования лётные испытания проводить невозможно. Эксперимент в аэродинамических трубах также дорог и требует больших временных затрат. Поэтому на начальных этапах проводится численный эксперимент на основе формул, полученных из анализа данных, найденных теоретическими исследованиями, полученных в аэродинамических трубах и в лётных испытаниях. Используемые эмпирические формулы позволяют определить аэродинамические коэффициенты в зависимости от геометрических параметров самолета и критериев подобия, характеризующих поток. Результаты расчётов аэродинамических характеристик самолётов и применяемые для этого эмпирические формулы приведены в работах [1] – [7].

Для выбора рациональных форм и размеров самолёта необходимо иметь зависимость аэродинамических характеристик от указанных параметров. Одним из наиболее важных параметров дозвукового самолёта, влияющих на его аэродинамические характеристики, является удлинение крыла. Цель настоящей статьи – проведение всестороннего систематического анализа влияния удлинения крыла на аэродинамические характеристики самолёта. Ранее такой комплексный анализ в одной работе не проводился. Кроме того, приведенные в цитируемой литературе методики [7] дают заниженное значение коэффициента волнового сопротивления, обусловленного влиянием подъёмной силы при  $0.4 < M_\infty < M_{кр}(c_y=0)$ . Ставилась задача разработать формулы, позволяющие рассчитать волновое сопротивление с приемлемой точностью. Остальные расчетные формулы взяты из источников [1] – [7].

В качестве начальных параметров для исследования влияния удлинения крыла на аэродинамические характеристики самолёта выбраны параметры дозвукового транспортного самолёта Ан-72. Исходный самолёт имеет крыло с такими геометрическими параметрами  $S = 98.78 \text{ м}^2$ ,  $\lambda = 10,27$ ,  $\eta = 3,03$ ,  $\chi = 13^\circ 57'$  (Рис. 1).

Анализировались различные модификации самолёта, в которых площадь крыла, сужение и стреловидность по передней кромке не изменялись, а варьировалось только его удлинение. Следует отметить, что с увеличением удлинения



растет масса конструкции, но в данной работе эти вопросы не рассматривались.

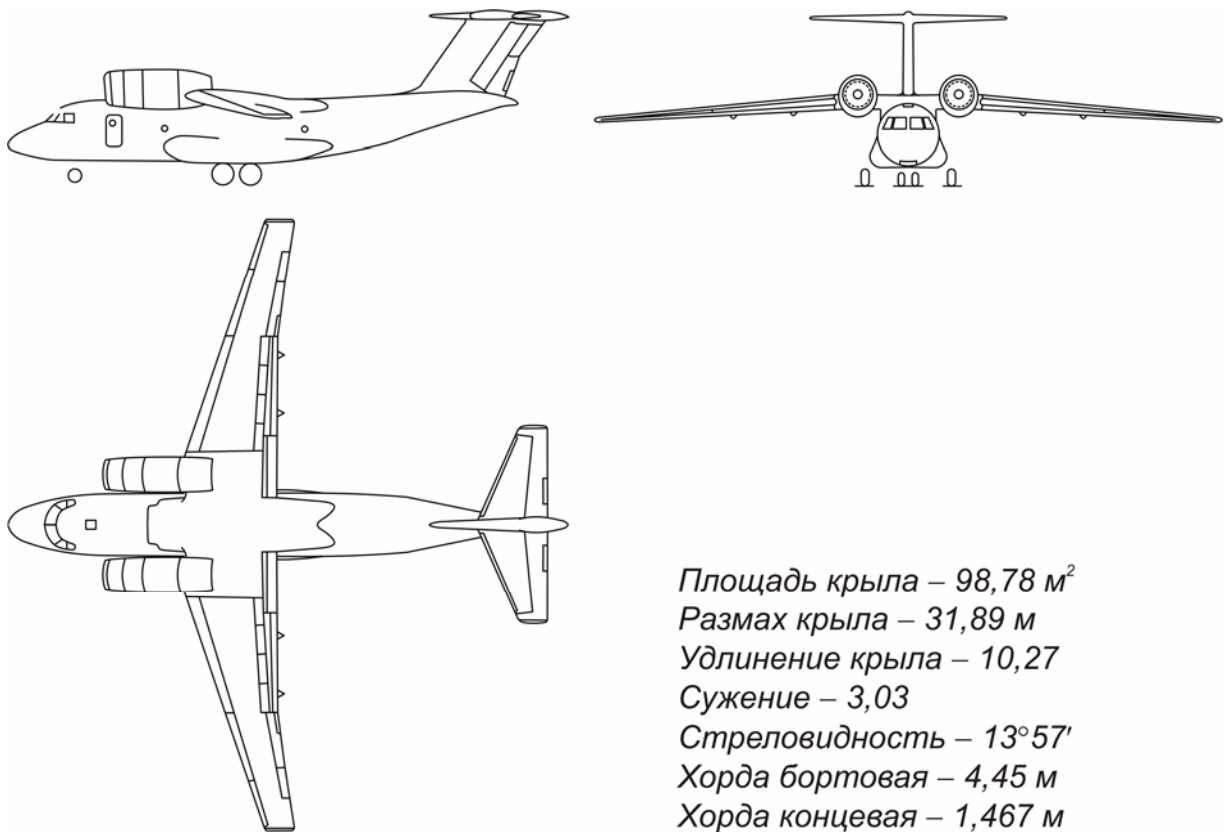


Рис. 1. Схема самолёта Ан-72

Удлинение крыла оказывает существенное влияние на коэффициент подъёмной силы  $C_{ya}$  и коэффициент сопротивления  $C_{xa}$ . В общем случае зависимость  $C_{ya}(\alpha)$  при безотрывном обтекании крыла (отрыв за счёт вязкости) представляется в виде [7]

$$C_{ya} = C_{ya \text{ лин}} + \Delta C_{ya},$$

где  $C_{ya \text{ лин}}$  – линейная составляющая коэффициента подъёмной силы, обусловленная продольным обтеканием крыла;  $\Delta C_{ya}$  – нелинейная составляющая, обусловленная поперечным обтеканием.

При  $\lambda \geq 3.0$  можно считать, что  $\Delta C_{ya}$  равно нулю.

Линейная составляющая

$$C_{ya \text{ лин}} = C_{ya}^{\alpha} (\alpha - \alpha_0)$$

Угол нулевой подъёмной силы  $\alpha_0$  определяется вогнутостью профиля и геометрической кривой крыла. Можно считать, что на  $\alpha_0$  не влияют удлинение и стреловидность (влияние удлинения сказывается при  $\lambda \leq 1.5$ , влияние стреловидности – при  $|\chi| \geq 60^\circ$ ).

Величина производной  $c_{ya}^\alpha$  не зависит от крутки крыла и определяется формой в плане, при этом основное влияние оказывают удлинение и стреловидность, а сужение влияет слабо. Можно рекомендовать следующую формулу для расчёта  $c_{ya}^\alpha$ , пригодную для крыла произвольной формы в плане:

$$c_{ya}^\alpha = \frac{c_{ya\infty}^\alpha \lambda}{p\lambda + c_{ya\infty}^\alpha / \pi}, \quad (1)$$

где  $p$  – отношение полупериметра крыла к его размаху (на рис. 2 полупериметр  $p$  выделен жирными линиями); характеристика профиля

$$c_{ya\infty}^\alpha = 2\pi(1 - 0.27\sqrt[4]{c}).$$

Для трапецевидного крыла

$$p = \frac{l_1 + l_2 + b_k}{l},$$

или

$$p = 0.5 \left( \frac{1}{\cos \chi_{пк}} + \frac{1}{\cos \chi_{зк}} \right) + \frac{2}{\lambda(\eta + 1)}.$$

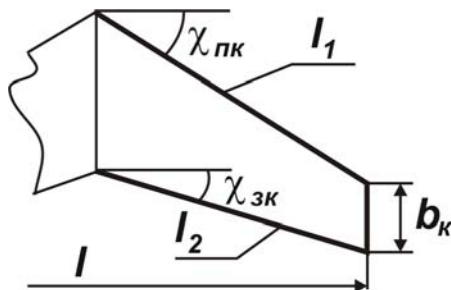


Рис. 2. Трапецевидное крыло

Для нестреловидных крыльев при  $\lambda \rightarrow \infty$   $p \rightarrow 1$  и  $c_{ya}^\alpha \rightarrow c_{ya\infty}^\alpha$ , т.е. имеем характеристику профиля.

Для стреловидных крыльев при  $\lambda \rightarrow \infty$

$$p \rightarrow \frac{1}{\cos \chi} \text{ и } c_{ya}^\alpha \rightarrow c_{ya\infty}^\alpha \cos \chi.$$

Из-за своей универсальности формула (1) носит приближённый характер.

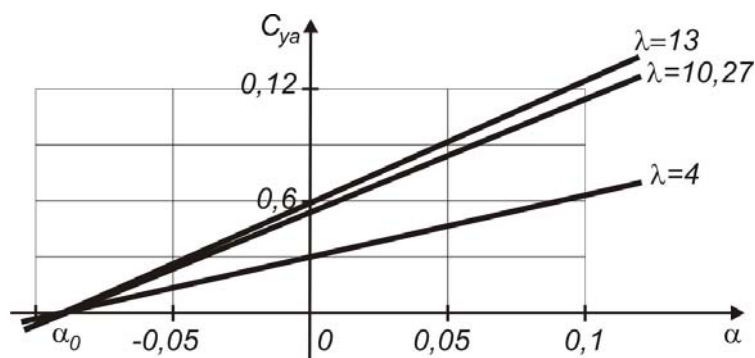


Рис. 3. Зависимость  $c_{ya}^\alpha(\alpha, \lambda)$

Имеются более точные формулы, но они ограничены областями применимости по форме в плане, удлинению и стреловидности.

Влияние удлинения крыла  $\lambda$  на зависимость  $c_{ya}^\alpha(\alpha)$  иллюстрируется рис. 3. С увеличением удлинения величина  $c_{ya}^\alpha$  возрастает.

Физический смысл такого возрастания заключается в том, что при дозвуковых скоростях обтекания на концевых кромках крыла перепад давления равен нулю, поэтому концевые зоны крыла создают меньшую подъёмную силу по сравнению с его центральными зонами. С увеличением удлинения крыла относительная площадь концевых зон по сравнению с площадью всего крыла уменьшается. Коэффициент подъёмной силы – это осреднённый по площади коэффициент перепада давления, поэтому с увеличением  $\lambda$  он возрастает.

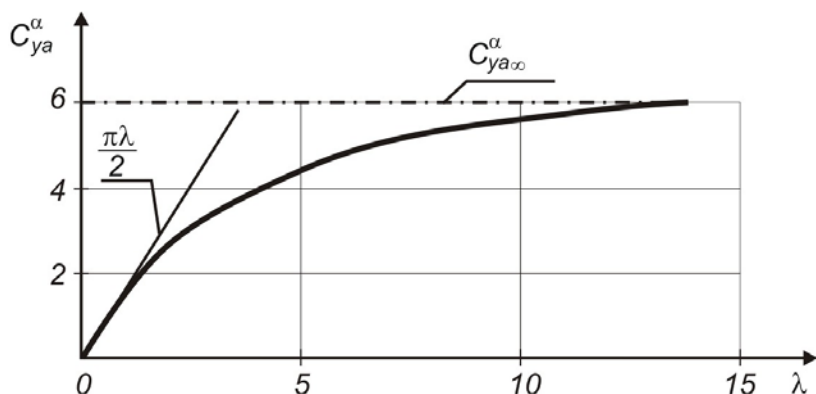


Рис. 4. Влияние удлинения на производную  $C_{ya}^\alpha$

График изменения производной  $C_{ya}^\alpha$  в зависимости от удлинения изображён на рис. 4. Из графика видно, что с увеличением удлинения, величина  $C_{ya}^\alpha$  асимптотически стремится к характеристике профиля  $C_{ya\infty}^\alpha$ . Теоретические и экспериментальные исследова-

ния показывают, что при малых удлинениях форма крыла в плане не влияет на производную  $C_{ya}^\alpha$ , которая зависит от  $\lambda$  по линейному закону  $C_{ya}^\alpha = \frac{\pi\lambda}{2}$ . Это и подтверждает график, приведенный на рис. 4.

Критический угол атаки  $\alpha_{кр}$  с уменьшением удлинения возрастает. У крыльев больших удлинений критический угол атаки находится в диапазоне  $\alpha_{кр} = 14 - 20^\circ$ , у крыльев малых удлинений  $\alpha_{кр} = 30 - 40^\circ$ . Причина такого затягивания отрыва потока заключается в том, что когда частицы движутся в сторону увеличения давления, то те из них, которые находятся в пограничном слое, имеют маленькую скорость. Кинетическая энергия таких частиц недостаточна для преодоления существующего перепада давления, и они вначале останавливаются, а затем поворачивают обратно. У крыльев малых удлинений свободная вихревая поверхность, которая имеет наибольшую интенсивность, у концов крыла располагается вблизи верхней поверхности крыла. Эта вихревая поверхность сообщает частицам, лежащим на верхней поверхности крыла, дополнительную скорость и тем самым увеличивает их кинетическую энергию. В результате отрыв потока на крыле затягивается до больших углов атаки.

Результаты продувок в аэродинамических трубах [4] показывают, что у крыльев больших удлинений максимальное значение коэффициента подъемной силы практически не зависит от удлинения. Такую закономерность можно объяснить тем, что с уменьшением удлинения уменьшается производная  $C_{ya}^\alpha$ , но вместе с тем затягивается отрыв потока. При отсутствии специальных средств механизации для крыльев с удлинением  $\lambda > 3 \dots 3.5$  максимальный коэффициент подъемной силы определяется формой профиля и составляет величину порядка  $C_{ya}^{max} = 1.4 \dots 1.8$ .

На профильное сопротивление удлинение практически не влияет, а коэффициент индуктивного сопротивления  $C_{xi}$  в значительной степени зависит от удлинения крыла.

Индуктивное сопротивление возникает за счёт возмущённого движения, индуцируемого свободной вихревой поверхностью (СВП), сходящей с несущих по-

верхностей самолёта. Во всё время движения за каждый промежуток времени в возмущённое движение вовлекаются всё новые частицы. Из закона сохранения энергии следует, что произведение индуктивного сопротивления на путь, который пролетел самолёт за единицу времени, равняется дополнительной энергии частиц, вовлечённых в возмущённое движение за эту же единицу времени. Для крыльев больших удлинений СВГ сходит в основном с концевых зон крыла. При увеличении размаха крыла при неизменной хорде суммарная интенсивность СВГ изменяется не очень сильно, следовательно, незначительно изменяется и суммарное индуктивное сопротивление. Поскольку площадь крыла при этом возрастает, то коэффициент  $c_{xi}$  убывает и для крыла бесконечного размаха стремится к нулю.

Для плоских крыльев индуктивное сопротивление определяется по выражению:

$$c_{xi} = \frac{c_{ya}^2}{\pi\lambda} (1 + \delta).$$

Здесь параметр  $\delta$  можно найти по формуле [7]

$$\delta = 0.114\delta_1\delta_2,$$

$$\text{где } \delta_1 = m(1 + 0.225m),$$

$$\delta_2 = 0.35\bar{\eta}^2 + (6\bar{\eta} + 1)^{-3}, \text{ а}$$

$$m = \frac{\lambda}{c_{ya\infty}^\alpha \cos \chi_{0.5}}.$$

Влияние удлинения на индуктивное сопротивление иллюстрируется рис. 5.

Удлинение крыла оказывает влияние на критическое число Маха  $M_{кр}$ . Число  $M_{кр}$  определяет верхнюю границу дозвуковых скоростей полета. Для

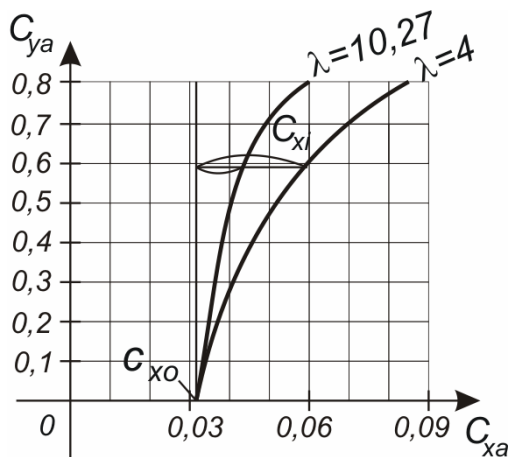


Рис. 5. Влияние удлинения на полярю

оценки величины  $M_{кр}$  крыла при нулевой подъемной силе можно воспользоваться формулой [7]

$$M_{кр} = 1 - \frac{m\lambda^2 \sqrt{c}}{\lambda^2 + 0,1} \cos \chi_c,$$

где  $m = 0.7$ ; если на крыле (оперении) используется классический профиль,  $m = 0,55$  – сверхкритический.

С увеличением удлинения крыла  $M_{кр}$  уменьшается, и наиболее значительно влияние  $\lambda$  на  $M_{кр}$  проявляется для крыльев малых удлинений.

В отчете [2] волновое сопротивление рекомендуется рассчитывать по выражению:

$$c_{xв} = 0.0038 \left( \frac{0,11}{0,11 - M + M_{кр}^*} \right)^3,$$

где  $M_{кр}^*$  – критическое число Маха, при заданном значении  $C_y$  определяемое из условия  $\frac{dc_{xa}}{dM} = 0,1$ . В настоящей работе для определения величины  $M_{кр}^*$  предложена формула

$$M_{кр}^* = \left( 1 - \frac{\alpha \cdot (C_{ya})^{\frac{1}{n}} + \gamma}{\beta} \right) \cdot 0,9 + 0,1,$$

где  $\alpha = \kappa \cdot \bar{c} \cdot \cos^2 \chi_c$ ;  $\beta = \frac{\lambda_k^2 + 0,1}{\lambda_k^2}$ ;  $\gamma = m \cdot \sqrt{\bar{c}} \cdot \cos \chi_c$

Для улучшения сходимости результатов расчета с данными летного эксперимента по самолету Ан-72 введена поправочная эмпирическая формула для коэффициента волнового сопротивления при значениях  $C_{ya}$ , выводящих течение за пределы дозвукового:

$$K = 1.15 - 0.5(C_{ya} - 0,1).$$

Удлинение крыла оказывает существенное влияние на аэродинамическую интерференцию. Теоретическое значение коэффициентов интерференции  $K_\alpha^0$  и  $\Delta K_\alpha^0$ , учитывающих взаимное влияние крыла и фюзеляжа кругового сечения на подъёмную силу, определяется следующим образом:

$$K_\alpha^0 = \frac{1 + \sigma \sqrt{1 - h^2}}{1 + \sigma^2 h^2}, \quad \sigma = \frac{d_\phi}{l}, \quad h = 2H/d_\phi, \quad \Delta K_\alpha^0 = K_\alpha^0 (K_\alpha^0 - 1).$$

где  $l$  – размах крыла,  $d_\phi$  – диаметр фюзеляжа в месте его сочленения с крылом,  $H$  – расстояние от плоскости крыла до центра фюзеляжа.

Поправочный множитель  $\nu_1$ , учитывающий влияние удлинения на коэффициент  $K_\alpha^0$ , рассчитывают по формуле

$$\nu_1 = 1 + \sigma(1 - \sigma)(\eta - 1) / [\eta(1 + \sigma)^2]$$

Увеличение удлинения крыла при неизменной площади приводит к увеличению его размаха, а следовательно, и к уменьшению параметра  $\sigma$ . В результате  $K_\alpha \rightarrow 1$  и  $\Delta K_\alpha \rightarrow 0$ , и это показывает, что при увеличении удлинения взаимное влияние крыла и фюзеляжа на подъёмную силу уменьшается.

Аналогичным образом определяются коэффициенты  $K_\phi$  и  $\Delta K_\phi$ , учитывающие угол установки крыла относительно фюзеляжа  $\phi$ . С увеличением удлинения они изменяются так же, как и коэффициенты  $K_\alpha$  и  $\Delta K_\alpha$ .

При расчёте аэродинамических сил, действующих на горизонтальное оперение, необходимо учитывать скос потока  $\varepsilon$  за крылом. Указанный скос потока определяется по формуле  $\varepsilon = \varepsilon^\alpha \alpha + \varepsilon_0$ , тогда истинный угол атаки  $\alpha_{20}$ , под которым обтекается горизонтальное оперение, записывают в виде  $\alpha_{20} = \alpha - \varepsilon = (1 - \varepsilon^\alpha)\alpha - \varepsilon_0$ . Скос потока создаётся свободной вихревой по-

верхностью, сходящей с крыла, и наибольшую интенсивность имеют свободные вихри, сошедшие с боковых кромок. Поскольку с увеличением размаха крыла эти вихри уносятся к периферии течения, то их влияние на горизонтальное оперение уменьшается и скос потока также становится меньше. Исследования показывают, что производная скоса потока по углу атаки  $\varepsilon^\alpha$  обратно пропорциональна удлинению крыла  $\lambda$ .

Таким образом, удлинение крыла является одним из важнейших параметров самолёта, который существенно влияет на его аэродинамические характеристики.

Для проверки изложенных положений на основе формул, приведенных в работах [1] – [7], была составлена компьютерная программа расчёта аэродинамических характеристик самолёта.

Блок-схема разработанной программы представлена на рис. 6.

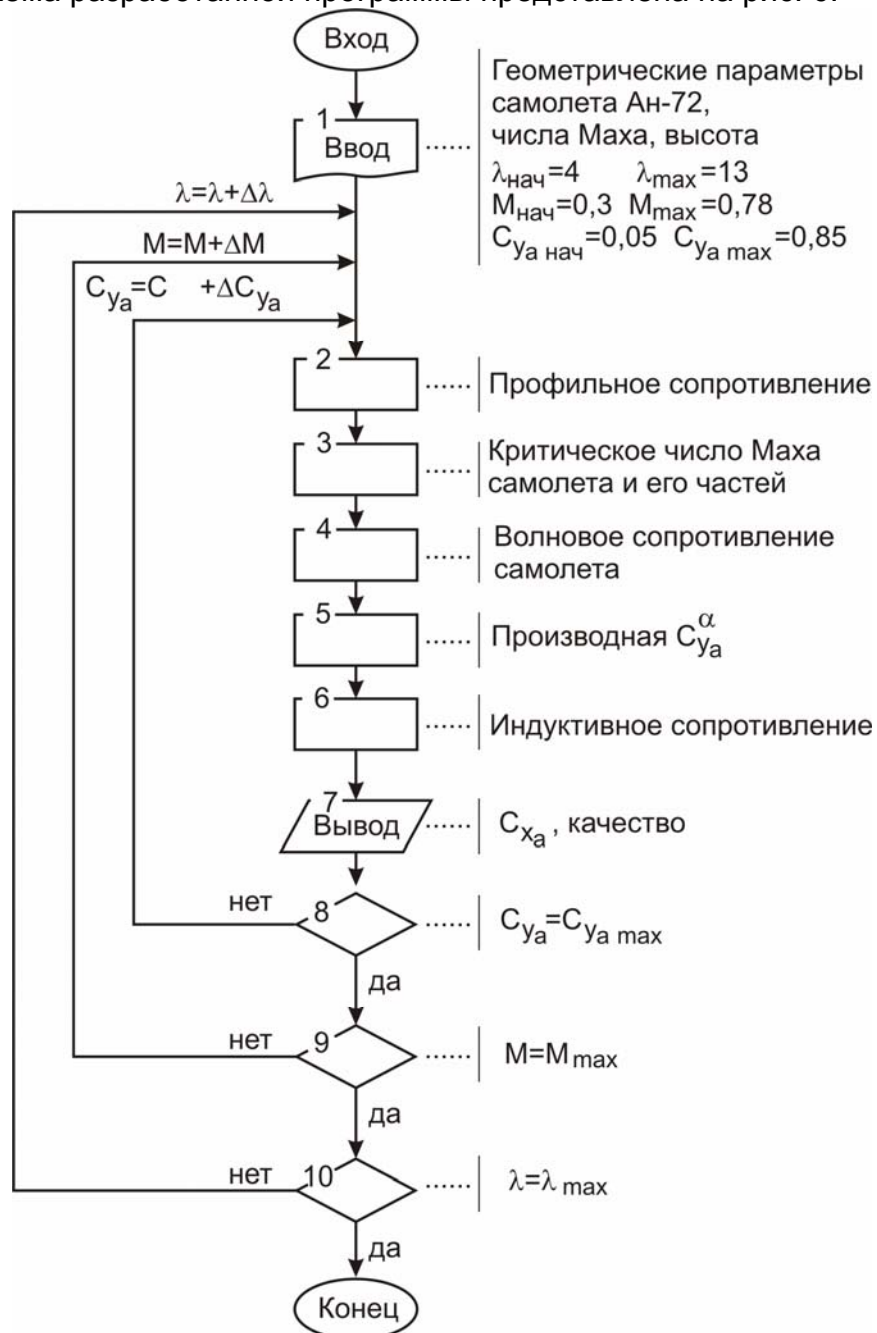


Рис. 6. Блок-схема программы

На первом этапе были проведены тестовые расчёты аэродинамических характеристик самолёта Ан-72. Рассчитывался коэффициент сопротивления самолёта при различных значениях  $C_{ya}$  и  $M_\infty$ .

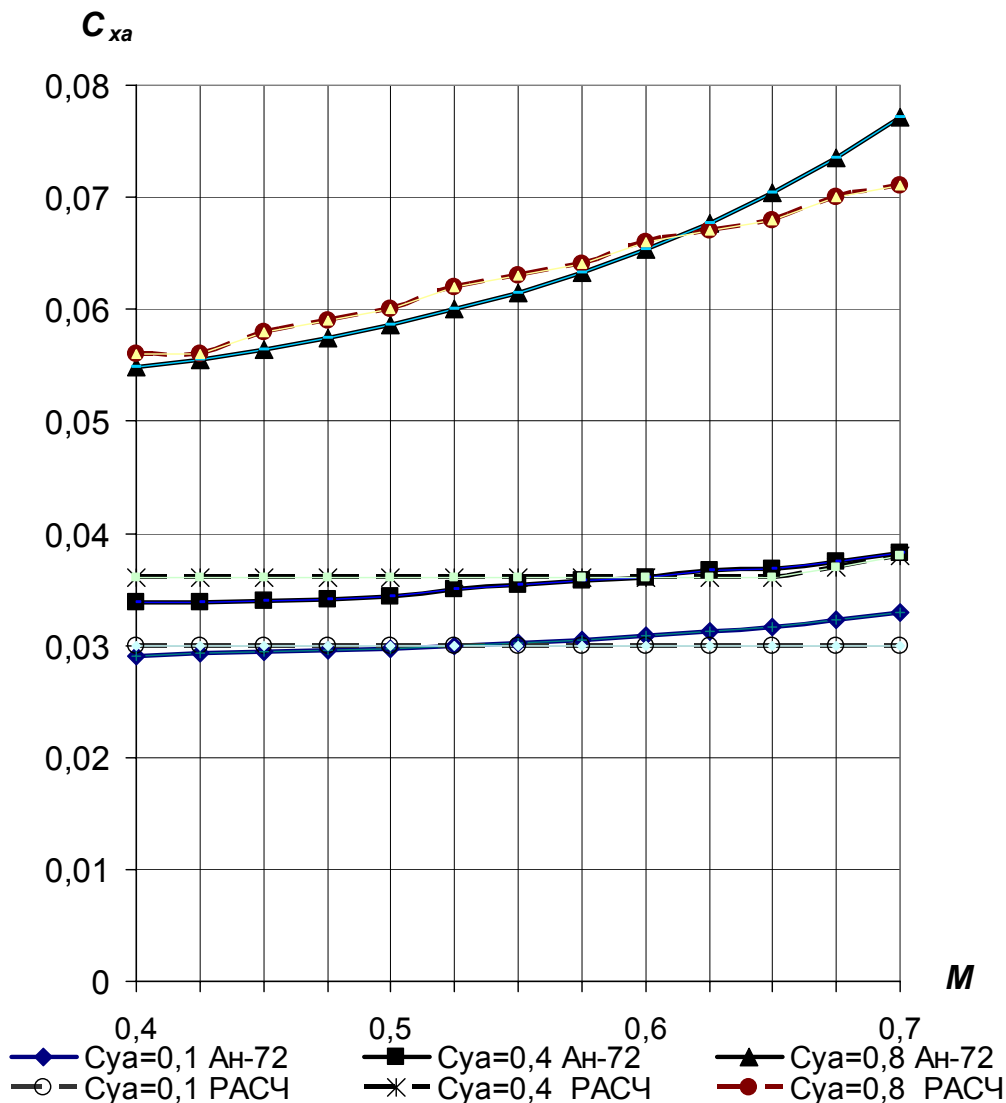


Рис. 7. Тестовые расчёты аэродинамических характеристик самолёта Ан-72

На рис. 7 приведено сравнение полученных результатов с известными характеристиками. Из рисунка видно, что совпадение результатов получилось удовлетворительным, поэтому предложенный метод можно использовать для расчета аэродинамических характеристик самолетов данного класса.

Составленная программа использовалась для проведения численного эксперимента по исследованию влияния удлинения крыла на аэродинамические характеристики самолёта. Рассчитывались различные модификации самолёта Ан-72. Модифицированная схема самолёта имела площадь крыла, равную площади исходного самолёта, но удлинение крыла изменялось. Результаты расчётов приведены на рис. 8, 9. Исследования проводились для удлинений крыла  $\lambda$  от 4 до 13, для значений  $M_\infty$  от 0,3 до 0,78. Исследуемый коэффициент подъёмной силы изменялся в пределах от 0,05 до 0,85.

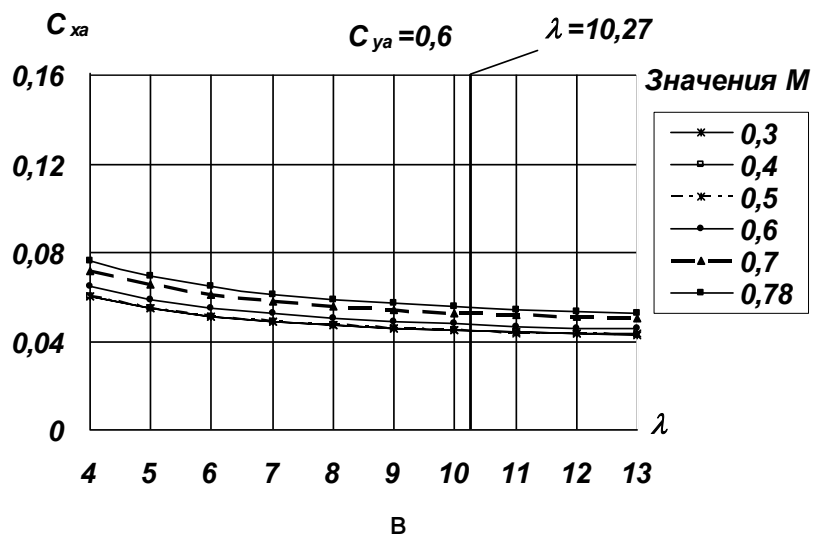
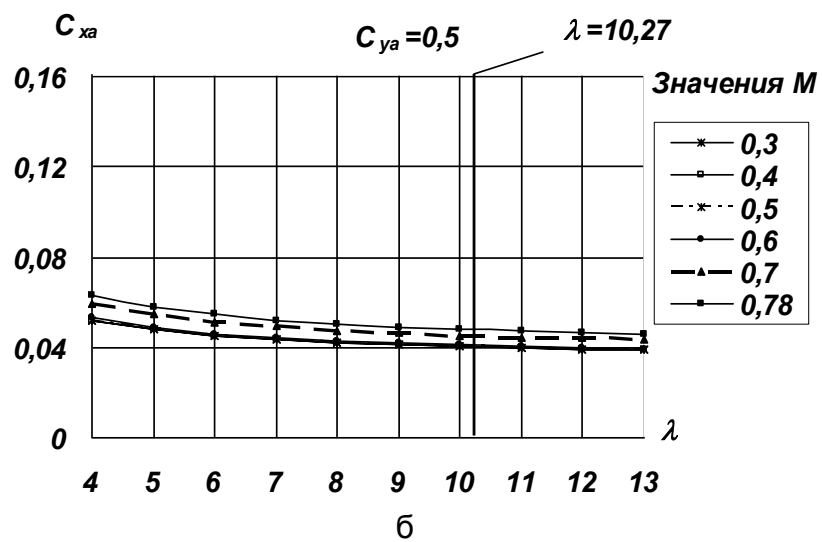
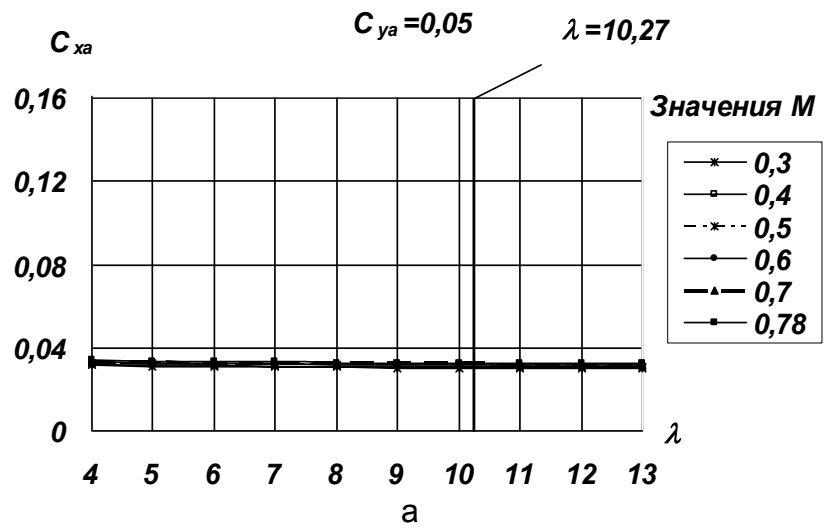


Рис. 8. Зависимость коэффициента  $C_{ya}$  самолета от параметров  $\lambda$  и  $M$



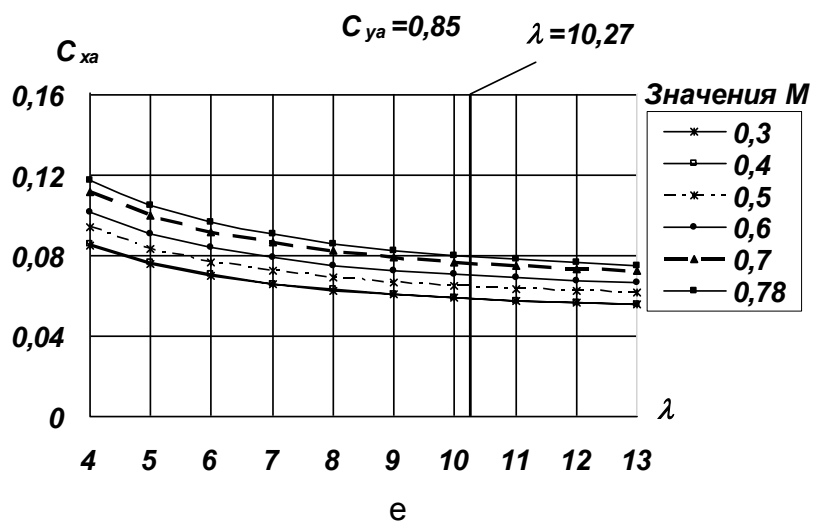
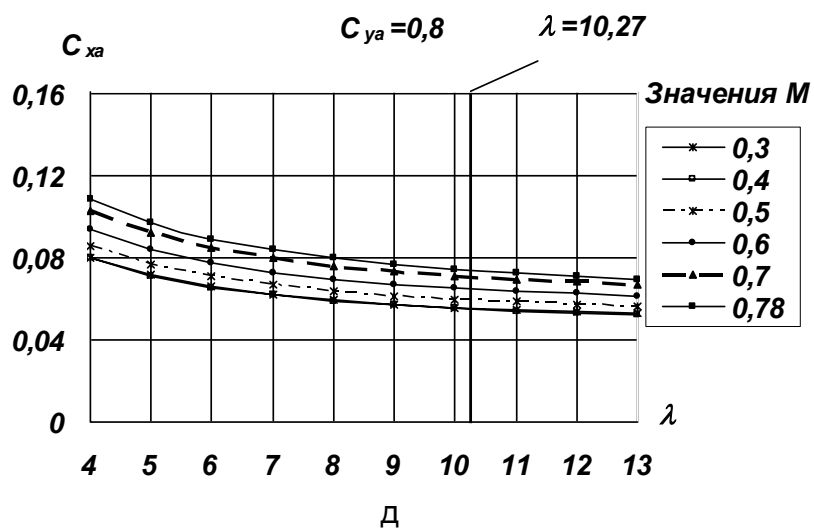
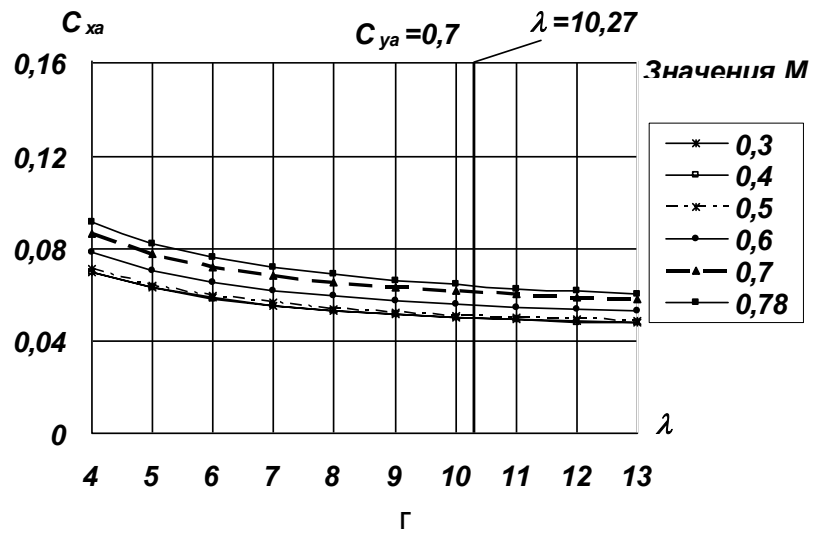


Рис. 8. Окончание

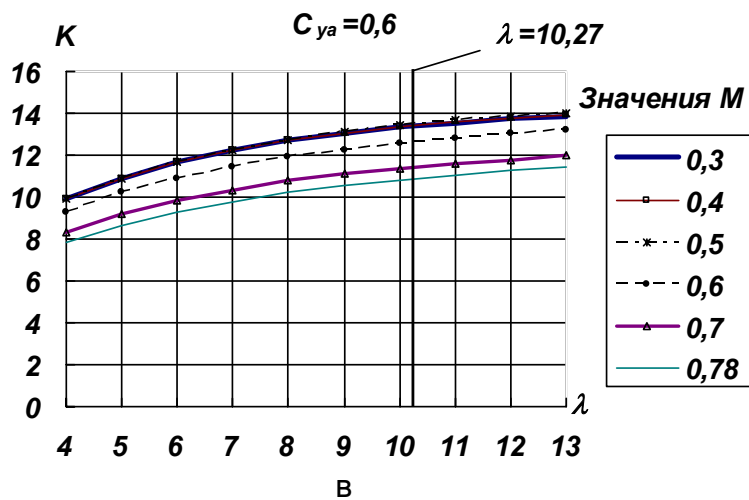
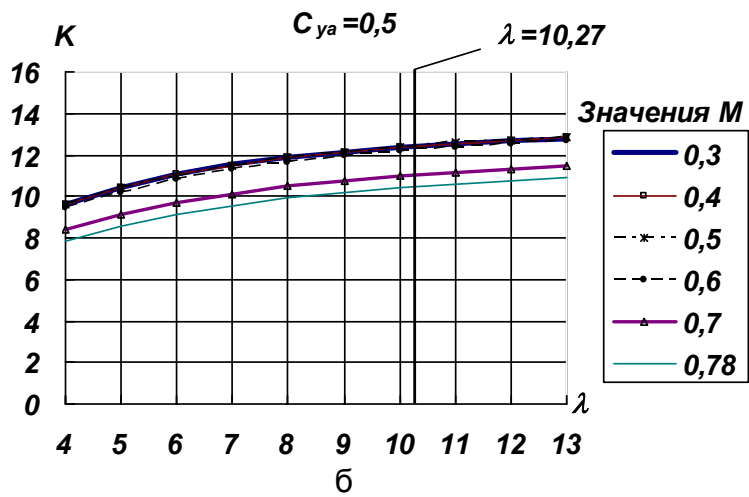
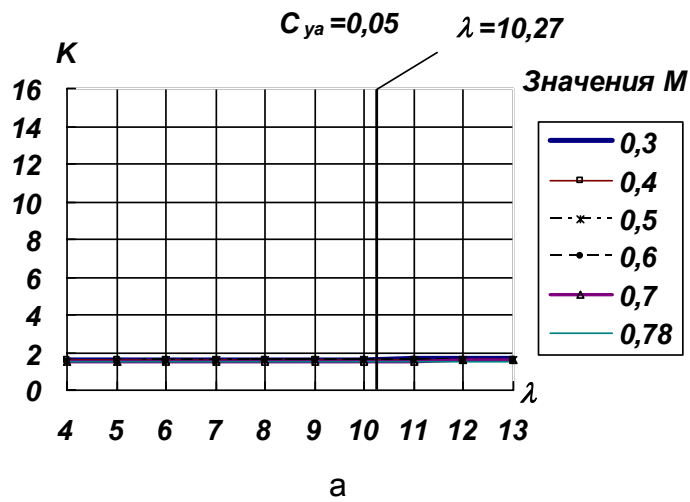


Рис. 9. Зависимость качества самолета от параметров  $\lambda$  и  $M$

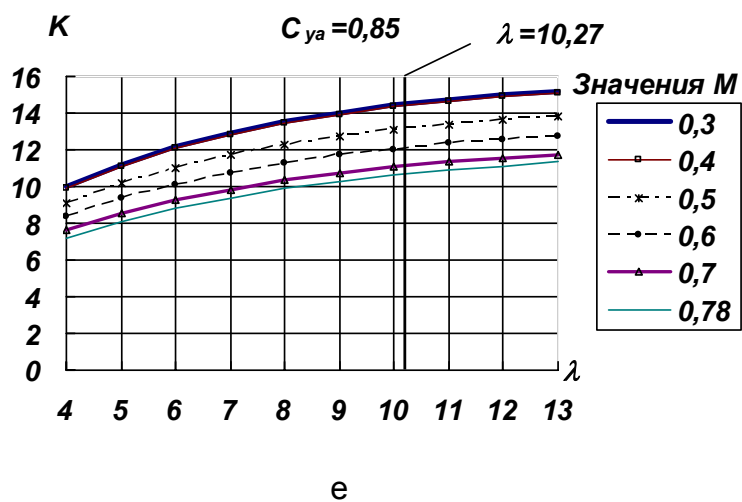
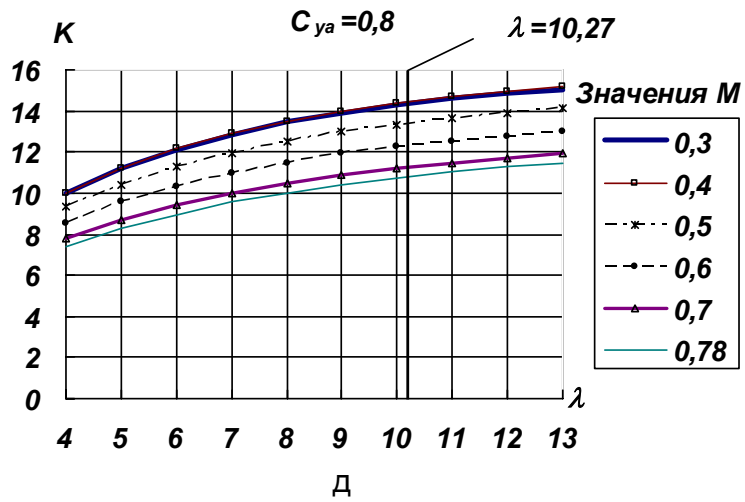
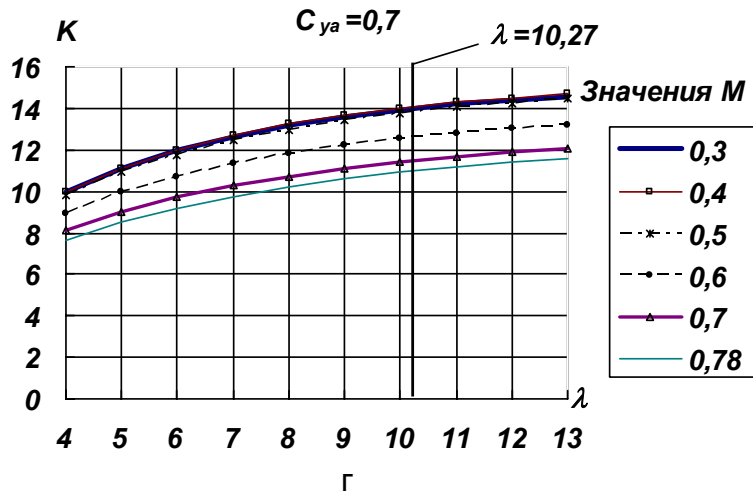


Рис. 9. Окончание

Результаты исследований влияния удлинения крыла на коэффициент сопротивления самолёта показаны на рис. 8, а влияние удлинения на аэродинамиче-

ское качество самолёта иллюстрируется рисунком 9. При этом значение коэффициента сопротивления самолёта  $C_{xa}$  изменялось в пределах от 0,03 до 0,12, а качество – от 1,5 до 15,3. На всех графиках аэродинамические характеристики базового самолёта Ан-72 соответствуют жирной вертикальной линии. Исследования показали, что при малых значениях коэффициента подъёмной силы ( $C_{ya}=0.05$ ) коэффициент  $C_{xa}$  и качество самолёта практически не зависят ни от удлинения, ни от числа Маха. С увеличением  $C_{ya}$  такая зависимость от параметров  $\lambda$  и  $M_\infty$  становится всё более существенной. Численный эксперимент показывает, что уменьшение удлинения приводит к ухудшению аэродинамических характеристик по сравнению с исходным самолётом, тогда как увеличение  $\lambda$  положительно сказывается на аэродинамических характеристиках. Положительное влияние удлинения особенно эффективно проявляется при больших значениях коэффициента  $C_{ya}$ .

### Выводы

В работе проведен всесторонний систематический анализ влияния удлинения крыла на аэродинамические характеристики самолёта. Предложена методика уточнения волнового сопротивления, вызванного подъёмной силой. На основе изложенных в статье подходов разработана программа расчёта аэродинамических характеристик самолёта. Расчёты показывают, что, к примеру, для  $C_{ya}=0.85$  при изменении удлинения крыла от исходного значения  $\lambda=10,27$  до  $\lambda=13$  коэффициент сопротивления самолёта  $C_{xa}$  уменьшается на 14%, а его качество возрастает на 16%. Данная методика позволяет определять аэродинамические характеристики самолёта в процессе проектирования и является основой для выбора параметров крыла, обеспечивающего заданные летные характеристики.

### Список литературы

1. Аэродинамика и динамика полета магистральных самолетов. Издательский отдел ЦАГИ. АВИА-Издательство. КНР Москва-Пекин 1995. – 750 с.
2. Баринов В.А. Расчет коэффициентов сопротивления и аэродинамического качества дозвуковых пассажирских и транспортных самолетов. Труды ЦАГИ. АВИА. 1983. – Вып. 2205. – 28 с.
3. Краснов Н.Ф. Основы аэродинамического расчета. – М.: Высш. шк., 1981. – 496 с.
4. Кравец А.С. Характеристики авиационных профилей. М. – Л., Госиздат оборонной промышленности, 1939. – 332 с.
5. Торенбик Э. Проектирование дозвуковых самолетов. – М.: Машиностроение. 1983. 648 с.
6. Тюрёв В.В. Методы расчета аэродинамических характеристик крыла. -Х. Харьк. Авиаци. ин-т, 1988. – 49 с.
7. Холявко В.И. Расчет аэродинамических характеристик самолета. -Х. Харьк. Авиаци. ин-т, 1991. – 71 с.
8. Варуха И.М., Ковтонюк В.В., Бычков В.Д., Никитин В.М. Аэродинамика самолета Ан-72. – К. АНТК им. О.К. Антонова. – 500 с.

## **Сравнение моделирования сверхзвукового течения в расширяющейся трубе с использованием метода конечных элементов и с совместным применением БА-модели и модели «твердых» сфер**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ»*

Основы молекулярно-кинетической теории были заложены Максвеллом и Больцманом более ста лет назад. За истекшее столетие достигнуты значительные успехи в обосновании и понимании уравнения Больцмана и кинетических уравнений для сложных сред. Кинетическая теория газов дала мощный аппарат построения различных приближений (Эйлера, Навье-Стокса, Барнетта и т.д.) макроскопических уравнений газодинамики [1], который позволяет на основе молекулярных моделей рассчитать коэффициенты переноса, а также сформулировать необходимые граничные условия. Однако даже линейные задачи для модельных уравнений удается решить аналитически лишь для простейших случаев. Потребности же практики требуют решения все более сложных пространственных и в общем случае неустановившихся задач для смесей газов, при наличии химических реакций и т.д.

В настоящее время существует два направления решения таких задач. Одним из них является применение методов конечных элементов (МКЭ). Решение задач с критическими параметрами (турбулентностями, отрывами, действием гравитации и т.д.) на основе этих методов требует априорного наличия таких данных, которые следует получать в процессе самого решения.

Другим направлением является применение имитационного моделирования. При этом газовый поток представляют в виде ансамбля частиц. Точность этой модели зависит от многих параметров, основными из которых являются размеры и форма модельной частицы, длина свободного пробега, а также количество модельных частиц в рабочей области. С уменьшением числа Кнудсена и увеличением количества модельных частиц возрастает адекватность математической модели реальному течению газа. В работе [2] введено понятие потока из пяти ближайших событий: столкновение частицы с какой-либо из стенок, столкновение двух частиц, влет частицы в рабочую область, вылет частицы из рабочей области и снятие информации о состоянии газового потока. Показана также эффективность применения предлагаемой модели для решения некоторых задач газовой динамики. В работе [3] введено понятие Бинарной автоматной (БА) модели, позволяющей существенно ускорить и упростить процесс моделирования газового потока методом частиц.

Целью данной статьи является обоснование адекватности предложенного в работе [4] совместного применения БА-модели и модели «твердых» сфер для моделирования газовых потоков путем сравнения его результатов с результатами расчетов, проведенных в системе AnSYS 8.0 [5], являющейся одним из мировых лидеров в получении практических решений подобных задач моделирования с применением МКЭ.

Сравнение проводилось при исследовании течения газа, удовлетворяющего критерию сплошности среды, т.е. при числе Кнудсена

меньшем 0.1 [6]. Были поставлены численные эксперименты в системе AnSYS 8.0 и предлагаемым методом моделирования газовых потоков с совместным применением модели «твердых» сфер и БА-модели. Исследовалось двумерное сверхзвуковое течение в расширяющейся трубе, модель которой изображена на рис. 1.

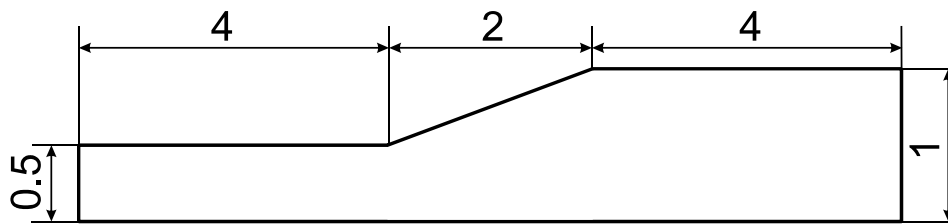


Рис. 1. Модель расширяющейся трубы.  
Размеры указаны в мм

Граничные условия для постановки эксперимента заданы, как показано на рис. 2. Обозначения соответствуют принятым в AnSYS 8.0.

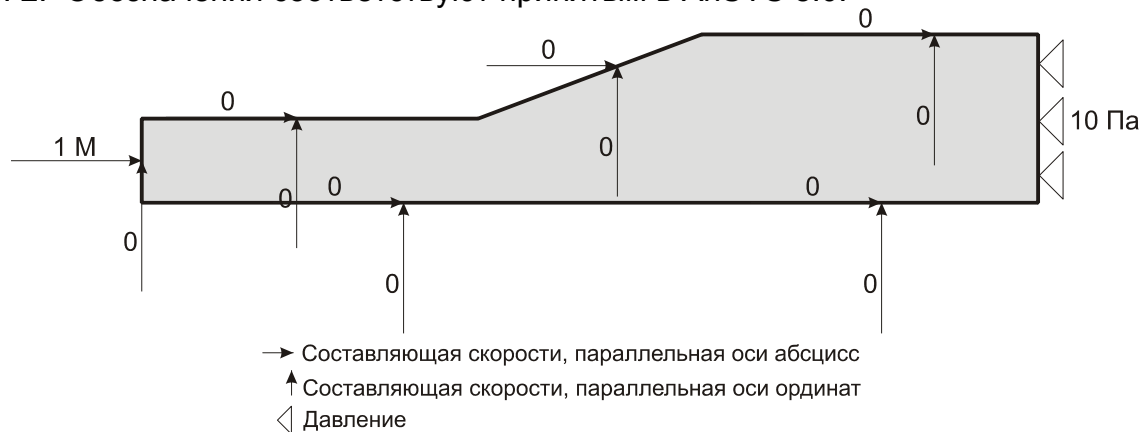


Рис. 2 Граничные условия моделируемого течения

Для моделирования в системе AnSYS 8.0 была построена двумерная прямоугольная сетка с количеством ячеек, равным 6000. Использовался модуль расчета течений Flotran CFD со следующими параметрами: конечный элемент FLUID141, тип жидкости AIR-SI, справочное давление 10 Па, отношение  $\frac{C_p}{C_v} = 1.4$ , номинальная (nominal), торможения (stagnation) и опорная (reference) температуры равны 293К.

Кроме указания граничных параметров, в процессе расчетов производилось подавление отрицательных элементов на главной диагонали матрицы, приводящих к возникновению отрицательных плотностей. Для этого подавления была использована стабилизация по давлению со значением -9.99. Подавление отрицательной температуры проводилось с использованием искусственной вязкости, значение которой равно 450. В результате расчетов на 10000 шагах было получено распределение чисел Маха, изображенное на рис 3.

При моделировании течения методом частиц совместно с БА-моделью использовались следующие параметры: радиус частиц – 30 мкм, количество частиц – 200000. Геометрические параметры модели те же, что и для расчетов в AnSYS. Теплообмен не учитывался. В результате расчетов получено распределение чисел Маха, изображенное на рис. 4.

NODAL SOLUTION  
 STEP=10  
 SUB =1  
 MACH (AVG)  
 SMX =3.601

ANSYS

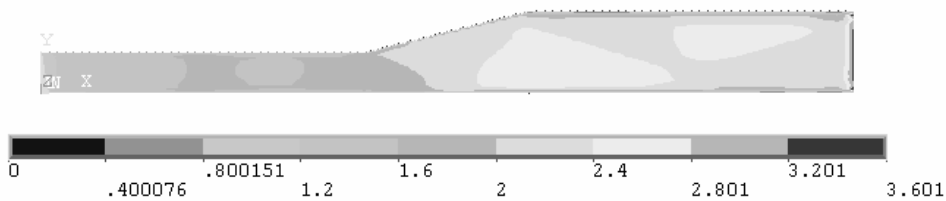


Рис. 3. Распределение чисел Маха, рассчитанное в системе AnSYS 8.0

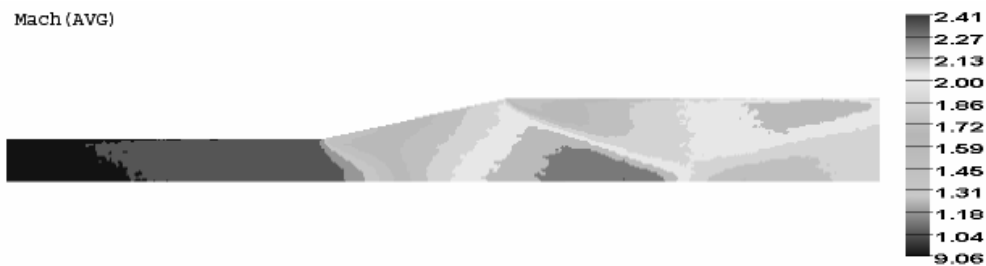


Рис 4 Распределение чисел Маха, рассчитанное предлагаемым способом

Как видно из приведенных рисунков, значения чисел Маха в характерных местах совпадают с точностью 5.4%, что свидетельствует о достаточно хорошей согласованности результатов.

Проведем сравнение полученных результатов по длине свободного пробега модельной и реальной частицы. Формула расчета числа Рейнольдса [7] исследуемого потока получается следующим образом:

$$Re = \frac{\rho v l}{\eta}, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность газа;

$v$  – скорость распространения потока;

$l$  – характерный размер;

$\eta$  – динамическая вязкость, рассчитываемая по формуле (2).

$$\eta = \frac{1}{3} \rho V^T \lambda, \quad (2)$$

где  $V^T$  – тепловая скорость молекулы газа;

$\lambda$  – длина свободного пробега молекулы.

Подставив (2) в (1) получим:

$$Re = \frac{M}{Kn} \cdot 3, \quad (3)$$

где  $M$  – число Маха;

$Kn$  – число Кнудсена.

При расчетном  $Kn = 0.0025$  (расчетная длина свободного пробега  $2.5 \times 10^{-5}$  м и характерный размер  $1 \times 10^{-2}$  м), по формуле (3) получим  $Re = 1200$ .

Используя формулу (1) при тепловой скорости 500 м/с, динамической вязкости воздуха  $10^{-5}$  [8], получаем плотность воздуха, равную  $0.0024 \frac{кг}{м^3}$ .

Расчет длины свободного пробега проводится по формуле [9]:

$$\langle \lambda \rangle = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot n}, \quad (4)$$

где  $d$  – реальный диаметр частицы;  
 $n$  – реальная концентрация.

Рассчитанная по формуле (4) длина свободного пробега молекулы реального газа (при концентрации  $5.4 \times 10^{22} \frac{1}{\text{м}^3}$  [8] и радиусе Ван-дер-Ваальса молекулы  $2.068 \times 10^{-10} \text{ м}$  [8]) составит  $2.437 \times 10^{-5} \text{ м}$ .

Следовательно, длина свободного пробега реальной молекулы отличается от длины свободного пробега модельной частицы не более чем на 2.5%. Это говорит о соответствии проведенных численных экспериментов в системе AnSYS и предложенным методом как с точки зрения полученной картины распределения чисел Маха (рис 3 и рис. 4), так и с точки зрения соответствия модельной и реальной длины свободного пробега молекулы.

Таким образом, при моделировании методом частиц совместно с БА-моделью уже 200000 частиц достаточно для получения результатов, совпадающих с рассчитанными методом конечных элементов (в системе AnSYS). Повышение количества частиц позволяет получать более точные результаты. Реализация предложенного метода на P4 2ГГц с ОЗУ 1Гб [10] уже позволяет вести расчет для 500000 частиц и более за приемлемое время, причем, в отличие от AnSYS, без участия оператора в процессе расчетов.

#### Список литературы

1. Берд Г. Молекулярная газовая динамика. – М.: Мир. 1981. – 313 с.
2. Чернышев Ю.К. Методы снятия информации о состоянии газового потока в процессе молекулярно-динамического моделирования //Междунар. науч.-техн. конф. «Совершенствование энергетических и транспортных турбоустановок методами математического моделирования, вычислительного и физического экспериментов». Змиев, 26-29 сент. 1994. Ч. 1. 1994. – С. 39-40.
3. Левин С.С. Имитационное моделирование с использованием Бинарной автоматной модели //Радиоэлектронные и компьютерные системы.– Х:ХАИ, 2005.– Вып. 2.– С. 69–78
4. Левин С.С. Оценка эффективности бинарной автоматной модели для имитационного моделирования систем с большим количеством взаимодействующих объектов. //Авиационно-космическая техника и технология. Х:ХАИ, 2005, Вып. 3/19. – С.77 – 82
5. AnSYS – Электрон. ресурс.– [www.ansys.com](http://www.ansys.com)
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика сплошных сред.– М.: Гостехиздат, 1954.—788 с
7. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газов.–М: Наука, 1973. – 676 с
8. Вселенная в числах.– Электрон. ресурс.– <http://www.astro.spbu.ru/staff/viva/Book/ch2L/ch2L.html>
9. Телеснин Р.В. Молекулярная физика.–М.:Высшая школа.–1965 г.–291 с
10. Левин С.С., Лоян А.В., Чернышев Ю.К. Трехмерное имитационное моделирование газодинамических процессов в СПД в предпусковом состоянии // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии.–Х: ХАИ, 2006.–Вып. 31.– с. 82-95.



## **Построение аэродинамических и энергетических характеристик турбины ветроэнергетической установки горизонтально-осевого типа**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*

### **Введение**

В настоящее время существует большое количество модификаций ветротурбин, которые отличаются друг от друга формой, профилями, пропорциями, ориентацией, количеством лопастей, а также назначением и принципом работы. В данной статье уделено внимание ветротурбинам ветроэнергетических установок (ВЭУ) горизонтально-осевого типа с аэродинамическими профилями лопастей, которые характеризуются большой энергетической эффективностью.

В процессе эксплуатации турбина ВЭУ находится либо в состоянии вращательного движения в зависимости от ветровых условий и работоспособности установки, либо в состоянии покоя.

### **Постановка задачи**

Одной из основных задач автоматического регулирования ветротурбины является поддержание постоянства частоты вращения при различных скоростях ветра. Рассмотрим метод аэродинамического регулирования частоты вращения ветротурбины. Для решения задачи необходимо построение аэродинамических характеристик регулирования, которые представляют собой функциональную зависимость угла поворота лопастей от изменения скорости ветра при условии сохранения постоянства частоты вращения.

При пуске и остановке ветротурбины, подключении и отключении генератора, резком увеличении и уменьшении скорости ветра следует обеспечить наибольшее быстроедействие механизма поворота лопастей. Однако большое быстроедействие механизма приводит к значительным аэромеханическим перегрузкам лопастей, которые возникают на протяжении переходных процессов. В связи с этим требуется согласование таких параметров, как быстроедействие механизма поворота, величина механических перегрузок лопастей, коэффициент запаса прочности лопастей.

### **Построение характеристик ветротурбины**

Для построения аэродинамических и энергетических характеристик ветротурбин, являющихся нелинейными функциями скорости ветра, частоты вращения и угла поворота лопастей относительно плоскости вращения, был создан метод, который позволил рассчитать характеристики ветротурбин различного типа. Методика позволила определить аэродинамические силы, силы инерции и массовые силы, действующие на лопасть при регулировании частоты вращения ветротурбины за счет изменения угла установки лопастей.

Определение нагрузок дало возможность оценить напряжения в сечениях лопасти, выявить наиболее опасные сечения и сравнить эти напряжения с предельно допустимыми напряжениями для конкретного материала.

При условии, что вектор скорости перпендикулярен к плоскости вращения ветротурбины и все лопасти находятся в одинаковых ветровых условиях, можно записать основные функциональные зависимости для ветротурбины, а именно момент вращения ( $M_{BT}$ ) и сила лобового давления ( $F_L$ ), следующим образом:

$$M_{BT} = f_1(v, \omega_p, \varphi_L), \quad F_L = f_2(v, \omega_p, \varphi_L). \quad (1)$$

Используя основные положения ветротехники [1, 2, 3], приведем трехпараметрические зависимости (1), в целях упрощения анализа и применения, к двухпараметрическим путем использования относительных величин момента ( $\bar{M}_{BT}$ ), силы лобового давления ( $\bar{B}_k$ ) и быстроходности турбины ( $z$ ) при постоянном значении угла поворота лопастей:

$$M_{BT} = 0,5\pi R^3 \rho v^2 \bar{M}_{BT}, \quad \bar{M}_{BT} = (f_3(z))_{\varphi_L}, \quad \varphi_L = \text{const}^\circ, \quad (2)$$

$$F_L = 0,5\pi R^2 \rho v^2 \bar{B}_k, \quad \bar{B}_k = (f_4(z))_{\varphi_L}, \quad z = \omega_p R / v, \quad (3)$$

где  $\bar{M}_{BT}$ ,  $\bar{B}_k$  – аэродинамические характеристики ветротурбины,  $f_3$ ,  $f_4$  – нелинейные функции.

С учетом (2) механическая мощность ветротурбины ( $P_{BT}$ ) определяется по формуле

$$P_{BT} = M_{BT} \omega_p. \quad (4)$$

Запишем выражение для механической мощности ветротурбины ( $P_{BT}$ ) с помощью коэффициента использования энергии ветра (коэффициента мощности) ( $C_p$ ):

$$P_{BT} = C_p \frac{\rho v^3}{2} \pi R^2, \quad (5)$$

где

$$C_p = (f_5(z))_{\varphi_L}. \quad (6)$$

Зависимость коэффициента момента ( $C_m$ ) от быстроходности ( $Z$ ) может быть получена из соотношения

$$C_m(Z) = C_p(Z) / Z. \quad (7)$$

Анализ статических характеристик ветротурбины выполним с использованием  $\bar{M}_{BT}$  и  $\bar{B}_k$  для установки с номинальной мощностью 600 кВт, номинальным значением частоты вращения и скорости ветра соответственно 23 об/мин и 13 м/с. На рис. 1 показаны мощностные характеристики ВЭУ компаний "Turbowinds", "Nordex" и "NEG Micon".

Наилучшую характеристику из представленных имеет ветроэнергетическая установка Т600-48 компании "Turbowinds". Мощность данной ВЭУ в рабочей точке выше мощности ветроустановки фирмы "Nordex" и фирмы "NEG Micon" на 4,3 и 3 % соответственно. Основные геометрические характеристики ветротурбины ВЭУ Т600-48 были предоставлены ПИИ ООО "Уиндэнерго ЛТД" для проведения научно-исследовательской работы.

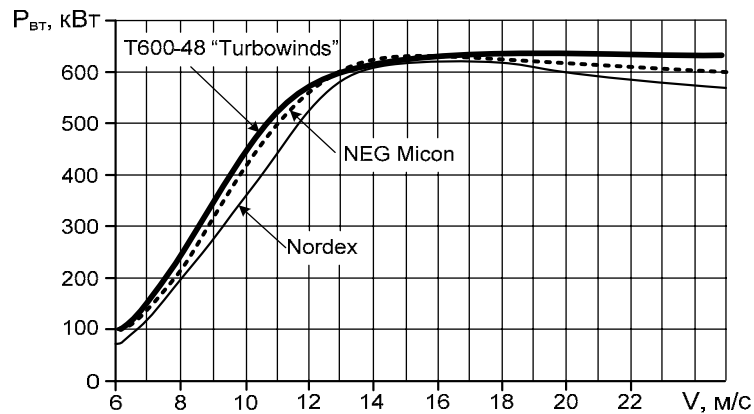


Рис. 1. Мощностные характеристики ветротурбин

Мощность турбины определяется по выражению (4) и может принимать как положительные, так и отрицательные значения в зависимости от режима работы. При определении статических характеристик будем рассматривать только положительные значения, что в данном случае соответствует работе турбины в режиме ветродвигателя. Максимальное значение мощности ветротурбины составляет 690 кВт, что соответствует номинальной мощности всей установки (с учетом потерь в трансмиссии и генераторе) на уровне 600 кВт.

Одной из основных энергетических характеристик ветротурбины является коэффициент использования энергии ветра ( $C_p$ ), который показывает, какая часть кинетической энергии ветрового потока, проходящего через плоскость вращения лопастей, преобразовывается в механическую энергию вращательного движения. В данном случае определяем его величину следующим образом:

$$C_p = \frac{M_p(\varphi_l, \omega_p, v) \cdot \omega_p}{0,5\rho v^3 \pi R^2}. \quad (8)$$

Результаты расчетов показаны на рис. 2.

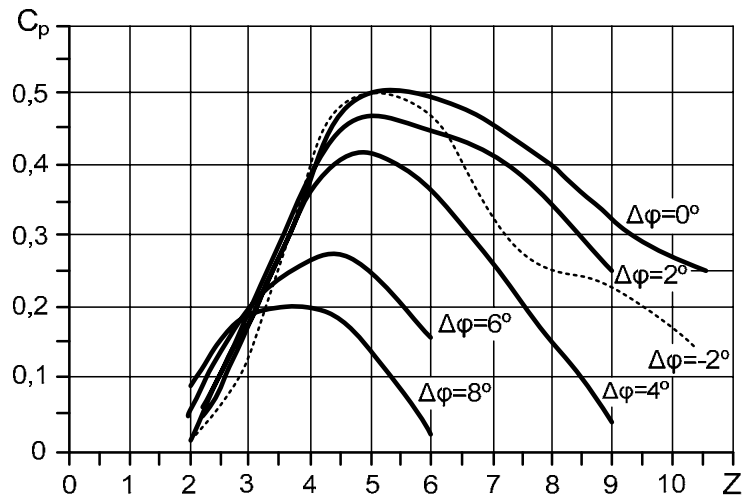


Рис. 2. Зависимость коэффициента использования энергии ветра ( $C_p$ ) от быстроходности ( $Z$ ) при изменении угла установки лопастей

Значение коэффициента  $C_p$  определяется из условия сохранения постоянства частоты вращения ( $n=\text{const}$ ) при изменении скорости ветра ( $v$ ) и угла установки лопастей ( $\Delta\varphi$ ). Кривая  $\Delta\varphi=0^\circ$  соответствует рабочему положению лопастей при номинальных условиях работы. Значения угла установки лопастей  $\Delta\varphi>0$  соответствуют их повороту в сторону флюгерного положения,  $\Delta\varphi<0$  – в сторону антифлюгерного положения. Рассмотрим диапазон угла установки лопастей от  $-2^\circ$  до  $+8^\circ$ .

Используя соотношение (6), можно получить зависимости коэффициента момента ( $C_m$ ) от быстроходности ( $Z$ ) ветротурбины при аналогичных условиях. Результаты расчетов показаны на рис. 3.

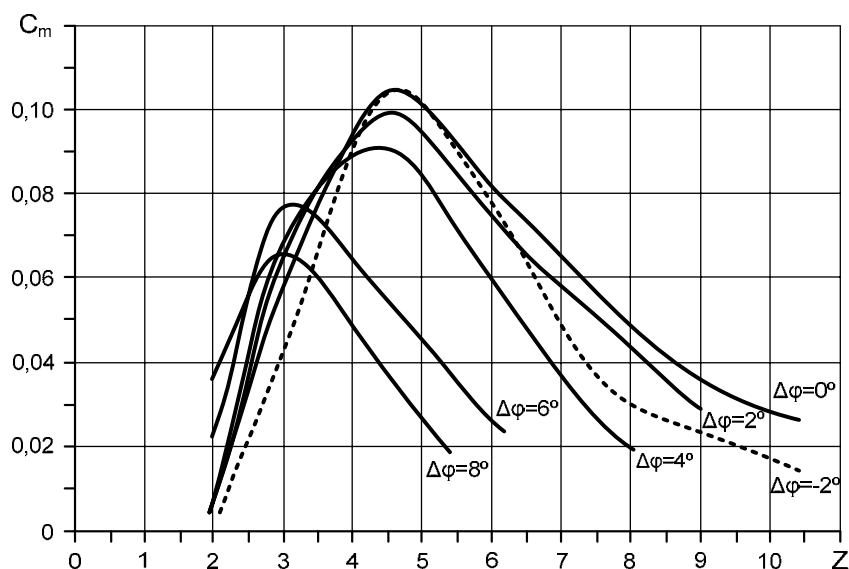


Рис. 3. Зависимость коэффициента момента ( $C_m$ ) от быстроходности ( $Z$ ) ветротурбины при изменении угла установки лопастей

Характер изменения коэффициента момента ( $C_m$ ) и коэффициента использования энергии ветра ( $C_p$ ) турбины схож. Отклонение угла установки лопастей ( $\Delta\varphi$ ) от нулевого (номинального) положения ведет к уменьшению значения коэффициентов и, следовательно, к ухудшению характеристик. Таким образом, с точки зрения стабилизации частоты вращения ветротурбины подходят оба способа аэродинамического регулирования.

Поворот лопастей во флюгерное или антифлюгерное положение приводит к изменению величины суммарной аэродинамической силы ( $F_\Sigma$ ), действующей на лопасть, и, как результат, силы лобового давления ( $F_\Pi$ ) на лопасть и коэффициента лобового давления ( $B_k$ ) на ветротурбину. Результаты расчетов показаны на рис. 4.

Из рис. 4 видно, что характер изменения коэффициента лобового давления ( $B_k$ ) отличается от характера изменения коэффициента момента ( $C_m$ ) и коэффициента использования энергии ветра ( $C_p$ ) турбины. Поворот лопастей во флюгерное положение ( $\Delta\varphi>0$ ) приводит к уменьшению значения коэффициента лобового давления на ветроколесо ( $B_k$ ) и, следовательно, к уменьшению величины силы лобового давления ( $F_\Pi$ ). Поворот лопастей в сторону антифлюгерного положения ( $\Delta\varphi<0$ ) приводит к увеличению коэффициента  $B_k$  и силы  $F_\Pi$ , что ухудшает условия работы лопастей и ветротурбины в целом.

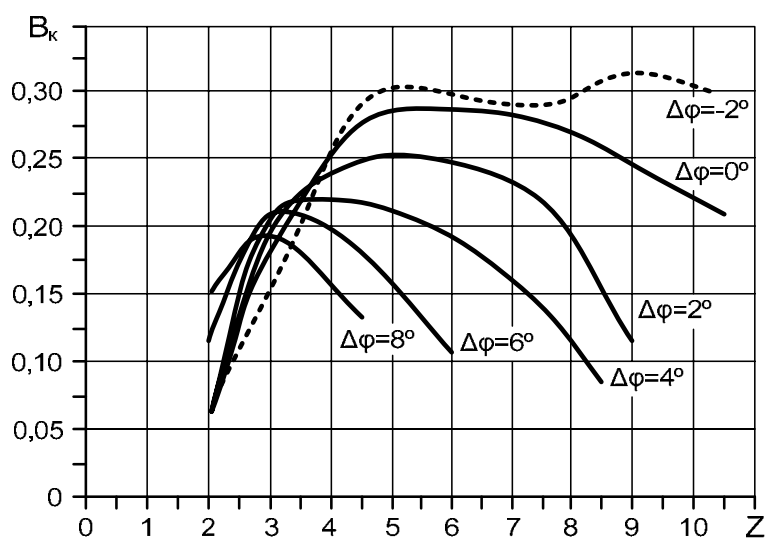


Рис. 4. Зависимость коэффициента лобового давления ( $B_k$ ) от быстроходности ( $Z$ ) ветротурбины при изменении угла установки лопастей

Изменение угла установки лопастей в процессе работы ВЭУ, вызванное необходимостью стабилизации частоты вращения ветротурбины, приводит к появлению аэромеханических перегрузок. Из соображений прочности целесообразно производить регулирование частоты вращения ветротурбины путем поворота лопастей во флюгерное положение.

### Выводы

1. Разработан метод расчета и построения аэродинамических и энергетических характеристик турбины ветроэнергетической установки.
2. Изменение угла установки лопастей в процессе работы ВЭУ, вызванное необходимостью стабилизации частоты вращения ветротурбины, приводит к появлению аэромеханических перегрузок, величина которых зависит от скорости поворота лопастей относительно плоскости вращения.
3. Построение характеристик ветротурбины позволит определить параметры управления нестационарными режимами работы ВЭУ для уменьшения динамических аэромеханических нагрузок на лопасти и элементы трансмиссии, что является одной из основных задач автоматического регулирования ветротурбины.

### Список литературы

1. Абрамовский Е.Р., Городько С.В., Свиридов Н.В. Аэродинамика ветродвигателей. – Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 1987. – 220 с.
2. Фатеев Е.М. Ветродвигатели и ветротурбины. – М.: Сельхозгиз, 1957. – 544 с.
3. Промышленная аэродинамика: сб. № 8 Ветродвигатели / Под ред. Г.Х. Сабина. – М.: ЦАГИ Оборонгиз, 1957. – 210 с.
4. Кривцов В.С., Олейников А.М., Яковлев А.И.. Ветроэлектрогенераторы: Учебник. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т "Харьк. авиац. ин-т", 2003. – 400 с.

## Расчёт обтекания тел вращения гиперзвуковым воздушным потоком

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*

В связи с интенсивным развитием спутниковых коммуникаций движение аппаратов с гиперзвуковыми скоростями сейчас представляет большой интерес. Следует отметить, что гиперзвуковые течения газа, возникающие при таком движении, обладают рядом отличительных особенностей. Аэродинамические силы и моменты, действующие на тело, должны вычисляться с учетом как геометрии тела и характеристик его поведения на гиперзвуковых скоростях, так и свойств среды для заданного диапазона высот и скоростей.

В частности, гипотеза сплошности среды, широко применяемая при исследовании достаточно плотных газов, в условиях разреженных газов непригодна. Также при больших скоростях полета происходит значительное повышение температуры воздуха и нагревается поверхность тела, поэтому необходимо производить расчет аэродинамического нагрева аппарата. Для точного расчета таких задач применяется ряд математических моделей.

Если элемент поверхности тела площадью  $dF$  наклонен к набегающему потоку под углом  $\omega$ , то масса газа, в которой происходит потеря количества движения, равна  $\rho \omega \sin \omega dF$ , а нормальная («потерянная») составляющая скорости есть  $\omega \sin \omega$ , поэтому нормальная составляющая силы давления по закону Ньютона

$$dP = \rho \omega \sin \omega dF, \quad (1)$$

а величина местного увеличения давления газа

$$p - p_n = \rho \omega^2 \sin^2 \omega. \quad (2)$$

В общем случае обтекания тела приближение Ньютона не оправдывается в связи с тем, что возмущение, вызванное телом в потоке, распространяется на большое расстояние от тела и ослабляется с удалением от тела, т. е. соседние струйки газа имеют разные скорости и направления. Однако при обтекании тела с большой сверхзвуковой скоростью закон Ньютона становится справедливым, так как в этом случае ударная волна располагается близко к поверхности тела и все струйки до ударной волны имеют одинаковые направление и величину скорости. Они движутся в тонком слое за ударной волной между нею и телом и приобретают почти одинаковые скорости, параллельные поверхности тела. Чем больше число  $M$  и тоньше тело, тем ближе к действительности теория Ньютона. Вместе с тем следует отметить, что даже в предельном случае  $M \rightarrow \infty$  закон Ньютона отвечает точному решению только при  $k=1$ .

С увеличением высоты полёта изменяется молекулярная структура атмосферы, возрастает средний путь свободного пробега молекул воздуха между последовательными столкновениями. В связи с этим при решении ряда аэродинамических задач приходится отказаться от основной гипотезы, которая используется в других разделах аэродинамики – гипотезы сплошности среды, и при расчётах учитывать молекулярную структуру газа.

При  $M \gg 1$  после соответствующих упрощений текущие значения параметров состояния газа выражаются через их начальные значения по следующим формулам:

$$\frac{p}{p_H} = \left(\frac{M_H}{M}\right)^{\frac{2k}{k-1}}, \quad \frac{T}{T_H} = \left(\frac{M_H}{M}\right)^2, \quad \frac{a}{a_H} = \frac{M_H}{M}, \quad \frac{\rho}{\rho_H} = \left(\frac{M_H}{M}\right)^{\frac{2}{k-1}}, \quad \frac{V}{V_H} \approx 1 + \left(\frac{1}{M_H^2} - \frac{1}{M^2}\right) \frac{1}{k-1}. \quad (3)$$

При движении газа с очень большой сверхзвуковой скоростью около выпуклого угла  $\delta$  – в гиперзвуковом течении Прандтля – Майера параметры газа определяются по формулам

$$\frac{p}{p_H} = \left(1 + \frac{k-1}{2} \delta M_H\right)^{\frac{2k}{k-1}}, \quad \frac{T}{T_H} = \left(1 + \frac{k-1}{2} \delta M_H\right)^2, \quad \frac{a}{a_H} = 1 + \frac{k-1}{2} \delta M_H, \quad \frac{\rho}{\rho_H} = \left(1 + \frac{k-1}{2} \delta M_H\right)^{\frac{2}{k-1}}. \quad (4)$$

Расчёты показывают, что все полученные формулы точны при  $M_H \gg 5$  (см. также [1]).

В случае гиперзвукового течения скорость возмущений газа на скачке при малом угле поворота потока пренебрежимо мала по сравнению со скоростью невозмущённого потока. Следовательно, скорость на скачке почти не изменяется ( $V \approx V_H$ ). Тогда получается следующая формула:

$$\frac{M_H^2}{M^2} \approx \left[ \frac{2k}{k+1} M_H^2 \beta^2 - \frac{k-1}{k+1} \right] \left[ \frac{k-1}{k+1} + \frac{2}{k+1} \frac{1}{M_H^2 \beta^2} \right].$$

В предельном случае, когда  $M_H^2 \rightarrow \infty$ , можно записать

$$M \rightarrow \frac{k+1}{\beta} \frac{1}{\sqrt{2k(k-1)}}. \quad (5)$$

При  $M_H$ , стремящемся к бесконечности, угол наклона скачка уплотнения определяется по формуле из [4]:

$$\beta = \delta \frac{k+1}{2}. \quad (6)$$

Поэтому число Маха  $M$  стремится к такому пределу:

$$M \rightarrow \frac{1}{\delta} \sqrt{\frac{2}{k(k-1)}}. \quad (7)$$

Коэффициент давления  $C_p$  определяется по следующей формуле:

$$C_p = (p - p_\infty) / \frac{\rho V_\infty^2}{2} = 2 \sin^2 \varpi. \quad (8)$$

Максимальная радиационная температура определяется по формуле

$$T_w = \sqrt[4]{\frac{\rho V_\infty^3}{2 \varepsilon \sigma}}. \quad (9)$$

В теории свободно-молекулярного течения вначале обычно рассматривают два предельных вида взаимодействия молекул газа со стенкой: так называемые «зеркальное отражение» и «диффузное отражение» (см. [3]).

Обычно чисто зеркального или чисто диффузного отражений не бывает, а реализуется отражение более общего вида, при котором используют осредненные параметры: коэффициент аккомодации  $\alpha = \frac{E_i - E_r}{E_i - E_w}$ ; коэффициент нормального

отражения  $\sigma' = \frac{p_i - p_r}{p_i - p_w}$ ; коэффициент касательного отражения  $\sigma_\tau = \frac{\tau_i - \tau_r}{\tau_i - \tau_w}$ .

Помимо перечисленных коэффициентов (см. в [2]) вводится в рассмотрение коэффициент аккомодации  $\sigma$ , который представляет собой долю диффузно отражённых молекул. В этом случае доля зеркально отражённых молекул равна

$1-\sigma$ . Для зеркального отражения  $\alpha = \sigma_\tau = \sigma' = \sigma = 0$ . Для диффузного  $\alpha = \sigma_\tau = \sigma' = \sigma = 1$ .

Параметр  $p_w$  рассчитывается по формуле

$$p_w = \frac{\rho V_\infty^2}{2} \frac{\cos^2(\vec{V}_\infty, \vec{n})}{2\alpha_i^2} \sqrt{\pi \frac{T_w}{T_\infty}} \Psi(\alpha_i), \quad (10)$$

где функцию  $\Psi(\alpha_i)$  можно приближенно посчитать по формулам [1]:

$$\Psi(\alpha_i) = 0.6 + 1.25\alpha_i, \quad \alpha_i < 0.8;$$

$$\Psi(\alpha_i) = 2\alpha_i, \quad \alpha_i \geq 0.8.$$

Коэффициент суммарного давления  $p$ , действующего на лобовую часть элементарной площадки в свободно-молекулярном потоке, определяется по формуле:

$$C_p = \frac{2}{kM_\infty^2} \left\{ \left( \frac{2-\sigma}{\sqrt{\pi}} \alpha_i + \frac{\sigma}{2} \sqrt{\frac{T_w}{T_\infty}} \right) e^{-\alpha_i^2} + \left[ \left( \frac{1}{2} + \alpha_i^2 \right) (2-\sigma) + \frac{\sigma\sqrt{\pi}}{2} \alpha_i \sqrt{\frac{T_w}{T_\infty}} \right] [1 + \text{erf}(\alpha_i)] \right\} \quad (11)$$

Коэффициент касательного напряжения определяется по следующей формуле:

$$C_\tau = \frac{\sqrt{2}\sigma \sin(\vec{V}_\infty, \vec{n})}{\sqrt{k}M_\infty} \left\{ \frac{e^{-\alpha_i^2}}{\sqrt{\pi}} + \alpha_i [1 + \text{erf}(\alpha_i)] \right\}.$$

Здесь  $\alpha_i = \sqrt{\frac{k}{2}} M_n$ ,  $k = \frac{C_p}{C_v}$ ,  $M_n$  – число Маха, посчитанное по нормальной к поверхности составляющей скорости  $V_\infty$ . В приведенных выражениях  $\text{erf}(\alpha_i)$  – интеграл вероятности, который может быть определен численно по формуле

$$\text{erf}(\delta) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\delta e^{-z^2} dz. \quad (12)$$

или взят из таблицы специальных функций.

Для задней стороны тела (см. рис. 1) предыдущие формулы нужно записать в виде:

$$C_{pz} = \frac{2}{kM_\infty^2} \left\{ \left( -\frac{2-\sigma}{\sqrt{\pi}} \alpha_i + \frac{\sigma}{2} \sqrt{\frac{T_w}{T_\infty}} \right) e^{-\alpha_i^2} + \left[ \left( \frac{1}{2} + \alpha_i^2 \right) (2-\sigma) - \frac{\sigma\sqrt{\pi}}{2} \alpha_i \sqrt{\frac{T_w}{T_\infty}} \right] [1 - \text{erf}(\alpha_i)] \right\}. \quad (13)$$

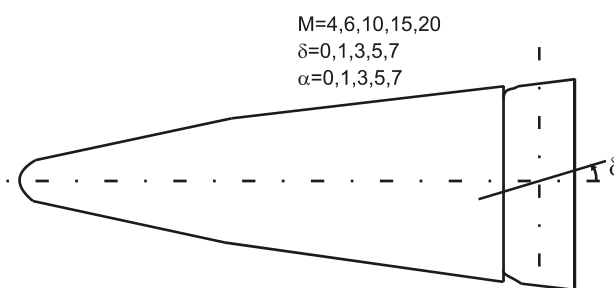


Рис. 1. Одна из исследуемых моделей тел вращения

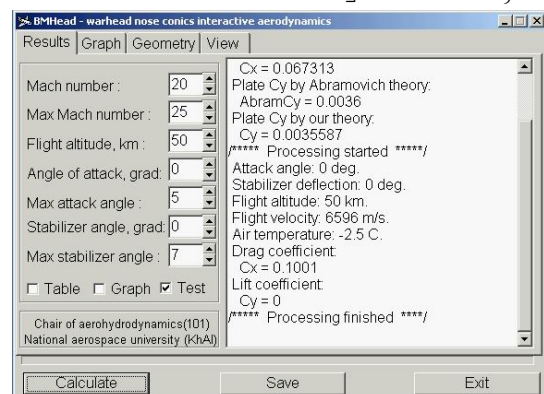


Рис. 2. Расчетное программное обеспечение



Коэффициент касательного напряжения определяется по следующей формуле:

$$C_{\tau 3} = \frac{\sqrt{2}\sigma \sin(\vec{V}_{\infty}, \hat{n})}{\sqrt{k}M_{\infty}} \left\{ \frac{e^{-\alpha_i^2}}{\sqrt{\pi}} - \alpha_i [1 - \operatorname{erf}(\alpha_i)] \right\}. \quad (14)$$

В результате проведенных исследований созданы математические модели обтекания различных тел вращения с механизацией в гиперзвуковых потоках (см. рис. 1).

Были исследованы ряд моделей тел вращения с различными характеристиками. Разработаны компьютерные программы расчета (см. рис. 2). Получены результаты для широкого диапазона высот и скоростей полета. Определены аэродинамические силы, действующие на тело, и интегральные коэффициенты (см. рис. 3).

Сравнение результатов расчета с опубликованными экспериментальными данными (см. рис. 4) показало высокую степень соответствия расчетных данных экспериментальным.

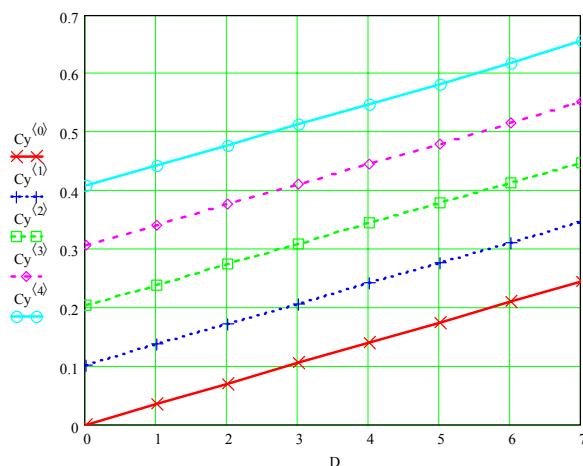


Рис. 3. Результаты расчетов  $C_y$  для  $H=1$  км,  $V=1345,72$  м/с,  $t = 8.5^\circ$  C,  $\alpha=0..4$

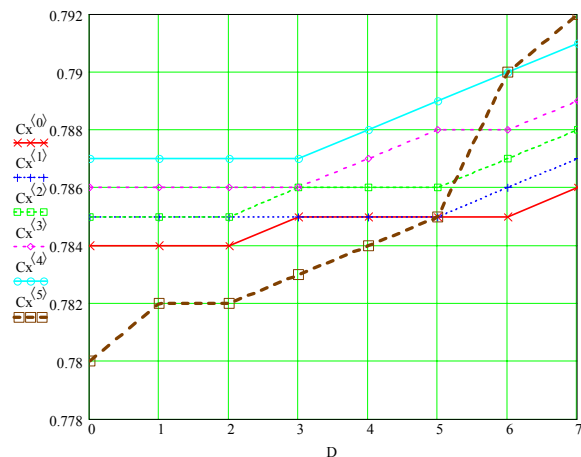


Рис. 4. Сравнение результатов расчета  $C_x$  для  $H=20$  км,  $V= 1475,35$  м/с,  $t = -56.5^\circ$  C,  $\alpha=0..4$

Проведенные исследования позволяют расширить возможности применения методов численного моделирования различных объектов гиперзвуковыми потоками. Создание новой методики расчета таких задач, а также разработка специализированного программного обеспечения позволяет проводить расчеты с любой заданной точностью и значительно ускоряет проведение математического моделирования и вычислительных экспериментов в этой области.

### Список литературы

1. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. - М.: Наука, 1973. - 824 с.
2. Андерсон Д., Таннехилл Р., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен: В 2 т. -М.: Мир, 1990.
3. Рахматулин Х.А., Сагомоян А.Я., Бунимович А.И., Зверев И.Н. Газовая динамика. - М.: Высш. шк., 1973.-723 с.
4. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей: В 2 т.-М.: Мир, 1991.

## Оптимизация вихретоковых преобразователей

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ»*

**Постановка проблемы.** На современном уровне развития науки и техники вихретоковые преобразователи, которые используются для определения толщины диэлектрических покрытий на металлических поверхностях изделий, должны удовлетворять требованиям точности, чувствительности, технологичности, иметь малые массогабаритные характеристики, низкое энергопотребление и стоимость. Поэтому проблема улучшения этих показателей является актуальной.

**Анализ последних достижений и публикаций.** На кафедре авиационных приборов и измерений Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» разработаны устройства для измерения толщины диэлектрических покрытий на металлических поверхностях изделий, основанные на использовании вихретоковых преобразователей [1-4]. Однако оптимизация указанных устройств не была проведена.

**Цель статьи.** Для повышения технико-экономических показателей таких преобразователей необходимо решить следующие задачи:

- получить математические модели устройств;
- используя математические модели, вычислить рациональные конструктивные параметры преобразователей;
- реализовав устройство с рациональными параметрами, определить степень совпадения его показателей качества с показателями, рассчитанными по математическим моделям.

**Основные материалы исследования.** Для решения этих задач был выбран наиболее перспективный вихретоковый преобразователь [4]. Его оптимизацию осуществляли с привлечением методов планирования эксперимента. В качестве критерия оптимизации была выбрана масса  $m$  преобразователя в граммах. Ограничивающими параметрами являлись: погрешность измерения  $\Delta$ , %; чувствительность  $S$ , мВ/мм; энергопотребление  $P$ , мВт; максимальный предел измерения  $H_{\max}$ , мм.

Факторами, влияющими на эти показатели, были выбраны:  $X_1$  – диаметр  $d$  сердечника, мм;  $X_2$  – высота  $h$  сердечника, мм;  $X_3$  – количество витков  $W$ ;  $X_4$  – частота  $f$  питающего напряжения, Гц.

Следующими этапами оптимизации являются: реализация полного факторного эксперимента; построение математических моделей, устанавливающих зависимость критерия оптимизации и ограничений от воздействующих факторов; поиск рациональных конструктивных параметров преобразователя; проверка их значений на опытном образце устройства.

Для реализации полного факторного эксперимента были выбраны уровни и интервалы варьирования по каждому из факторов (табл.1).

Синтез матрицы планирования (табл.2) и обработка результатов эксперимента осуществлялись с использованием пакета прикладных программ по автоматизации планирования эксперимента [5].

Таблица 1. Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Уровни факторов			Интервалы варьирования, $\Delta X_i$	Размерность
	-	0	+		
$X_1(d)$	3	4,5	6	1,5	мм
$X_2(h)$	14	19,5	25	5,5	мм
$X_3(W)$	150	225	300	75	
$X_4(f)$	300	500	700	200	Гц

Таблица 2. Матрица планирования и результаты эксперимента

№ п/п	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$\Delta$	S	P	m	$H_{max}$
1	-	-	-	-	1,75	50	455	0,66	0,8
2	+	-	-	-	11,11	150	427	2,03	1,6
3	-	+	-	-	7,01	50	452,5	0,99	2,9
4	+	+	-	-	6,43	50	416	3,49	4,2
5	-	-	+	-	4,09	50	404	0,82	1,6
6	+	-	+	-	17,54	150	360	2,32	2
7	-	+	+	-	7,01	40	402,5	1,14	1,4
8	+	+	+	-	1,16	200	361	3,74	4,5
9	-	-	-	+	7,6	50	448,5	0,66	0,8
10	+	-	-	+	8,77	50	424	2,03	1,3
11	-	+	-	+	7,01	50	443	0,99	2
12	+	+	-	+	28,07	50	403	3,49	3,5
13	-	-	+	+	30,99	170	385,5	0,82	1,7
14	+	-	+	+	17,54	150	338,5	2,32	1,8
15	-	+	+	+	9,35	20	380,5	1,14	2,1
16	+	+	+	+	11,69	150	333	3,74	4,3

При обработке результатов экспериментального исследования получены в преобразованных переменных математические модели вида

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^4 b_i x_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i < j}}^4 b_{ij} x_i x_j + \sum_{\substack{i,j,l=1 \\ i < j < l}}^4 b_{ijl} x_i x_j x_l + b_{ijlm} x_i x_j x_l x_m,$$

где  $y$  – показатель качества;  $b_0, b_i, b_{ij}; b_{ijl}; b_{ijlm}$  – коэффициенты неполной квадратичной модели;  $x_i, x_j, x_l, x_m$  – факторы, влияющие на показатель качества.

Значения коэффициентов математических моделей для всех пяти показателей приведены в табл. 3.

Таблица 3. Значения коэффициентов математических моделей для показателей качества

Обозначения коэффициентов	Показатели качества				
	$\Delta$	S	P	m	$H_{\max}$
$b_0$	11,070	89,375	402,125	1,899	2,281
$b_1$	1,719	29,375	-19,313	0,996	0,619
$b_2$	-1,354	-13,125	-3,188	0,441	0,831
$b_3$	1,351	26,875	-31,500	0,106	0,144
$b_4$	4,058	-3,125	-7,625	0,000	-0,094
$b_{12}$	0,403	6,875	-1,375	0,279	0,394
$b_{13}$	-2,158	16,875	-3,188	-	0,106
$b_{14}$	-0,329	-15,625	-0,563	0,000	-0,081
$b_{23}$	-3,765	-	1,813	-	-0,181
$b_{24}$	0,256	-5,625	-1,438	0,000	-0,043
$b_{34}$	0,914	9,375	-3,625	0,000	0,144
$b_{123}$	-0,841	19,375	1,625	-	0,206
$b_{124}$	4,058	11,875	-0,625	0,000	-
$b_{134}$	-2,010	-3,125	-0,563	0,000	-0,069
$b_{234}$	-2,010	-18,125	-	0,000	0,119
$b_{1234}$	0,329	-	-	0,000	-0,069

Примечание. Незначимые коэффициенты обозначены «-».

Для критерия оптимизации  $m$  математическая модель в натуральных значениях факторов имеет следующий вид:

$$m = -0,0083 + 0,0053d - 0,0718h + 0,0014W + 0,0338dh.$$

В результате оптимизации по методу наискорейшего спуска (табл.4) получены следующие рациональные значения конструктивных параметров:

$$d = 3,0 \text{ мм}; h = 16,7 \text{ мм}; W = 217 \text{ витков}; f = 180 \text{ Гц}.$$

При этом значение  $X_4(f)$  определено по математической модели  $\Delta = F(X_1, X_2, X_3, X_4)$  для  $X_1 = -1$ ,  $X_2 = -0,51$ ,  $X_3 = -0,11$ , которые соответствуют натуральным значениям факторов  $d = 3,0 \text{ мм}$ ;  $h = 16,7 \text{ мм}$ ;  $W = 217$ . В этом случае для погрешности  $\Delta = 0,3\%$   $X_4 = -1,6$  или  $f = 180 \text{ Гц}$ .

Ограничения S, P,  $H_{\max}$  для этих значений факторов определены по соответствующим математическим моделям, коэффициенты которых представлены в табл.3.

При экспериментальном исследовании опытного образца с рациональными конструктивными параметрами ( $d = 3,0 \text{ мм}$ ;  $h = 16,7 \text{ мм}$ ;  $W = 217$ ;  $f = 180 \text{ Гц}$ ) получены такие выходные характеристики:

$$m = 0,84 \text{ г}; \Delta = 0,29\%; S = 50 \text{ мВ/мм}; P = 375,5 \text{ мВт}; H_{\max} = 1,5 \text{ мм}.$$

Таким образом, показатели качества опытного образца вихретокового преобразователя с рациональными конструктивными параметрами с достаточной точностью совпадают с показателями, которые определены при оптимизации устройства по математическим моделям.

Таблица 4. Результаты оптимизации по методу наискорейшего спуска

Последовательность этапов крутого спуска	Факторы			Параметр оптимизации	Ограничения				
	$X_1$	$X_2$	$X_3$		$m$	$\Delta$	$S$	$P$	$H_{max}$
Коэффициенты уравнения $b_i$	0,996	0,441	0,106						
Произведение $b_i \Delta X_i$	1,494	2,426	7,95						
Округленный шаг	1,5	2,4	8,0						
Шаг, уменьшенный в 2 раза	0,75	1,4	4,0						
Натуральное значение факторов	$d$	$h$	$W$						
Опыты	1	3,75	18,1	221	1,32	0,3	38	397	1,42
	2	3,00	16,7	217	0,81				
	3	2,25	15,3	213	0,37				
	4	1,50	13,9	209	-0,41				

**Выводы.** В результате оптимизации вихретоковых преобразователей с использованием математических моделей определены их рациональные конструктивные параметры. Экспериментальные исследования опытного образца с такими параметрами подтвердили адекватность математических моделей и правильность решения оптимизационной задачи.

#### Список литературы

1. Пат. №53334 А Україна, МКІ<sup>7</sup> G01M 3/40. Накладний електромагнітний перетворювач / М.Д. Кошовий, М.В. Цеховський, В.О. Гаєвий (Україна). - №2002043566; Заявл. 29.04.2002; Опубл.15.01.2003, Бюл.№1. – 2с.
2. Пат.№54064 А Україна, МКІ<sup>7</sup> G01M 3/40. Пристрій для вимірювання товщини діелектричних покриттів на металевих виробках / М.Д. Кошовий, М.В.Цеховський, В.О. Гаєвий (Україна).- №2002043570; Заявл. 29.04.2002; Опубл. 17.02.2003, Бюл. №2. – 3с.
3. Пат №60137 А Україна, МКІ<sup>7</sup> G01M 3/40. Пристрій для вимірювання товщини діелектричних покриттів на металевих виробках / М.Д. Кошовий, М.В.Цеховський, В.О. Гаєвий (Україна).- №2003020975; Заявл. 04.02.2003; Опубл. 15.09.2003, Бюл. №9.- 2с.
4. Пат. №75684 Україна, МПК (2006) G01B 7/02. Вихрострумний перетворювач / М.В. Цеховський, М.Д. Кошовий, В.О. Гаєвий (Україна). №2004021056; Заявл. 13.02.2004; Опубл. 15.05.2006, Бюл.№5. – 2с.
5. Кошевой Н.Д. Разработка программного обеспечения по автоматизации планирования эксперимента // Авиационно-космическая техника и технология. Труды Харьк. авиац. ин-та им. Н.Е. Жуковского за 1977 г. - Харьков, 1998, - С.242-244.

## Рекуррентное двухпризнаковое двоичное полиадическое кодирование

*Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба,  
Национальный авиационный университет*

### 1. Введение

Характерной особенностью функционирования современных распределенных информационно-вычислительных систем является обработка и передача больших объемов данных. Это приводит к увеличению времени доведения информации и к снижению ее достоверности [1; 2]. Поэтому совершенствование информационного обеспечения, состоящего в разработке методов компактного представления данных без внесения погрешности, является актуальным направлением научно-прикладных исследований [3].

### 2. Постановка задачи

Время  $T_d$  доведения информации в информационных системах с использованием подсистемы сжатия складывается из временных затрат на сжатие  $T_c$ , восстановление  $T_b$  и передачу  $T_n$  данных по каналам связи. Отсюда следует, что для сокращения времени  $T_d$  необходимо сокращать временные затраты на обработку. Одним из эффективных методов сжатия двоичных данных является метод двухпризнакового структурного кодирования в полиадическом пространстве [4]. Недостаток такого представления состоит в том, что вычисление весовых коэффициентов  $p_{ij}^{(x)} V(\vartheta_z^{(x)})$  двоичных элементов  $a_{ij}$  проводится на основе вычисления факториальных выражений. Тогда на формирование кода-номера максимальное количество операций умножения и сложения  $\mu^{(дк)}$  равно [4; 5]:

$$\mu^{(дк)} = \sum_{z=1}^Z (2(m_z)^2 + 9m_z + 7). \text{ Для размеров изображений } Z_T \times Z_B = 800 \times 600 \text{ и}$$

длины допустимой зоны, равной  $m_z = 8$ , время на обработку данных на современных универсальных вычислительных средствах будет достигать *нескольких десятков секунд*. Следовательно, необходимо разработать кодирование двухпризнаковых полиадических чисел, обеспечивающее снижение времени обработки.

### 3. Разработка рекуррентного кодирования двоичных двухпризнаковых полиадических чисел

Анализа процесса двухпризнакового полиадического кодирования показывает, что для снижения количества операций требуется:

- организовать рекуррентное вычисление величин  $p_{ij}^{(x)} \prod_{\phi=z+1}^Z V(\mathfrak{G}_{\phi}^{(x)})$ :

$$p_{ij}^{(x)} \prod_{\phi=z+1}^Z V(\mathfrak{G}_{\phi}^{(x)}) = \left( \frac{(m_z - (i-1) + 1)!}{(\beta_{i-1, zj}^{(x)})! (m_z - (i-1) + 1 - \beta_{i-1, zj}^{(x)})!} - \frac{(m_z - i + 1)!}{(\beta_{izj}^{(x)})! (m_z - i + 1 - \beta_{izj}^{(x)})!} \right) \prod_{\phi=z+1}^Z \frac{(m_{\phi} + 1)!}{(2\mathfrak{G}_{\phi}^{(x)})! (m_{\phi} + 1 - 2\mathfrak{G}_{\phi}^{(x)})!}, \quad (1)$$

где  $p_{ij}^{(x)}$  - весовой коэффициент  $ij$ -го элемента  $z$ -й допустимой зоны обрабатываемой последовательности, зависящий от значений  $m_z$  и  $\mathfrak{G}_z^{(x)}$ ;  $\beta_{izj}^{(x)}$  - рекуррентный параметр, равный  $\beta_{izj}^{(x)} = \beta_{i-1, zj}^{(x)} - |a_{i-1, zj} - a_{izj}|$ . Из анализа первого сомножителя соотношения (1) вытекает, что числители отличаются друг от друга на  $-1$ , а знаменатели отличаются соответственно величинами  $|a_{i-1, zj} - a_{izj}|$  и  $(|a_{i-1, zj} - a_{izj}| - 1)$ . Тогда с учетом свойства факториалов выполняются равенства:

$$(m_z - i + 1)! = (m_z - (i-1) + 1)! / (m_z - (i-1) + 1); \quad (2)$$

$$(\beta_{izj}^{(x)})! = \begin{cases} (\beta_{i-1, zj}^{(x)})! / \beta_{i-1, zj}^{(x)}, & \text{если } |a_{i-1, zj} - a_{izj}| = 1; \\ (\beta_{izj}^{(x)})!, & \text{если } |a_{i-1, zj} - a_{izj}| = 0; \end{cases} \quad (3)$$

$$(m_z - i + 1 - \beta_{izj}^{(x)})! = \begin{cases} (m_z - i + 1 - \beta_{izj}^{(x)})!, & \text{если } |a_{i-1, zj} - a_{izj}| = 1; \\ \frac{(m_z - (i-1) + 1 - \beta_{i-1, zj}^{(x)})!}{(m_z - i + 2 - \beta_{izj}^{(x)})}, & \text{если } |a_{i-1, zj} - a_{izj}| = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Заменив числитель и знаменатель дроби  $\frac{(m_z - i + 1)!}{(\beta_{izj}^{(x)})! (m_z - i + 1 - \beta_{izj}^{(x)})!}$  на фор-

мулы (2) - (4) и учитывая соотношение для величины  $r_{i-1, zj}^{(x)}$ , выражение (1) примет вид:

- для случая  $|a_{i-1, zj} - a_{izj}| = 1$ :

$$p_{ij}^{(x)} \prod_{\phi=z+1}^Z V(\mathfrak{G}_{\phi}^{(x)}) = r_{i-1, zj}^{(x)} \left( \frac{(m_z - (i-1) + 1 - \beta_{i-1, zj}^{(x)})}{(m_z - (i-1) + 1)} \right) \prod_{\phi=z+1}^Z V(\mathfrak{G}_{\phi}^{(x)}); \quad (5)$$

- для случая  $|a_{i-1, zj} - a_{izj}| = 0$ :

$$p_{ij}^{(x)} \prod_{\phi=z+1}^Z V(\mathfrak{G}_{\phi}^{(x)}) = r_{i-1, zj}^{(x)} \left( \frac{\beta_{izj}^{(x)}}{(m_z - (i-1) + 1)} \right) \prod_{\phi=z+1}^Z V(\mathfrak{G}_{\phi}^{(x)}). \quad (6)$$

Достоинством выражений (5) и (6) относительно соотношения (1) является то, что для вычисления весового коэффициента требуется знать только одну величину  $r_{i-1, zj}^{(x)}$  вместо двух величин  $r_{i-1, zj}^{(x)}$  и  $r_{izj}^{(x)}$ . Недостаток формул (5) и (6) со-

стоит в том, что на каждом шаге обработки требуется затрачивать количество операций на вычисление величины  $r_{i-1,z_j}^{(x)}$ . Для исключения данного недостатка необходимо разработать систему рекуррентных выражений, позволяющих определять весовой коэффициент элемента  $a_{i,z_j}$  через весовой коэффициент предыдущего элемента  $a_{i-1,z_j}$ . Для этого требуется построить систему рекуррентных выражений для нахождения весового коэффициента  $p_{i-1,z_j}^{(x)} \prod_{\phi=z+1}^Z V(\vartheta_{\phi}^{(x)})$  через величину  $r_{i-1,z_j}^{(x)}$ . Запишем выражение (1) для величины  $p_{i-1,z_j}^{(x)} \prod_{\phi=z+1}^Z V(\vartheta_{\phi}^{(x)})$ :

$$p_{i-1,z_j}^{(x)} \prod_{\phi=z+1}^Z V(\vartheta_{\phi}^{(x)}) = \left( \frac{(m_z - (i-2) + 1)!}{(\beta_{i-2,z_j}^{(x)})! (m_z - (i-2) + 1 - \beta_{i-2,z_j}^{(x)})!} - \frac{(m_z - (i-1) + 1)!}{(\beta_{i-1,z_j}^{(x)})! (m_z - (i-1) + 1 - \beta_{i-1,z_j}^{(x)})!} \right) \prod_{\phi=z+1}^Z \frac{(m_{\phi} + 1)!}{(2\vartheta_{\phi}^{(x)})! (m_{\phi} + 1 - 2\vartheta_{\phi}^{(x)})!}. \quad (7)$$

Выразим величину  $r_{i-2,z_j}^{(x)}$  через величину  $r_{i-1,z_j}^{(x)}$ . Для этого запишем числитель и знаменатель величины  $r_{i-2,z_j}^{(x)}$  с учетом зависимостей (2) - (4):

- для  $|a_{i-2,z_j} - a_{i-1,z_j}| = 1$ :

$$r_{i-2,z_j}^{(x)} = \frac{(m_z - i + 1)!}{(\beta_{i-1,z_j}^{(x)})! (m_z - (i-1) + 1 - \beta_{i-1,z_j}^{(x)})!} \frac{(m_z - (i-2) + 1)!}{(\beta_{i-1,z_j}^{(x)} + 1)!}; \quad (8)$$

- для  $|a_{i-2,z_j} - a_{i-1,z_j}| = 0$ :

$$r_{i-2,z_j}^{(x)} = \frac{(m_z - i + 1)!}{(\beta_{i-1,z_j}^{(x)})! (m_z - (i-1) + 1 - \beta_{i-1,z_j}^{(x)})!} \frac{(m_z - (i-2) + 1)!}{(m_z - (i-1) - \beta_{i-1,z_j}^{(x)} + 2)!}. \quad (9)$$

На основе соотношений (8) и (9) выражение (7) для величины  $p_{i-1,z_j}^{(x)} \prod_{\phi=z+1}^Z V(\vartheta_{\phi}^{(x)})$  примет вид:

- для  $|a_{i-2,z_j} - a_{i-1,z_j}| = 1$ :

$$p_{i-1,z_j}^{(x)} \prod_{\phi=z+1}^Z V(\vartheta_{\phi}^{(x)}) = r_{i-1,z_j}^{(x)} \left( \frac{(m_z - (i-2) + 1)!}{(\beta_{i-1,z_j}^{(x)} + 1)!} - 1 \right) \prod_{\phi=z+1}^Z V(\vartheta_{\phi}^{(x)}); \quad (10)$$

- для  $|a_{i-2,z_j} - a_{i-1,z_j}| = 0$ :

$$p_{i-1,z_j}^{(x)} \prod_{\phi=z+1}^Z V(\vartheta_{\phi}^{(x)}) = r_{i-1,z_j}^{(x)} \left( \frac{(m_z - (i-2) + 1)!}{(m_z - (i-1) - \beta_{i-1,z_j}^{(x)} + 2)!} - 1 \right) \prod_{\phi=z+1}^Z V(\vartheta_{\phi}^{(x)}). \quad (11)$$

Выразим величину  $r_{i-1,z_j}^{(x)}$  через  $p_{i-1,z_j}^{(x)}$  на основе формул (10) и (11) и полу-

чим:



- для  $|a_{i-2, zj} - a_{i-1, zj}| = 1$ :

$$r_{i-1, zj}^{(x)} = p_{i-1, zj}^{(x)} \left( \frac{(m_z - (i-2) + 1)}{(\beta_{i-1, zj}^{(x)} + 1)} - 1 \right)^{-1}; \quad (12)$$

- для  $|a_{i-2, zj} - a_{i-1, zj}| = 0$ :

$$r_{i-1, zj}^{(x)} = p_{i-1, zj}^{(x)} \left( \frac{(m_z - (i-2) + 1)}{(m_z - (i-1) - \beta_{i-1, zj}^{(x)} + 2)} - 1 \right)^{-1}. \quad (13)$$

Заменяя в соотношениях (5) и (6) величину  $r_{i-1, zj}^{(x)}$  на формулы (12) и (13), получим

- для случая  $|a_{i-1, zj} - a_{izj}| = 1$  и  $|a_{i-2, zj} - a_{i-1, zj}| = 1$ :

$$p_{izj}^{(x)} \prod_{\phi=z+1}^Z V(\mathfrak{G}_{\phi}^{(x)}) = p_{i-1, zj}^{(x)} \left( \frac{(m_z - (i-2) + 1)}{(\beta_{i-1, zj}^{(x)} + 1)} - 1 \right)^{-1} \times \\ \times \left( \frac{(m_z - (i-1) + 1 - \beta_{i-1, zj}^{(x)})}{(m_z - (i-1) + 1)} \right) \prod_{\phi=z+1}^Z V(\mathfrak{G}_{\phi}^{(x)}); \quad (14)$$

- для случая  $|a_{i-1, zj} - a_{izj}| = 1$  и  $|a_{i-2, zj} - a_{i-1, zj}| = 0$ :

$$p_{izj}^{(x)} \prod_{\phi=z+1}^Z V(\mathfrak{G}_{\phi}^{(x)}) = p_{i-1, zj}^{(x)} \left( \frac{(m_z - (i-2) + 1)}{(m_z - (i-1) - \beta_{i-1, zj}^{(x)} + 2)} - 1 \right)^{-1} \times \\ \times \left( \frac{(m_z - (i-1) + 1 - \beta_{i-1, zj}^{(x)})}{(m_z - (i-1) + 1)} \right) \prod_{\phi=z+1}^Z V(\mathfrak{G}_{\phi}^{(x)}); \quad (15)$$

- для случая  $|a_{i-1, zj} - a_{izj}| = 0$  и  $|a_{i-2, zj} - a_{i-1, zj}| = 1$ :

$$p_{izj}^{(x)} \prod_{\phi=z+1}^Z V(\mathfrak{G}_{\phi}^{(x)}) = p_{i-1, zj}^{(x)} \left( \frac{(m_z - (i-2) + 1)}{(\beta_{i-1, zj}^{(x)} + 1)} - 1 \right)^{-1} \left( \frac{\beta_{izj}^{(x)}}{(m_z - (i-1) + 1)} \right) \prod_{\phi=z+1}^Z V(\mathfrak{G}_{\phi}^{(x)}); \quad (16)$$

- для случая  $|a_{i-1, zj} - a_{izj}| = 0$  и  $|a_{i-2, zj} - a_{i-1, zj}| = 0$ :

$$p_{izj}^{(x)} \prod_{\phi=z+1}^Z V(\mathfrak{G}_{\phi}^{(x)}) = p_{i-1, zj}^{(x)} \left( \frac{(m_z - (i-2) + 1)}{(m_z - (i-1) - \beta_{i-1, zj}^{(x)} + 2)} - 1 \right)^{-1} \left( \frac{\beta_{izj}^{(x)}}{(m_z - (i-1) + 1)} \right) \prod_{\phi=z+1}^Z V(\mathfrak{G}_{\phi}^{(x)}); \quad (17)$$

Выражения (14) – (17) позволяют вычислять значение весового коэффициента элемента  $a_{izj}$  через весовой коэффициент предыдущего элемента  $a_{i-1, zj}$ .

Из их анализа следует, что для получения величины  $p_{izj}^{(x)} \prod_{\phi=z+1}^Z V(\mathfrak{G}_{\phi}^{(x)})$  требуется

знать величину  $p_{i-1, zj}^{(x)} \prod_{\phi=z+1}^Z V(\vartheta_{\phi}^{(x)})$ , которая известна на предыдущем шаге обработки. Достоинством рекуррентного процесса нахождения весовых коэффициентов  $p_{izj}^{(x)} \prod_{\phi=z+1}^Z V(\vartheta_{\phi}^{(x)})$  элементов двухпризнаковых полиадических чисел является то, что на каждом шаге обработки не требуется определять величины  $r_{i-1, zj}^{(x)}$  и  $r_{i, zj}^{(x)}$ . Это приводит к сокращению избыточного количества операций на кодирование. Максимальные затраты операций для нахождения всех величин  $r_{izj}^{(x)}$   $i=\overline{1, m_z}$  для рекуррентного двухпризнакового кодирования в полиадическом пространстве равны  $\mu(r_{izj}^{(x)})=7m_z$ . Из сравнительного анализа выражений для определения количества операций соответственно для последовательного и рекуррентного двухпризнакового структурного полиадического кодирования следует, что сокращение количества операций достигает в среднем  $m$  раз.

### Выводы

1. Разработано рекуррентное двухпризнаковое структурное полиадическое кодирование двоичных данных. Созданное кодирование отличается от последовательного кодирования тем, что учитывает зависимость между весовыми коэффициентами соседних элементов двухпризнакового числа в двоичном полиадическом пространстве.

2. Для построенного кодирования сокращение количества операций достигается за счет перехода от вычисления факториальных выражений при нахождении весовых коэффициентов элементов двухпризнаковых двоичных полиадических чисел к рекуррентным выражениям. В этом случае полностью исключается количество операций умножения, затрачиваемых на вычисление факториалов. Выигрыш по количеству операций для рекуррентного кодирования относительно последовательного кодирования достигает в среднем  $m$  раз.

### Список литературы

1. Гайкович Ю.В. Деев В.В. Интеллектуальные информационные системы. – М.: Воениздат. – 1991. – 336 с.
2. Кульгин М.Б. Технологии корпоративных сетей. – Санкт–Петербург: Питер, 2000. – 704с.
3. Ватолин В.И., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2002. – 384 с.
4. Юдин А.К., Баранник В.В. Усеченное представление двоичных данных с ограниченным числом серий в полиадическом пространстве // Авиационно-космическая техника и технология. - 2006. № 2. С. 87 – 92.
5. Королев А.В. Способ быстрого кодирования двоичных данных // Системы обработки информации. – Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2002. – Вип. 6(22). – С. 3 – 8.

## Управление качеством производственных процессов в проектах создания высокотехнологичной техники

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*

**Актуальность.** Среди множества проблем управления качеством проекта особо актуальными являются задачи выбора эффективных методов и моделей анализа производственных и технологических процессов (ПП и ТП), поскольку именно в производственной системе формируется качество выпускаемой продукции.

**Постановка задачи.** Согласно требованиям международных стандартов серии ИСО 9000 производственные процессы должны проверяться на способность производить продукцию в соответствии с техническими требованиями. При этом необходимо определять операции, связанные с характеристиками процесса, которые оказывают существенное влияние на качество продукции. Рекомендуется также организовать систему управления, предотвращающую отклонения этих характеристик от установленных требований, а проверка технических возможностей должна включать проверку материалов, оборудования, вычислительных систем и программного обеспечения, процедур, персонала и др.

**Обзор литературы.** В современной практике анализа производственных процессов используется общенаучный принцип системной наследственности, согласно которому качество любого объекта наследует и отражает качество совокупных результатов процессов его создания [1].

Принцип системной наследственности можно представить схематически как логическую взаимосвязь элементов системы по этапам жизненного цикла подготовки производства (Рис. 1).

Из анализа этой схемы следует, что прогнозировать обеспечение качества реализации ПП возможно как через качество производственной документации, так и через показатели качества изготовленной продукции. При наличии математической модели, отражающей влияние параметров ПП на качество изготавливаемой продукции, возможно получить его достоверную оценку, однако разработка соответствующих математических моделей требует определенных затрат. Поэтому противоречие между необходимостью проведения глубокого анализа возможностей ПП и минимизацией затрат на его проведение решается на основе принципа квантификации, предусматривающего классификацию ПП в зависимости от их влияния на качество продукции [2].

В мировой практике, исходя из особенностей законодательства в области защиты прав потребителя, стандартизации, метрологии и сертификации, выделяются следующие требования к качеству продукции: обязательные требования стандартов, ключевые требования, прочие требования. Например, в Российской Федерации к обязательным требованиям стандартов относятся показатели безопасности, взаимозаменяемости, совместимости и единства маркировки продукции. К ключевым относят требования к качеству продукции, предъявляемые непосредственно потребителями, а также требования, самостоятельно выделяемые поставщиком с целью обеспечения уровня конкурентоспособности своей продукции.



Рис. 1. Модель формирования качества продукции в производственной системе.

Отсюда следует, что в соответствии с требованиями к качеству продукции, процессы ее производства можно классифицировать адекватным образом.

**Методы решения.** Как известно производственный процесс является комплексом всех процессов, необходимых для изготовления продукции, т.е. технологических процессов (основных), вспомогательных, обслуживающих и обеспечивающих процессов, поэтому следует оценивать качество всех его составляющих.

В таблице 1 с учетом данных из [1] предложена классификация производственных процессов по степени их влияния на качество продукции.

Таблица 1

Классификация производственных процессов

Характер процесса	Уровень процесса	Наименование процесса	Характерные особенности процесса
Критический	1	Особо ответственный ПП и особо ответственный ТП	Производственный процесс, включающий один и более ТП, влияющий хотя бы на один показатель безопасности продукции
	2	Потенциально ответственный ПП и потенциально ответственный ТП	Производственный процесс, включающий один и более ТП, в состав которых входит одна и более технологических операций (ТО), представляющих потенциальную опасность для работающих
	3	Специальный ПП и специальный ТП	Производственный процесс, включающий технологические процессы, исключающие возможность регулирования параметров процесса обработки в ходе хотя бы одной технологической операции
Ключевой	4	Особо важный ПП и особо важный ТП	ПП и ТП, относящиеся к производству деталей, узлов или других сборочных единиц, которые приравниваются потребителем или изготовителем к ключевым элементам, обеспечивающим достижение заданных требований к готовому изделию и влияющих на создание резервов технологической точности изделия
Обычный	5	Рядовой ПП и рядовой ТП	ПП и ТП, реализация которых не оказывает существенного влияния на выполнение служебных функций изделия, требований стандартов, ключевых требований потребителя или изготовителя и не влияющих на создание резервов технологической точности (резервов качества) изделия, а также характеризующиеся возможным негативным влиянием технологической наследственности

Для выявления причинно-следственных связей между параметрами производственного (технологического) процесса и показателями качества изготавливаемой продукции, необходимо выполнить анализ технических возможностей соответствующей технологической системы.

Решение этой задачи требует системного подхода, т.е. синтеза теоретических положений и принципов из области квалиметрии, теории надежности, системотехники, теории вероятности, исследования операций и др. При выборе методов анализа учитывается специфика продукции и методов ее производства.

Методические рекомендации по составу и структуре методов анализа и оценки соответствия исследуемых параметров установленным требованиям приведены в МС ИСО 9004-4:1993 [3].

На Рис.2 показана структурная схема методов анализа технических возможностей ПП, разработанная в соответствии с упомянутыми рекомендациями.

Следует отметить, что при выполнении указанного анализа рекомендуется учитывать один из принципов управления Деминга [4], который ориентируется не на чисто количественные (статистические), а на комплексные методы, сочетающие логические, эвристические и математические подходы.

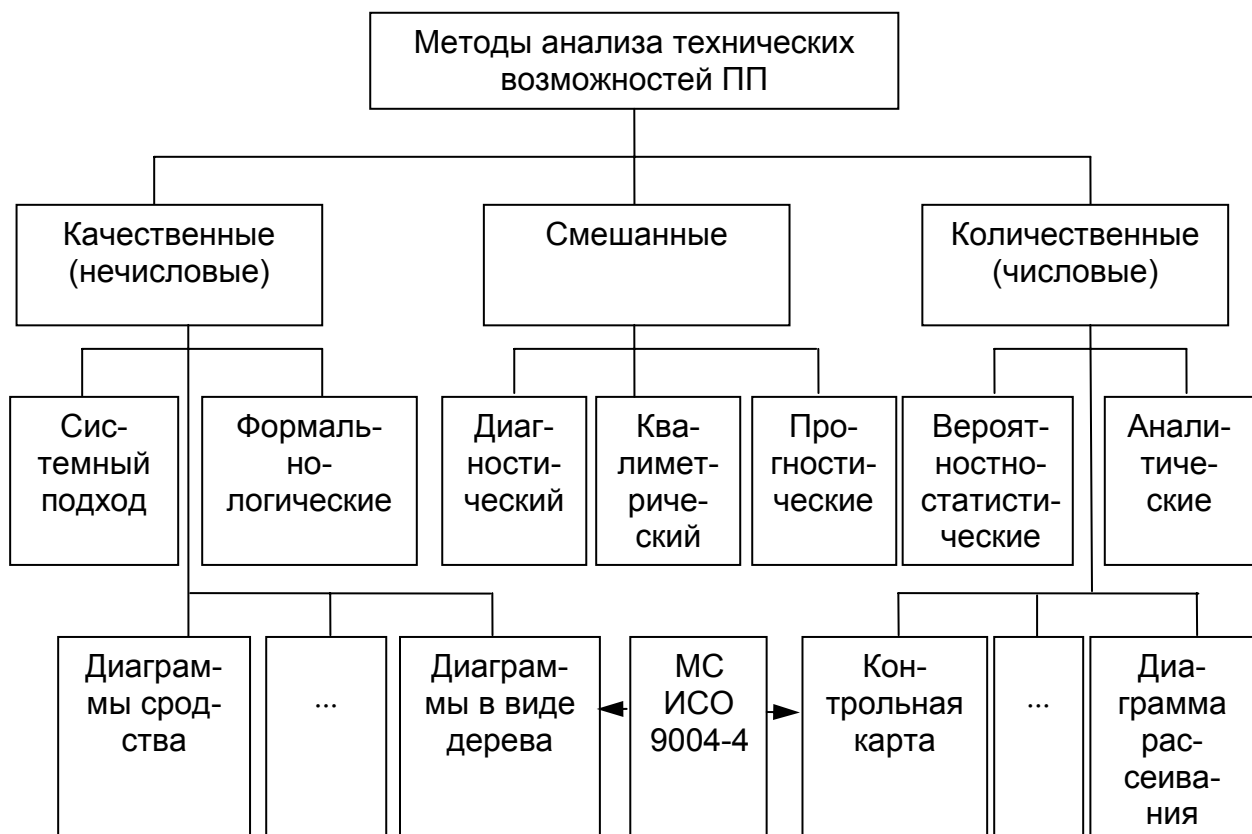


Рис. 2. Структурная схема методов анализа производственных процессов.

При выборе метода анализа необходимо исходить из сложности решаемых задач и возможных ошибочных решений. Для особо ответственных, ключевых и специальных ПП (ТП) должны использоваться более точные, для прочих – более укрупненные методы. Рекомендуемые области применения различных методов анализа и оценки качества ПП на стадиях их проектирования и использования приведены в таблице 2.

Таблица 2

## Предпочтительные области использования методов анализа ПП

Методы оценки ПП (ТП)		Предпочтительные области использования методов анализа ПП										
		Системные и формально-логические	Количественные по ИСО 9004- 4	Метод качественов	Метод случайных функций	Метод элементарных погрешностей	Регистрационные методы	Графоаналитические методы	Методы приведенных отклонений	Экспертные методы	Смешанные методы	
Стадии жизненного цикла и характер ПП (ТП)	Стадия проектирования	Критический	+	-	+	-	+	-	-	+	+	+
		Ключевой	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-
		Обычный	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-
	Стадия реализации	Критический	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+
		Ключевой	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+
		Обычный	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-

Особый интерес при анализе качества ПП (ТП) представляют критические, в частности, специальные процессы, поскольку при их реализации отсутствует возможность регулирования их параметров, а следовательно и показателей качества продукции. К таким процессам можно отнести заготовительно-штамповочное производство, в котором изготовление деталей осуществляется путем деформирования заготовок из листов, профилей, тонкостенных труб и других полуфабрикатов с относительно небольшой толщиной. Такие детали находят широкое применение в аэрокосмическом производстве, радиотехнике, судостроении, автостроении и других высокотехнологичных отраслях.

Обусловлено это особенностями этих изделий, которые, как правило, характеризуются сложной пространственной формой, имеют сравнительно высокую удельную прочность и жесткость, а также предпочтительные характеристики по массе и коэффициенту использования материала. Кроме того, они характеризуются широкой номенклатурой материалов – от обычных стальных и алюминиевых сплавов до труднодеформируемых жаропрочных и титановых сплавов, коррозионно-стойких сталей и т.п.

Изготовление листоштампованных деталей характеризуется высокой производительностью с широкими возможностями механизации и автоматизации.

Основной отличительной особенностью рассматриваемых формообразующих технологических операций (штамповка, вытяжка, гибка, раздача, обжим, отбортовка, формовка, обтяжка и др.) является связный (копирующий) характер изготовления, при котором в процессе пластического деформирования на кузнечно-прессовом оборудовании осуществляется перенос размеров и формы технологи-

ческой оснастки (матрицы, пуансоны, формблоки, штампы и т.п.) непосредственно на готовое изделие.

При этом, в отличие от других методов формообразования (точение, фрезерование и т.п.), оператор практически не может влиять на результаты обработки, поскольку он лишен возможности визуального наблюдения и управления процессом деформирования.

Поскольку детали листоштамповочного производства характеризуются сложной пространственной формой, задаваемой, как правило, математическими кривыми 2-го порядка (детали внешних обшивок самолетов, вертолетов и ракет, радиоантенны, кузовные детали автомобилей и т.п.), то обеспечение требуемой точности и взаимозаменяемости предопределяет использование других, нетрадиционных для общего машиностроения (допуски, посадки) способов, в частности, плазово-шаблонного, эталонно-шаблонного, координатно-шаблонного и других методов, широко применяемых, в частности, в авиа- и судостроении.

В этих методах не предусмотрено изготовление рабочих чертежей для пространственно-сложных деталей, а контроль размеров и формы осуществляется с использованием жестких носителей в виде шаблонов, эталонов и других плоских или объемных контрольных элементов.

Поэтому для указанных деталей в качестве исходной конструкторской документации используются теоретические чертежи (теоретические плазы), выполняемые, как правило, в натуральную величину, или теоретические таблицы с координатами точек профиля по заданным сечениям деталей.

Рассмотрим подробнее процедуру взаимосвязей качества производственных процессов и качества продукции на примере конкретных технологических решений.

Если деталей изготавливается штамповкой в штампах, то схема переноса размеров и сопутствующих погрешностей может быть представлена следующим образом (Рис. 3) [5].

Как следует из рисунка длина технологических цепочек будет определяться принятой структурой производственного процесса и составом средств технологического оснащения. В качестве критериев можно использовать качество (обеспечиваемая точность) продукции и технологическую себестоимость.

При использовании вероятностно-статистических методов анализа необходимо располагать величиной допустимых отклонений на каждом этапе переноса размеров (при известных физических и логических связях на этапах). Как правило, погрешности на этапах выбираются с учетом отраслевых нормалей, там же нормируются и значения коэффициентов, отражающих характер распределения погрешностей.

Поскольку накапливание погрешностей осуществляется последовательно, то связь между ними на отдельных этапах можно представить линейной размерной цепью, в которой замыкающим звеном является суммарная погрешность, т.е. погрешность изготовления детали. Для расчета итоговых погрешностей объекта  $\delta_{\Sigma}$  в заданной структуре технологической системы вероятностно-статистическим методом воспользуемся уравнением



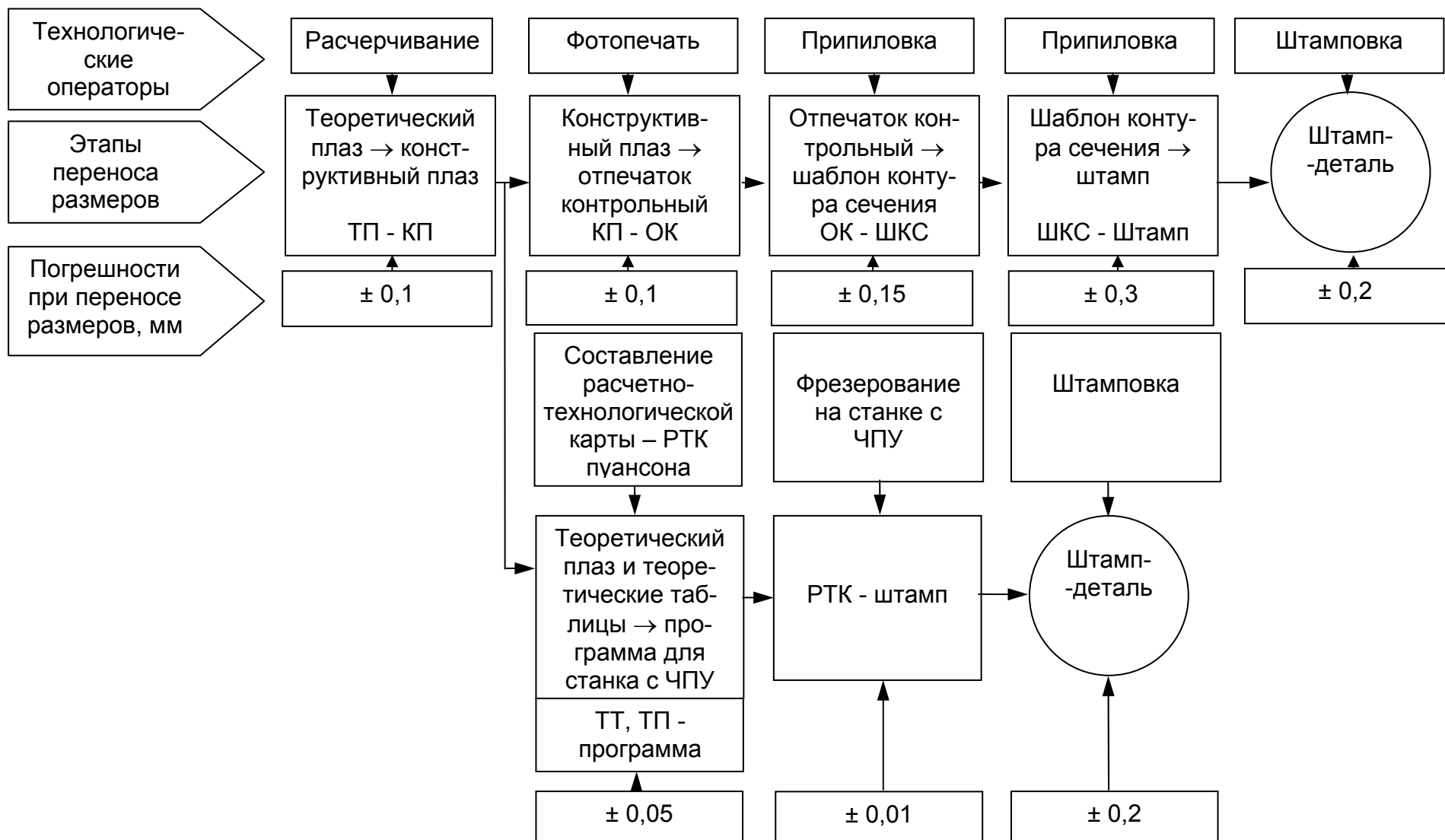


Рис. 3. Схема образования погрешностей в производственной системе листовой штамповки

$$\delta_{\Sigma} = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2 \left(\frac{\delta_i}{2}\right)^2 K_i^2} + \sum_{i=1}^n A_i (\Delta i + \alpha_i), \quad (1)$$

где  $\delta_i$  - поле допуска на этапе;

$\Delta i$  - координата середины поля допуска на том же этапе;

$\alpha_i, K_i$  - коэффициенты, отражающие характер распределения погрешностей;

$A$  - коэффициент передачи, учитывающий влияние входящих звеньев на замыкающее звено.

При нормальном законе распределения погрешностей принимаем  $K_1 = 1$ ,  $\alpha_i = 0$ .

Для схемы образования погрешностей, приведенной на Рис. 3, расчет суммарной погрешности объекта согласно уравнению (1) дал следующие результаты (мм): для варианта с припиловкой штампа по шаблону  $\delta_{\Sigma} = \pm 0,415$ , а при изготовлении элементов штампа на станке с ЧПУ  $\delta_{\Sigma} = \pm 0,2$ .

## Выводы

В результате проведенной работы установлена адекватная зависимость между качеством производственного процесса и точностью выпускаемой продукции.

Приведенный пример иллюстрирует возможную процедуру определения качества изделий посредством анализа качества конкретной технологической системы.

Таким образом, разработка обобщенных моделей и методов оценки качества производственных процессов и их влияния на качество продукции является важной научно-практической задачей.

## Список литературы

1. Барвинок В.А., Зарин Ю.В., Ярыгин В.Т. Технические возможности процессов производства / Проблемы машиностроения и автоматизации, М. № 3-4, 1996, – С. 3-9.
2. Дунаев И.М. Проектирование контроля и качества изделий в машиностроении. М. Машиностроение. 1985, 52 с.
3. ИСО 9004-4: 1993. Общее руководство качеством и элементами системы качества. – Часть 4. Руководящие указания по улучшению качества.
4. Деминг Э. Выход из кризиса. Тверь. 1994, 497 с.
5. Технология производства летательных аппаратов (курсовое проектирование). Под общей ред. д-ра техн. наук, проф. В.Г. Кононенко. Издательское объединение «Вища школа», 1974, 224 с.

## **Имитационное моделирование потока объектов с учетом поля предпочтительных направлений**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ»*

### **Введение**

Многие физические, социологические, биологические и иные системы представляют собой коллективы однотипных объектов. Примерами являются газ, состоящий из молекул; селевой поток, содержащий включения из камней; рой пчел; толпа, расходящаяся после матча со стадиона; зрители в кинотеатре; пассажиры метро; покупатели в большом магазине; поток машин на дорогах и т.п. При математическом описании таких систем в некоторых случаях удобно моделировать совокупность большого количества однотипных объектов в виде сплошной среды, к которой применимы методы математического анализа. Это позволяет сформулировать законы поведения в виде систем дифференциальных уравнений. Однако часто такая замена неправомерна, и математическое моделирование сводится к изучению поведения каждого объекта в отдельности с учетом их взаимодействия. Характер такого взаимодействия может быть самым различным. Для описания взаимодействия в последнее время используют теорию мультиагентов. Понятие «агент» близко понятию «автомат» [1–3]. Имеется также сходство агента с представлением о роботах. В некоторых работах эти понятия отождествляются [2]. В рамках данной статьи под агентом будем понимать автомат с памятью, внутреннее состояние которого является функцией времени.

### **Формулирование проблематики**

Рассмотрим задачу моделирования направленного движения большой группы агентов (или роботов) в прямоугольной области. Область содержит препятствия, а также несколько истоков и сток. Каждый агент между столкновениями перемещается при отсутствии внешних полей прямолинейно и равномерно. Закон взаимодействия агентов постулируется так: в момент столкновения изменяются только направления векторов скоростей; угол падения принимается равным углу отражения. Таким образом, рассматриваемые объекты в момент столкновения проявляют свойства автомата Мура, однако координаты как часть внутреннего состояния с течением времени изменяются.

В качестве иллюстрации исследуем движение пассажиров на станции метро, хотя эта же задача может рассматриваться, например, как задача перемещения потока воды с включениями в виде камней. Станция метро представляет собой прямоугольную область, с двух сторон которой находятся по 20 источников (двери вагонов поезда) шириной по 1,5 м. Одной из сторон (правая) является сток (выход из станции). Внутри этой области расположены препятствия в виде колонн.

Для решения этой задачи используют большую группу мобильных имитационных роботов [2]. Предполагают, что роботы, находясь возле границ

области или препятствий, могут их обнаруживать. Все роботы чувствуют глобальное направление, в котором им необходимо двигаться. Это значит, что в каждой точке рабочей области перемещение происходит с учетом предпочтительного направления. Например, частицы с большой массой, движущиеся с потоком жидкости, могут увлекаться жидкостью в направлении потока, и это направление является предпочтительным. Область обнаружения роботом другого робота считается ограниченной. На первом этапе некоторое количество роботов выходит из источников, находящихся на верхней грани области. После окончания выхода этих роботов через некоторое время начинают своё движение роботы, выходящие из источников на нижней грани области. При достижении границы стока робот выходит из рабочей области. Локальные свойства агентов могут оказаться такими, что выход из рабочей области при заданном их количестве оказывается невозможным. Это явление может рассматриваться как запираение тракта в целом.

Сформулируем возникающие задачи:

- выбрать или создать алгоритм для описания поведения рассмотренной мультиагентной системы;
- смоделировать поле векторов предпочтительных направлений;
- оценить степень давления в потоке;
- определить зависимость момента запираения от локальных свойств агентов и их количества в системе.

### **Решение поставленных задач**

Для описания совместного поведения агентов используем дискретно-событийный алгоритм, рассмотренный подробно в [4 – 6]. Этот алгоритм, являясь оптимальным по затратам времени расчетов на ЭВМ, показал свою эффективность в применении к изучению модельного газа [7]. Каждое столкновение агентов представляет собой событие, однозначно связанное с некоторым числом — моментом времени наступления события. Набор этих моментов заполняет числовую ось времени. Сами столкновения реализуются в определённой последовательности, получаемой упорядочением моментов столкновений в порядке возрастания. Упорядочение эквивалентно построению очереди. Используют очередь, построенную на базе хипа [6, 8]. После некоторого события следующим будет то, для которого время наступления минимально. После столкновения пары агентов требуется рассчитать время наступления очередного события для каждого агента рассматриваемой пары и поставить вычисленные моменты времени в очередь. Систему в целом предлагается разбить на подсистемы, так что для каждого из агентов, участвующих в столкновении, требуется последовательно рассмотреть агенты только в его подсистеме и соседних с ней подсистемах. При этом вводятся новые события, связанные с переходом из одной подсистемы в другую. Существенным элементом алгоритма является то, что перемещаются только те из агентов, которые участвуют в событии. В рассматриваемой модели нет необходимости следить за сохранением энергии, импульса и момента импульса в отдельном событии. Этим данная модель отличается от модели газа как мультиагентной системы.

Мощность множества агентов при использовании ЭВМ с тактовой частотой 666 МГц...4 ГГц может достигать 100000...500000. Эти числа на порядки превышают аналогичные, приведенные в работе [2], в которой применяется стандартный медленный дискретно-временной алгоритм «дельта t», не позволяющий на обычных компьютерах эффективно моделировать системы, состоящие более чем из 3000 агентов.

Поле предпочтительных направлений предлагается реализовать как векторное поле антиградиента некоторого скалярного поля типа электростатического. Предпочтительное направление учитывается только в дискретные моменты времени, соответствующие переходу агента из одной подсистемы в другую.

Роботы (или агенты) должны обходить препятствия и удаляться от них, обнаружив границы области [2]. Для описания такого поведения разместим в вершинах ячеек, которые лежат на границах области и на границах препятствий, положительные (отталкивающие) заряды. Потенциал в текущей точке вычисляют по следующей формуле:

$$\varphi(\vec{r}) = \sum_{i=1}^N \varphi_i(\vec{r}),$$

$$\text{где } \varphi_i(\vec{r}) = \frac{q_i}{|\vec{r} - \vec{r}_i|} = \frac{q_i}{\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}},$$

$q_i$  —  $i$ -й заряд,

$N$  — количество зарядов зоны,

$\vec{r}(x, y)$  — радиус-вектор текущей точки рабочей области.

Поле предпочтительных направлений вычисляется после этого как нормированный антиградиент потенциала. Каждой грани подобласти как структуре присваивают координаты модельной силы  $f_x$ ,  $f_y$ .

Чтобы достичь стока, роботам необходимо пройти между препятствиями, а затем направиться к стоку. Поэтому отрицательные (притягивающие) заряды размещены на стоке и между препятствиями. Рабочая область разбита на пять зон, в каждой из которых строится своё модельное поле. Поле предпочтительных направлений после указанных вычислений показано на рис. 1.

Конкретный вид потенциала определен неоднозначно. Например, зависимость потенциала от расстояния может быть обратной квадрату расстояния, а не первой степени. Возможен выбор и иных зависимостей. Важно соблюдение естественного требования убывания потенциала при возрастании расстояния.

Каждый агент представляется при программировании структурой, среди полей которой необходимыми являются физические свойства (радиус, масса), координаты центра агента, координаты вектора скорости, локальное время, момент времени наступления ближайшего события, тип ближайшего события, номер объекта, с которым должно произойти ближайшее по времени событие, а также мультииндекс той ячейки, в которой данный агент находится.

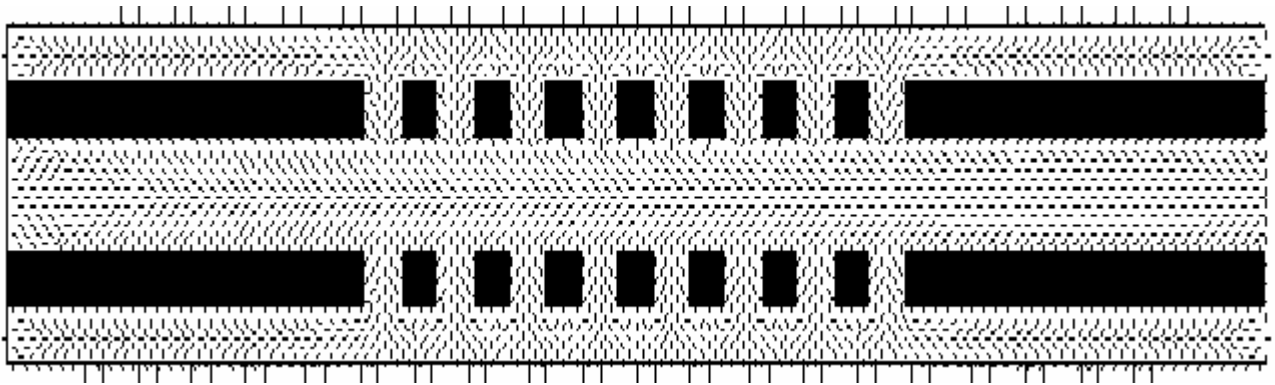


Рис 1. Поле предпочтительных направлений

Рассмотрим реакцию агента на событие, связанное с пересечением проницаемой границы. Должны быть выполнены следующие действия:

- из списка агентов, принадлежащих ячейке с мультииндексом  $(i, j)$ , в которой находился агент до столкновения, вычеркивается номер данного агента;
- после нахождения мультииндекса ячейки, в которую переходит агент, список агентов этой ячейки должен быть дополнен номером данного агента;
- для обеспечения направленности движения агентов к стоку переход через проницаемую границу сопровождается добавлением к вектору скорости агента нормированного вектора силы поля, вычисленного для грани ячейки, которую он пересек:  $v_x \rightarrow v_x + f_x$ ,  $v_y \rightarrow v_y + f_y$ , – после чего вектор скорости нормируется.

Столкновение агента с непроницаемой границей считается абсолютно упругим.

Если под агентами подразумеваются пассажиры или роботы, то довольно важным фактором является ощущение тесноты в толпе. В рамках рассматриваемой модели этот фактор измеряется как количество столкновений в единицу времени в данной подсистеме; обоснованием служит то, что абсолютные значения скоростей агентов считаются одинаковыми. В предельном случае давление (или теснота) может достичь таких величин, что движение агентов становится невозможным, т.е. возникает явление запираания тракта.

### Результаты расчетов

На рис.2 показана типичная конфигурация при прохождении рабочей области коллективом агентов.

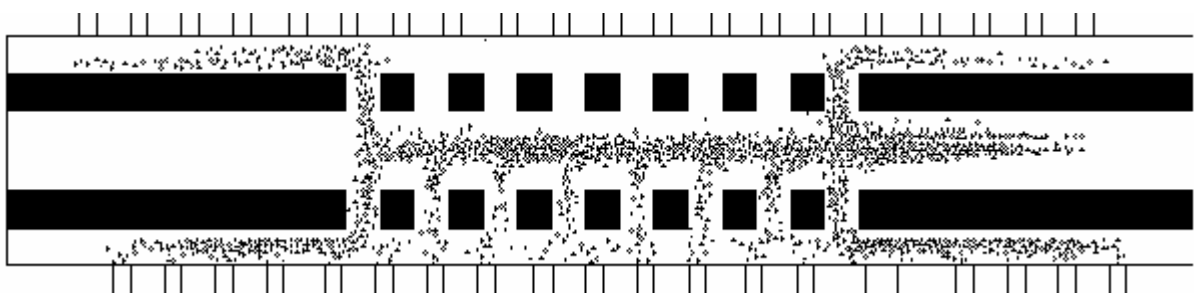


Рис.2. Прохождение коллективом агентов рабочей области

Она является фрагментом последовательности таких конфигураций, образующих фильм.

С помощью рассмотренной модели путем проведения машинных экспериментов была найдена зависимость момента наступления записывания тракта  $f$  от количества агентов  $x$ . Дополнительным параметром является одно из локальных свойств, а именно радиус. Результаты приведены на рис. 3, 4.

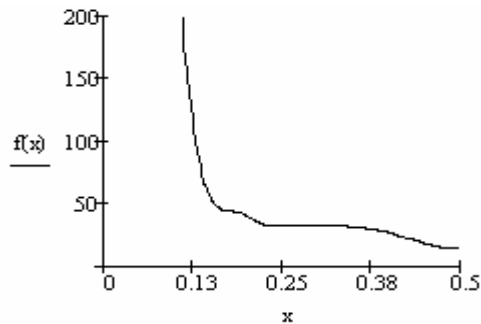


Рис. 3. Зависимость максимального количества агентов от модельного радиуса (в метрах)

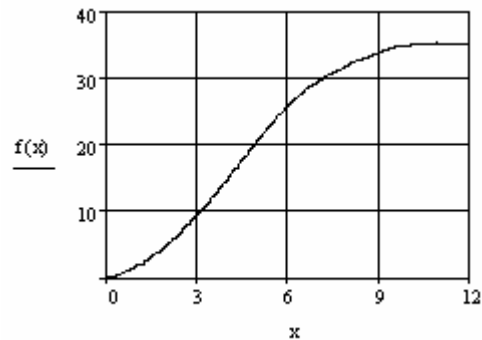


Рис. 4. Зависимость максимального количества агентов от ширины стока (в метрах)

При модельном радиусе, равном 0,5 м, количество пассажиров, выходящих из одной двери вагона, не должно в среднем превышать 21 – 25. Реальное количество в час пик составляет 15 – 18 человек. Если убрать колонны или уменьшить их размеры, то проходная способность резко увеличивается. Зависимость проходной способности от ширины стока оказывается нелинейной, как это следует из графика, изображенного на рис. 4. В то же время имеется критическая максимальная ширина. Если ширина стока превышает это критическое значение, равное в данном случае 9...10 м, то максимально допустимый пассажиропоток перестает зависеть от ширины.

Одним из достоинств рассматриваемого метода имитационного моделирования является то, что эволюция системы в целом прослеживается в реальном масштабе времени. На каждом шаге алгоритма время совпадает с глобальным ведущим параметром, который наращивается дискретно от события к событию с интервалами, равными временной длительности между последовательными событиями.

### Выводы и заключение

При большом количестве объектов для обеспечения эффективности мультиагентного подхода следует применять современные дискретно-событийные алгоритмы, так как использование дискретно-временных алгоритмов приводит к резкому возрастанию времени расчетов.

Введение в рассмотрение поля предпочтительных направлений перемещения позволяет учесть сложность формы рабочей области. В данной работе приведен пример использования кулоновского потенциала для построения векторного поля перемещений. Возможны и иные способы реализации такого поля. Например, при решении гидродинамических задач поле направлений может быть получено путем предварительного построения поля скоростей течения

сплошной среды в рабочей области. После построения поля можно приступить к расчетам, связанным с перемещением агентов, используя найденное поле для определения предпочтительных направлений.

В рассмотренном примере не учитывалось наличие пассажиров, которые движутся в направлении от эскалатора к поездам. Если предположить существование встречного потока, то необходимо ввести еще одно поле предпочтительных направлений. В этом случае среди свойств граней появляются еще два, аналогичные координатам силы, рассмотренным выше. Это сводится к построению еще одного потенциала и последующему вычислению антиградиента. Для каждого агента дополнительно должен быть задан его тип. При расчете новой скорости в момент перехода между подсистемами учитывается поле одного из имеющихся полей в зависимости от типа агента.

Физические параметры, соответствующие геометрическим размерам, массе и абсолютной величине скорости агентов, для простоты считаются в рассмотренном примере постоянными, что соответствует усреднению по всему коллективу.

Структура агента может быть приближена к реальной, если для физических параметров постулировать случайное задание по некоторому закону вероятностного распределения. Однако это требует предварительной статистической обработки распределения размеров, массы и подвижности.

### Список литературы

1. Карпов Ю.Г. Теория автоматов. М.: Питер, 2003. – 206 с.
2. Kerr W., Spears D., Spears W., Thayer D. Multi-agent Sweeping and Obstacle Avoidance / Springer-Verlag. Lecture Notes in Computer Science. – Vol. 3228. – [2004 // wkerr@cs.uwyo.edu](http://wkerr@cs.uwyo.edu) .
3. Соколов А.Ю., Угрюмов М.Л., Чернышев Ю.К. Математические методы, модели и технологии исследования сложных систем // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 7(23). – Харків, ХАІ. – 2005 – С. 327-337.
4. Чернышев Ю.К. Прямое моделирование течения газа в каналах сложной формы при малых числах Кнудсена //Труды Междунар. науч.-техн. конф. «Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования». – Х.: Ин-т проблем машиностроения НАН Украины. – 1997. – С. 238 – 240.
5. Чернышев Ю.К. Применение теории систем для алгоритмизации прямого математического моделирования течения газа // Двигатели внутреннего сгорания. – 2004. – № 2. – С. 44–47.
6. Чернышев Ю.К. Решение задач имитационного моделирования поведения большого количества модельных частиц // Х.: ХАИ. – 2006. – 58 с.
7. Левин С.С., Лоян А.В., Чернышев Ю.К. Трехмерное имитационное моделирование газодинамических процессов в стационарном плазменном двигателе в предпусковом состоянии // Открытые информационные и компьютерные технологии. – 2006. – Вып. 31. – С. 82 – 94.
8. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. Алгоритмы. Построение и анализ. – М.: МЦНМО, 2000. – 956 с.



## Обоснование выбора дискретного преобразования Уолша для сжатия изображений

*Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба*

### Постановка проблемы

Особенности проведения вооруженных конфликтов, последнего десятилетия показали преимущества и практическую неуязвимость мобильных групп наносящих значительные удары по группировкам, как армейских подразделений, так и гражданских сооружений. Одним из требований повышения оперативности управления является своевременная доставка видеoinформации, в том числе и аэрофотоснимков, достигающих объемов 25 Мбит [1]. Однако существующие технические средства передачи информации имеют относительно низкие скорости передачи. Это является причиной временных задержек.

Таким образом, уменьшение времени доведения информации с сохранением требуемой достоверности является актуальной научной задачей.

Для сокращения объемов видеoinформации в системах передачи данных используются методы компактного представления видеоданных. Наибольшая степень сжатия данных изображений достигается на основе методов, учитывающих психовизуальную избыточность и двумерные корреляционные зависимости в обрабатываемых блоках исходного изображения. Поэтому совершенствование методов сжатия предлагается строить с использованием дискретных ортогональных преобразований (ДОП), которые позволяют: снизить степень корреляционных связей, повысить степень неравномерности распределения коэффициентов преобразования и распределить погрешность преобразования по всему обрабатываемому фрагменту.

### Цель статьи

Поэтому целью статьи является обоснование выбора двумерного ортогонального преобразования Уолша в системах сжатия изображений, обеспечивающих снижение времени обработки и сжатие количества избыточности слабокоррелируемых фотореалистических изображений.

### Основной материал

Трудоемкость алгоритма преобразования изображения размерностью  $N \times M$  при помощи дискретно-косинусного преобразования (ДКП) составляет  $NM \log_2 NM$  сложений (вычитаний) и  $NM \log_2 NM$  умножений (делений); дискретного преобразования Хаара (ДПХ) -  $2(NM - 1)$  сложений (вычитаний) и  $NM$  умножений (делений); дискретного преобразования Уолша (ДПУ)  $NM \log_2 NM$  сложений (вычитаний) [2,3].

Оценка временных затрат на обработку на  $\phi$ -е ортогональное преобразование одной цветовой плоскости рассчитывается из выражения:

$$T_{обр}^{(\phi)} = \frac{NM}{n^2} \left( \frac{K(+,-)_{\phi}}{U(+,-)_{обр}} + \frac{K(\times, /)_{\phi}}{U(\times, /)_{обр}} \right), \quad (1)$$

где  $K(+,-)_{\phi}$ ,  $K(\times, /)_{\phi}$  - соответственно количество операций сложения (вычитания) и умножения (деления), которое необходимо выполнить для  $\phi$ -го вида ортогонального преобразования блока размерностью  $n^2$ ;  $U(+,-)_{обр}$ ,  $U(\times, /)_{обр}$  - количество операций соответственно сложения (вычитания) и умножения (деления), выполняемое вычислительной системой за 1 сек.;  $NM/n^2$  - количество блоков размерностью  $n^2$  в изображении размерностью  $NM$ .

Поскольку между скоростью выполнения операций сложения (вычитания) и операций умножения (деления) выполняется неравенство:

$$U(+,-)_{обр} > U(\times, /)_{обр}, \text{ то } U(+,-)_{обр} = C_{обр} U(\times, /)_{обр}, \quad (2)$$

где  $C_{обр}$  - коэффициент, показывающий во сколько раз для вычислительных систем скорость выполнения операций сложения (вычитания) превышает скорость выполнения операций умножения (деления).

С учетом выражения (2) время обработки для ДКП, ДПХ и ДПУ представлены соответственно выражениями:

$$T_{обр}^{(\partial kn)} = NM \left( \frac{2 \log_2 n (C_{обр} + 1)}{U(+,-)_{обр}} \right); \quad T_{обр}^{(x)} = NM \left( \frac{(C_{обр} + 2)}{U(+,-)_{обр}} \right); \quad (3)$$

$$T_{обр}^{(y)} = NM \left( \frac{2 \log_2 n}{U(+,-)_{обр}} \right).$$

Из сравнительного анализа выражений (3) следует, что:

- суммарное количество арифметических операций на ДПУ меньше, чем количество операций, затрачиваемое на выполнение ДКП, т.е. выполняется неравенство  $T_{обр}^{(y)} < T_{обр}^{(\partial kn)}$ . Причем:

$$\frac{T_{обр}^{(\partial kn)}}{T_{обр}^{(y)}} = (C_{обр} + 1); \quad (4)$$

- временные затраты на выполнение арифметических операций соответствующих ДПУ будут меньше временных затрат, необходимых для выполнения арифметических операций для ДПХ  $T_{обр}^{(y)} < T_{обр}^{(x)}$ , если выполняется неравенство:

$$C_{обр} > 2 \log_2 n - 2. \quad (5)$$

Между величинами  $T_{обр}^{(y)}$  и  $T_{обр}^{(x)}$  выполняется следующее отношение:

$$\frac{T_{обр}^{(x)}}{T_{обр}^{(y)}} = \frac{C_{обр} + 2}{2 \log_2 n}. \quad (6)$$

Причем если выполняется неравенство (6), то:

$$\frac{C_{обр} + 2}{2 \log_2 n} > 1. \quad (7)$$

Выражения (4) и (6) определяют нижнюю границу выигрыша по времени обработки для преобразования Уолша относительно преобразований ДКП и Хаара. Это объясняется тем, что операции сложения (вычитания) выполняемые для преобразований ДКП и Хаара являются соответственно вещественными и частично вещественными, что приводит к дополнительному увеличению времени обработки относительно времени, требуемого на выполнение только целочисленных операций сложения (вычитания) для преобразования Уолша.

Оценка степени выигрыша по времени обработки для ДПУ относительно ДКП и ДПХ для разных типов микропроцессоров приведены в табл.1.

Таблица 1.  
Значения степени выигрыша по времени обработки для ДПУ относительно ДКП и ДПХ

Модель процессора	Тактовая частота	$T_{обр}^{(дкп)} / T_{обр}^{(y)}$	$T_{обр}^{(x)} / T_{обр}^{(y)}$	
			$n = 8$	$n = 16$
DragonBall	66	20	3,6	2,75
StrongARM	200	25	4,5	3,4
Transmeta	600	20	3,6	2,75
VIA C3	800	20	3,6	2,75

Анализ данных в табл.1 показывает, что минимальный выигрыш по времени обработки для ДПУ относительно ДКП и ДПХ равен 3,6 и 2,75 раза соответственно для размера блока  $n = 8$  и  $n = 16$ .

Для оценки информативности трансформант различных видов ортогональных преобразований разработаны информационные модели оценки статистической избыточности в трансформантах Хаара и Уолша. Для построения информационной модели оценки количества информации трансформант ДОП необходимо оценить влияние исходных данных компонент изображения выраженных через дисперсию  $\sigma_x$  и коэффициент корреляции соседних элементов  $R(x_i, x_t)$  этого изображения на количество информации в векторе выходной последовательности ДОП, которая, в свою очередь, характеризуется дисперсией  $\sigma_y$ . Причем корреляция этой последовательности стремится к нулю. Таким образом, для проведения сравнительной оценки количества информации трансформант ДПХ и ДПУ необходима модель зависимости  $\sigma_y$  от  $\sigma_x$  и  $R(x_i, x_t)$ .

Количество информации в компонентах вектора трансформант преобразования Хаара представлено выражением:

$$\begin{aligned}
H_{mp}^{(x)} &= \sum_{k=1}^n 1,43 \log_2 \sigma(y)_{k\ell}^2 \sqrt{(2\pi e)} = \\
&= 1,43 \log_2 \sqrt{(2\pi e)} + \log_2 (8\sigma_x^2 + 2\sigma_x^2(7R_1 + 6R_2 + 5R_3 + 4R_4 + 3R_5 + 2R_6 + R_7)) - \\
&\quad - 6 + \log_2 (8\sigma_x^2 + 2\sigma_x^2(5R_1 + 2R_2 - R_3 - 4R_4 - 3R_5 - 2R_6 - R_7)) - 6 + \\
&\quad + 2 \log_2 \frac{1}{8} \sigma_x^2 (1+R_1)(1-R^{(1,2)}) + 4 \log_2 \frac{1}{8} \sigma_x^2 (1-R_1). \quad (8)
\end{aligned}$$

Соотношение (8) позволяет оценить количество информации в компонентах вектора  $Y^{(\ell)} = Y_x^{(\ell)}$  преобразования Хаара на основе известных значений дисперсии  $\sigma_x^2$  элементов исходного изображения и ковариационной функции  $K(x_i; x_t)$ . Количество информации в компонентах вектора трансформант преобразования Уолша представлено выражением:

$$\begin{aligned}
H_{mp}^{(y)} &= \sum_{k=1}^n 1,43 \log_2 \sigma(y)_{k\ell}^2 \sqrt{(2\pi e)} = \\
&= 1,43 \log_2 \sqrt{(2\pi e)} + \log_2 \left( 8\sigma_x^2 + 2\sigma_x^2 \left( \sum_{\psi=1}^7 (8-\psi) R_\psi \right) \right) - 6 + \\
&+ \log_2 (8\sigma_x^2 + 2\sigma_x^2(5R_1 + 2R_2 - R_3 - 4R_4 - 3R_5 - 2R_6 - R_7)) - 6 + \\
&\quad + \log_2 \frac{1}{16} (\sigma_x^2 (1+R_1)(2 - R^{(1)} - 2R^{(2)} + R^{(3)})) + \\
&\quad + \log_2 \frac{1}{16} (\sigma_x^2 (1+R_1)(2 - 3R^{(1)} + 2R^{(2)} - R^{(3)})) + \\
&\quad + \log_2 \frac{1}{64} (8\sigma_x^2 + 2\sigma_x^2(-R_1 - 6R_2 + R_3 + R_4 - R_5 - 2R_6 + R_7)) + \\
&\quad + \log_2 \frac{1}{64} (8\sigma_x^2 + 2\sigma_x^2(-3R_1 - 2R_2 + 3R_3 - 4R_4 + R_5 + 2R_6 - R_7)) + \\
&\quad + \log_2 \frac{1}{64} (8\sigma_x^2 + 2\sigma_x^2(-5R_1 + 2R_2 + R_3 - 4R_4 + 3R_5 - 2R_6 + R_7)) + \\
&\quad + \log_2 \frac{1}{64} (8\sigma_x^2 + 2\sigma_x^2(-7R_1 + 6R_2 - 5R_3 + 4R_4 - 3R_5 + 2R_6 - R_7)). \quad (9)
\end{aligned}$$

Соотношение (9) позволяет оценить количество информации в компонентах вектора  $Y^{(\ell)}$  преобразования Уолша на основе известных значений дисперсии  $\sigma_x^2$  элементов исходного изображения и ковариационной функции  $K(x_i; x_t)$ . Из сравнительного анализа выражений (11) и (12) вытекает, что для сравнения количества информации приходящихся соответственно на вектор  $Y_x^{(\ell)}$  компонент преобразования Хаара и на вектор  $Y_y^{(\ell)}$  компонент преобразования Уолша необходимо сравнить значения дисперсий для компонент с равными индексами.

Учитывая зависимость, заданную соотношением для коэффициента корреляции  $R(x_i; x_t)$ :

$$R(x_i; x_t) = \exp(-\alpha(i-t)), \quad (10)$$

будут выполняться неравенства  $\sigma(Y)_{5\ell}^2 < \sigma(X)_{5\ell}^2$ ,  $\sigma(Y)_{6\ell}^2 < \sigma(X)_{6\ell}^2$  и  $\sigma(Y)_{8\ell}^2 < \sigma(X)_{8\ell}^2$ . Для аэрофотоснимков среднее значение  $\alpha^{-1} = 15$  [4].

Таким образом, для большего количества составляющих дисперсия компоненты трансформанты Уолша будет меньше по сравнению с дисперсией компоненты трансформанты Хаара. Поэтому количество информации  $H_{mp}^{(y)}$ , приходящееся на вектор компонент преобразования Уолша, будет меньше, чем количество информации  $H_{mp}^{(x)}$ , приходящееся на вектор компонент преобразования Хаара.

### Выводы

1. Получены системы аналитических выражений, позволяющих определить граничные значения основных технических характеристик информационно-вычислительных систем и систем связи, для которых временные затраты на выполнение преобразования Уолша будут ниже, чем временные затраты на выполнение дискретного косинусного преобразования и преобразование Хаара.

2. Минимальный выигрыш по времени обработки для ДПУ относительно ДКП и ДПХ равен 3,6 и 2,75 раза соответственно для размера блока  $n = 8$  и  $n = 16$ . Данный выигрыш по времени обработки обусловлен тем, что в отличие от ДКП и ДПХ значения элементов матрицы базиса Уолша являются целыми числами, принимающими только два значения 1 и -1. Поэтому выполнение преобразования Уолша основывается только на целочисленных операциях сложения и вычитания.

3. Разработана информационная модель трансформант преобразования Уолша. Созданная модель позволяет оценить количество информации в трансформантах Уолша, а также количество статистической избыточности в трансформантах Уолша в зависимости значений дисперсии элементов исходного изображения и ковариационной функции исходного изображения. Доказано, что количество информации в трансформантах преобразования Уолша зависит от значений дисперсий их компонент. На основе разработанной информационной модели обосновано, что для слабокоррелированных изображений (типа аэрофотоснимков) количество информации, содержащееся в трансформанте Уолша меньше, чем количество информации, содержащееся в трансформанте Хаара.

### Список литературы

1. Матвеев С.И. Высокоточные системы РВиА: перспективы и основные направления работ по созданию разведывательно-ударных и разведывательно-огневых комплексов. – М.: Военная мысль, 2005, №2, С. 22-27.
2. Ахмед Н., Рао К. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов: Пер. с англ. - М.: Связь, 1980. - 248 с.
3. Красильников Н.Н. Теория передачи и воспроизведения изображений. Теория передачи изображений и ее приложения. М.: Радио и связь, 1986. – 248с.
4. Величкин А.И. Передача аналоговых изображений по цифровым каналам связи. М.: Радио и связь, 1983. – 240с.

## Эмпирический метод анализа алгоритмов поиска

*Национальный технический университет Украины  
"Киевский политехнический институт"*

**Введение.** Операция получения конкретной информации из ранее созданных баз данных (БД) называется *поиском*. В этом случае прикладные программы обрабатывают данные, разделенные на записи (*элементы*), каждая из которых имеет *ключ* для поиска. Цель поиска – отыскание элементов с заданными ключами (*ключ поиска*) для получения доступа к информации внутри элемента и ее обработки. Обычно структуры элементов с ключами представляют в виде таблиц символов, где "ключи" – это слова, а "элементы" – записи, содержащие информацию о словах, например, в энциклопедиях, справочниках и т.п. Так как записи в словаре упорядочены в алфавитном порядке, то некоторые алгоритмы поиска (например, бинарный поиск) основываются на их упорядоченности.

Поиск в компьютерных системах связан с выполнением различных операций. Так, например, в информационной системе Центральной избирательной комиссии Украины требуется осуществлять поиск в БД информации о кандидатах в депутаты [1, 2], а в информационной технологии проектных исследований необходимо выполнять поиск информации в БД проекта [3 – 6]. Подобные задачи следует решать в системах электронного документооборота [7, 8], в интеллектуальных системах [9], а также в сети Internet. Очевидно, что во всех таких приложениях требуются эффективные алгоритмы поиска [10, 11].

**Постановка задачи.** Анализ известных методов оценки эффективности алгоритмов поиска [11, 12] показывает, что их в основном применяют к вновь создаваемым алгоритмам и связанным с ними структурам данных в будущих БД. Актуальным вопросом разработки современных приложений является оценка эффективности алгоритмов поиска в ранее созданных БД. Поэтому постановка задачи была сформулирована как задача создания эмпирического метода для оценки эффективности алгоритмов поиска в ранее созданных БД и методов для обеспечения максимально быстрого доступа к информации и ее структурным элементам [13].

**Проблемы поиска.** Известно, что время поиска определяется производительностью алгоритма поиска, которая зависит от структуры обрабатываемых данных. Организация поиска в структуре данных связана с формированием пространства поиска (ПП), где задачу поиска можно представить в виде графа пространства состояний (ПС), который содержит вершины (состояния процесса решения задачи), дуги – переходы между состояниями (шаги решения задачи). Формально это можно представить так:  $\tilde{N} = [N, A, I, G]$ , где  $N$ ,  $A$ ,  $I$  – множество вершин, дуг и начальных состояний графа соответственно;  $G \subseteq N$  – подмножество, содержащее целевые состояния поиска. Тогда поиск в ПС представляет собой задачу определения пути решения от исходного состояния (из вершины множества  $I$ ) к искомому (до достижения заданной вершины подмножества  $G$ ).

Анализ особенностей алгоритмов поиска показывает, что состояния поиска могут быть достигнуты различными путями (путь от вершины  $a$  к вершине  $d$  может проходить через вершины  $b$  и  $c$  либо непосредственно от  $a$  к  $d$ ). В свою очередь, наличие большого количества путей может привести к образованию петель и зацикливанию (если в качестве целевой выбрана вершина  $e$  и  $a$  – в качестве начальной, то образуется циклический путь  $abcdabcd\dots$ ), и в итоге алгоритм никогда не достигнет цели (рис. 1). Поэтому проблемой алгоритмов поиска является выбор оптимального пути поиска и исключение необходимости в обнаружении и устранении петель и зацикливаний путем представления ПП древовидной структурой (рис. 2).

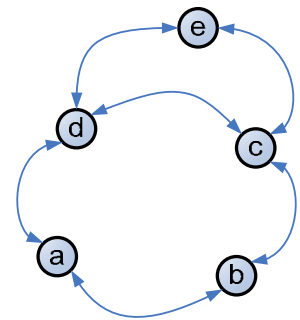


Рис. 1. Граф

**Анализ алгоритмов поиска.** Рассмотрим методы поиска, применяемые в компьютерах общего назначения. Пусть в БД имеется набор данных из  $N$  записей, содержащих специальное поле (различные ключи)  $K_i, i = 1, 2, \dots, N$ , где каждый из них идентифицирует связанную с ним запись. Задача поиска заключается в нахождении записи, для которой  $K$  является ключом и одновременно – аргументом для алгоритма поиска. Результатом поиска может быть либо успешный поиск (запись с ключом  $K$  найдена), либо неудачный поиск (запись с ключом  $K$  не найдена). После нахождения  $K$  поиск связанной с ним информации становится тривиальной задачей, зависящей от способа ее хранения. Например, найдя  $K$  в  $t_i \in T$ , обнаружим связанные с ним данные в  $t_{i+1} \in T$ , в  $d_i \in D$  или в еще каком-то месте, которое определяется способом хранения информации.

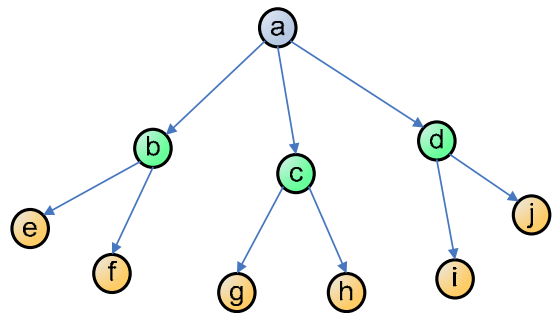


Рис. 2. Древовидная структура

Отметим, что структура данных существенно влияет на реализацию алгоритмов поиска. Можно так изменить структуру данных, что решение задачи поиска удастся избежать совсем. Например, для избежания поиска в алгоритме топологической сортировки числовых объектов используются списки с двойными связями, а в качестве ключа  $K$  – натуральные числа и последовательно размещаются записи в  $t_i \in T$ , где  $i = 1, 2, \dots, K, \dots, N$ . Однако если объекты в алгоритме топологической сортировки представлены символьными значениями, то поиск необходим. В этом случае очень важно подобрать эффективный алгоритм поиска.

Задачи сортировки зачастую тесно связаны с задачами поиска. Например, если даны два числовых множества  $a_{i=1,\dots,m} \in A$ ,  $b_{j=1,\dots,n} \in B$ , необходимо определить, является ли  $A \subseteq B$ . Возможны такие варианты решения: последовательно сравнивать каждое  $a_i$  со всеми  $b_j$  до нахождения совпадения (а); выполнить сортировку множеств  $A$  и  $B$ , затем последовательный проход с проверкой по этим множествам (б); записать все  $b_j$  в таблицу и выполнить поиск каждого значения  $a_i$  (в). В зависимости от значений  $m$  и  $n$  каждое из этих

решений имеет свою эффективность. Так, решения (а) и (б) требуют соответственно  $t \sim c_1 mn$  и  $t \sim c_2 (m \lg m + n \lg n)$  единиц времени (ЕВ), где  $c_1 = const$ ,  $c_2 = const$  и  $c_2 \gg c_1$ . Метод хеширования для (в) займет около  $t \sim c_3 m + c_4 n$  ЕВ, где  $c_3 = c_4 = const$  и  $c_3 \gg c_2$ . Отсюда следует, что решение (а) эффективно для небольших значений  $m$  и  $n$ , и при увеличении множеств лучшим становится решение (б). Затем лучшим станет решение (в) до тех пор, пока  $n$  не превысит размер внутренней памяти компьютера. После этого вновь наилучшим становится решение (б), пока  $n$  не достигнет больших значений. Этот пример подтверждает, что существуют ситуации, в которых сортировка служит хорошей заменой поиску, а поиск – заменой сортировке [14].

Сложные задачи поиска зачастую сводятся к более простым задачам. Например, предположим, что ключи представляют собой слова, которые записаны с небольшими ошибками, и задача заключается в том, чтобы найти запись, несмотря на ошибки в ключах. Для этого применяют алгоритмы поиска, основанные на сравнении ключей с использованием алфавитного/ числового порядка. Например, создаются две копии ключей, в одной из которых ключи расположены в обычном лексикографическом порядке, а в другом – в обратном порядке. Искаженный аргумент поиска будет, вероятно, совпадать до половины и более своей длины с записью в одной из копий.

**Алгоритмы последовательного поиска.** В случае, когда значения ключей относятся к слишком большому диапазону, чтобы их можно было использовать в качестве индексов, один из простых подходов к реализации таблиц символов – последовательное сохранение элементов в массиве в упорядоченном виде. Когда требуется вставить новый элемент, то он вставляется в массив, перемещая большие элементы на одну позицию, как это делается для сортировки вставками; когда необходимо выполнить поиск, массив просматривается последовательно. Поскольку массив упорядочен, при встрече ключа, значение которого больше искомого, можно сделать вывод о неудаче поиска. Более того, благодаря упорядочению массива реализация операций выбора и сортировки несложна.

Для таблицы записей  $R_1, R_2, \dots, R_N$  с ключами  $K_1, K_2, \dots, K_N$  соответственно алгоритм последовательного поиска, который предназначен для поиска записи с заданным ключом  $K$  в предположении, что  $N \geq 1$ , можно представить такой процедурой (рис. 3).

Шаг 1. Инициализация: установить  $i := 1$ .

Шаг 2. Сравнение: если  $K = K_i$ , перейти к шагу 5 (успешный поиск, установить  $s := 1$ ).

Шаг 3. Продвижение: увеличить  $i := i + 1$ .

Шаг 4. Проверка данных: если  $i \leq N$ , то перейти к шагу 2, иначе перейти к шагу 5 (неуспешный поиск, установить  $s := 0$ ).

Шаг 5. Конец.

Очевидно, что время выполнения алгоритма зависит от количества сравнений ключей  $c$  и критерия завершения поиска  $s$ . Алгоритм требует для работы  $t \sim 5c - 2s + 3$  ЕВ, где  $c = \frac{1+2+\dots+N}{N} = \frac{N+1}{2}$  в случае успешного поиска и в предположении, что все ключи поступают на вход программы с одинаковой вероятностью.

Увеличить скорость работы алгоритма можно путем организации фиктивной



записи  $R_{N+1}$ , что фактически приводит к реализации алгоритм быстрого последовательного поиска.

Шаг 1. Инициализация: установить  $i := i + 1$  и  $K_{N+1} := K$ .

Шаг 2. Сравнение: если  $K = K_i$ , то перейти к шагу 4.

Шаг 3. Продвижение: увеличить  $i := i + 1$  и перейти к шагу 2.

Шаг 4. Проверка данных: если  $i \leq N$ , то установить  $s := 1$  (успешный поиск); если  $i = N + 1$ , то установить  $s := 0$  (неуспешный поиск); перейти к шагу 5.

Шаг 5. Конец.

Этот алгоритм требует для работы  $t \sim 4c - 4s + 10$  ЕВ. Таким образом, получаем выигрыш по сравнению с предыдущим алгоритмом в случае  $c \geq 6$  для успешного поиска и  $N \geq 8$  – для неудачного.

В алгоритме последовательного поиска в упорядоченной таблице используется та же таблица записей  $R_1, R_2, \dots, R_N$ , ключи которых расположены в порядке возрастания  $K_1 < K_2 < \dots < K_N$ . Для ускорения работы алгоритма создается фиктивная запись  $R_{N+1}$  с ключом  $K_{N+1} = \infty > K$ .

Шаг 1. Инициализация: установить  $i := 1$ .

Шаг 2. Сравнение: если  $K \leq K_i$ , то перейти к шагу 4.

Шаг 3. Продвижение: увеличить  $i := i + 1$  и перейти к шагу 2.

Шаг 4. Равенство: если  $K = K_i$ , то установить  $s := 1$  (успешный поиск), иначе установить  $s := 0$  (неуспешный поиск); перейти к шагу 5.

Шаг 5. Конец.

В предположении, что все входные аргументы (ключи) равновероятны, этот алгоритм по скорости работы в случае успешного поиска аналогичен предыдущему алгоритму, а при неуспешном поиске – примерно вдвое быстрее.

**Алгоритмы бинарного поиска.** В реализации последовательного поиска время поиска в больших наборах данных можно значительно уменьшить, используя подход “разделяй и властвуй”. Для этого набор элементов необходимо разделить на две части, определить, к какой из двух частей принадлежит ключ поиска, и затем сосредоточить поиск именно на этой части. Это и есть алгоритм бинарного поиска (рис. 4).

Шаг 1. Инициализация: установить  $l := 1$ ,  $u := N$ .

Шаг 2. Получить середину: если  $K \subseteq R$  (имеется в таблице), то справедливо условие  $K_l \leq K \leq K_u$ ; если  $u < 1$ , то установить  $s := 0$ ; иначе следует установить  $i := \lceil (1+u)/2 \rceil$ , чтобы  $i$  соответствовало примерно середине рассматриваемой части таблицы.

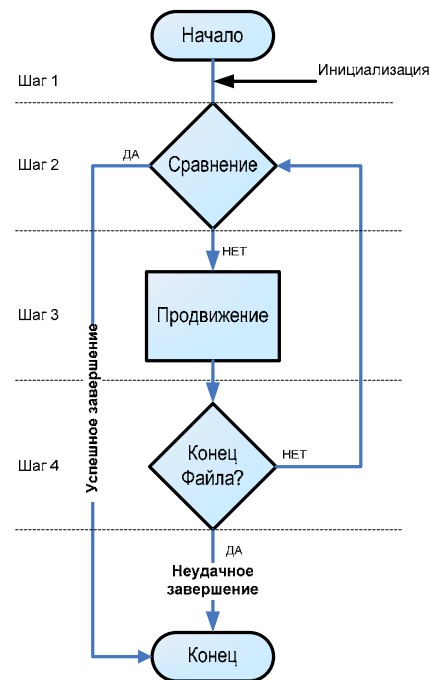


Рис. 3. Алгоритм последовательного поиска

Шаг 3. Сравнение: если  $K < K_i$ , то перейти к шагу 4, если  $K > K_i$ , то перейти к шагу 5. Иначе, если  $K = K_i$ , установить  $s := 1$  и перейти к шагу 6.

Шаг 4. Изменение  $l$ : установить  $l := i + 1$  и перейти к шагу 2.

Шаг 5. Изменение  $u$ : установить  $u := i - 1$  и перейти к шагу 2.

Шаг 6. Конец.

Время работы составляет  $t \sim (18c - 10s + 12)u$ , где  $c = c_1 + c_2$  – количество произведенных сравнений (количество выполнений шага 3) и  $s = 1/0$  при успешном/ неуспешном исходе поиска. Алгоритм как процедура поиска в виде бинарного дерева принятия решения для  $N = 16$  показан на рис. 5.

Для успешного поиска при  $2k - 1 \leq N \leq 2k$  требуется выполнить от 1 до  $k$  сравнений, а в случае неудачного поиска при  $2k - 1 \leq N \leq 2k - 1$  требуется выполнить  $k - 1$  либо  $k$  сравнений. В предположении, что все  $N$  ключей и все  $N + 1$  интервалы внутри и вне граничных значений равновероятны, среднее число сравнений при успешном ( $c_N$ ) и

неуспешном ( $c'_N$ ) поиске вычисляются так:  $c_N = 1 + \frac{l_a}{N}$ ,  $c'_N = \frac{l_{a'}}{N + 1}$ , где  $l_a$ ,  $l_{a'}$  – длина внутреннего и внешнего пути дерева соответственно. Отсюда следует, что длина внешнего пути всегда на  $2N$  больше длины внутреннего пути, и следующее соотношение:  $c_N = \left(1 + \frac{1}{N}\right)c'_N - 1$  [15]. Длина внешнего пути дерева бинарного поиска равна  $l_{a'} = (N + 1)(\lfloor \lg N \rfloor + 2) - 2^{\lfloor \lg N \rfloor + 1}$ . В общем случае при  $k = \lfloor \lg N \rfloor$  имеем  $c_N = k + 1 - (2^{k+1} - k - 2) / N = \lg N - 1 + \varepsilon + (k + 2) / N$ ,  $c'_N = k + 2 - 2^{k+1} / N = \lg(N + 1) + \varepsilon'$ , где  $\varepsilon \geq 0$ ,  $\varepsilon' < 0.0861$ . Приведенные формулы позволяют вычислить точные средние значения количества сравнений.

Из этих формул можно вычислить точные средние значения количества сравнений, полагая, что все аргументы поиска равновероятны.

$N =$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$C_N =$	1	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{2}{3}$	2	$2\frac{1}{5}$	$2\frac{2}{6}$	$2\frac{2}{7}$	$2\frac{5}{7}$	$2\frac{7}{9}$	$2\frac{11}{11}$	3	$3\frac{1}{12}$	$3\frac{2}{13}$	$3\frac{3}{14}$	$3\frac{4}{15}$	$3\frac{6}{16}$
$C'_N =$	1	$1\frac{2}{3}$	2	$2\frac{2}{5}$	$2\frac{4}{6}$	$2\frac{6}{7}$	3	$3\frac{2}{9}$	$3\frac{4}{10}$	$3\frac{6}{11}$	$3\frac{8}{12}$	$3\frac{10}{13}$	$3\frac{12}{14}$	$3\frac{14}{15}$	4	$4\frac{2}{7}$

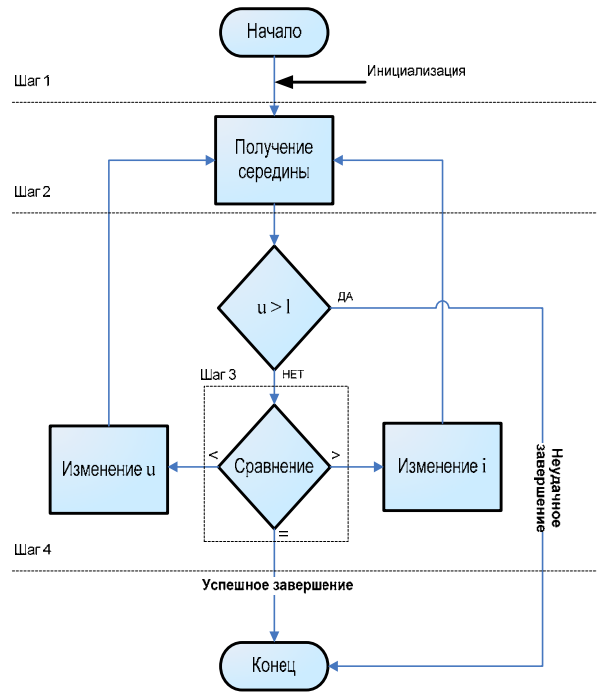


Рис. 4. Алгоритм бинарного поиска

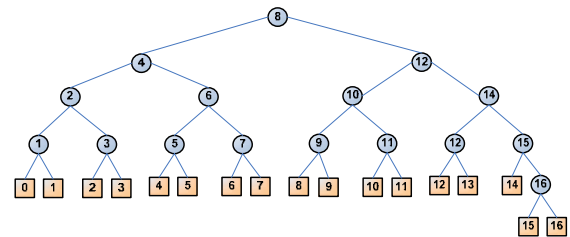


Рис. 5. Дерево сравнений

Итак, алгоритм бинарного поиска никогда не делает более  $\lg\lfloor N+1\rfloor+1$  сравнений, а среднее количество сравнений при успешном поиске составляет около  $\lg N - 1$ . Никакой другой алгоритм поиска, основанный на сравнении ключей, не может превзойти этот результат. Среднее время поиска с помощью бинарного метода составляет  $t \sim (18\lg N - 16)u$  ЕВ для успешного и  $t \sim (18\lg N + 12)u$  ЕВ для неуспешного поиска.

**Алгоритм однородного бинарного поиска.** Достоинство этого алгоритма заключается в том, что нет необходимости хранить количество записей, и нужна только ссылка на небольшую таблицу  $D$  на каждом уровне дерева, т.е.

используется вспомогательная таблица вместо вычислений  $D_j = \left\lfloor \frac{N + 2^{j-1}}{2^j} \right\rfloor$  для

$1 \leq j \leq \lfloor \lg N \rfloor + 2$ .

Шаг 1. Инициализация: установить  $i := D_1$ ,  $j := 2$ .

Шаг 2. Сравнение: если  $K < K_i$  перейти к шагу 3; если  $K > K_i$  перейти к шагу 4; если  $K = K_i$ , установить  $s := 1$  и перейти к шагу 5.

Шаг 3. Уменьшение  $i$ : если  $D_j = 0$ , установить  $s := 0$  и перейти к шагу 5. Иначе установить  $i := i - D_j$ ,  $j := j + 1$  и перейти к шагу 2.

Шаг 4. Увеличение  $i$ : если  $D_j = 0$ , установить  $s := 0$  и перейти к шагу 5. Иначе установить  $i := i + D_j$ ,  $j := j + 1$  и перейти к шагу 2.

Шаг 5. Конец.

Время работы алгоритма равно  $t \sim (8.5\lg N - 6)u$  при успешном и  $t \sim (8.5\lfloor \lg N \rfloor + 12)u$  при неуспешном поиске. Это более чем в два раза быстрее времени работы классического бинарного алгоритма.

Другая модификация бинарного поиска, предложенная L.E. Shar [16], работает еще быстрее, так как она однородна после первого шага и не требует использования таблицы. Первый шаг состоит в сравнении  $K$  и  $K_i$ , где  $i = 2k$ ,  $k = \lfloor \lg N \rfloor$ . Если  $K < K_i$ , то применяется однородный поиск с  $\delta = 2k - 1, 2k - 2, \dots, 1, 0$ . В случае  $K > K_i$  устанавливается  $i = i' = N + 1 - 2^l$ , где  $l = \lceil \lg(N - 2k + 1) \rceil$ , и используется бинарный поиск с  $\delta = 2^{l-1}, 2^{l-2}, \dots, 1, 0$ . Алгоритм Shar (а) никогда не выполняет больше  $\lfloor \lg N \rfloor + 1$  сравнений. Метод Шара для  $N = 10$  проиллюстрирован на рис. 6.

**Алгоритмы хеширования.** Рассмотренные выше алгоритмы основаны на сравнении аргумента  $K$  с ключами в таблице и для управления процессом разветвления. Идея хеширования состоит в использовании некоторой частичной информации из ключа, а именно вычисляется хек-адрес  $h(K)$ , который используется для поиска.

Применение хеширования требует решения двух задач – выбора хек-функции  $h(K)$  и способа разрешения коллизий ( $h(K_i) = h(K_j)$  при  $K_i \neq K_j$ ), которые могут возникнуть в реальных данных из-за избыточности ключей. Исследования показали хорошую работу двух основных типов хек – функций, один из которых основан на делении, где используется хек – функция  $h(K) = K \bmod M$  (остаток от деления), а другой – на умножении, где используется хек –

$$\text{функции } h(K) = \left[ M \left( \frac{A}{\varpi} K \right) \bmod 1 \right].$$

В методе деления следует избегать значений  $M$ , делящих на  $r^k \pm \alpha$ , где  $k$  и  $\alpha$  – небольшие числа, а  $r$  – набор используемых ASCII-символов ( $r = 256$ ), так как остаток от деления по модулю на такие значения  $M$  зачастую представляет собой простую суперпозицию цифр ключа.

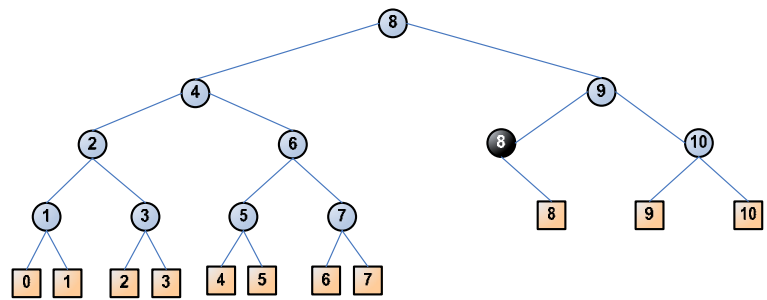


Рис. 6. Дерево сравнений по методу Шара при  $N=10$

В качестве  $M$  лучше всего использовать такие простые числа, что  $r^k \neq \pm \alpha$  (по модулю  $M$ ).

Если предположить, что  $\varpi$  – размер машинного слова компьютера, то метод, основанный на умножении (мультипликативная схема хеширования), состоит в выборе некоторой целой константы  $A$ , взаимно простой с  $\varpi$ , где в качестве  $M$  используется степень двойки, так что  $h(K)$  состоит из старших битов правой половины произведения  $A \cdot K$ . Проблемы коллизий при поиске решаются путем формулирования правила, согласно которому по заданному ключу  $K$  определяется последовательность позиций таблицы, которая должна быть просмотрена, например, класс методов открытой адресации [17].

В простой схеме открытой адресации (линейное зондирование) используется циклическая последовательность проверок  $h(K), h(K)-1, \dots, 0, M-1, M-2, \dots, h(K)+1$  для поиска заданного ключа  $K$  в таблице с  $M$  узлами  $T_i$ ,  $0 < i < M$  (допускаются два типа узлов – пустые и занятые). Если  $K$  отсутствует в таблице и таблица не полна, ключ  $K$  будет вставлен в таблицу. В занятых узлах содержатся ключи  $K_i$  и, возможно, другие поля. Переменная  $N$  применяется для отслеживания занятых узлов, входит в таблицу и увеличивается на единицу при каждой вставке нового ключа. Алгоритм использует хеш-функцию  $h(K)$  и линейную последовательность проб для адресации таблицы.

Шаг 1. Хеширование: установить  $i := h(K)$ .

Шаг 2. Сравнение: если узел  $T_i$  пуст, то перейти к шагу 4; если  $K_i = K$ , установить  $s := 1$  и перейти к шагу 5.

Шаг 3. Переход к следующему узлу: установить  $i := i-1$ , и если  $i < 0$ , установить  $i := i+M$  и перейти к шагу 2.

Шаг 4. Вставка: если  $N = M-1$ , то установить  $s := 0$  (завершение в связи с переполнением); иначе – установить  $N := N+1$ , пометить узел  $T_i$  как занятый и установить  $K_i := K$ .

Шаг 5. Конец.

Как было показано Кнудом [14], среднее количество сравнений, выполняемое алгоритмом при неудачном поиске  $\tilde{n}'_N \approx \frac{1}{2} \left( 1 + \left( \frac{1}{1-\alpha} \right)^2 \right)$  и

$$\tilde{n}_N \approx \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{1}{1-\alpha} \right) - \text{при успешном поиске, где } \alpha \rightarrow 1.$$

На рис. 8 показан график ожидаемого количества зондирований, требуемых для обнаружения попаданий и промахов при поиске с использованием линейного зондирования.

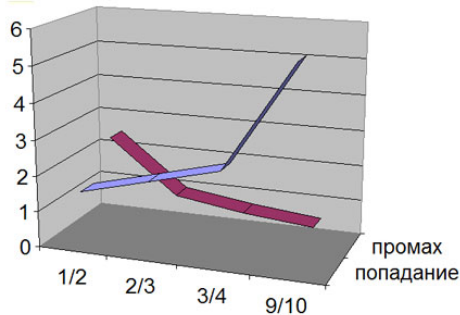


Рис. 7. Ожидаемое количество зондирований

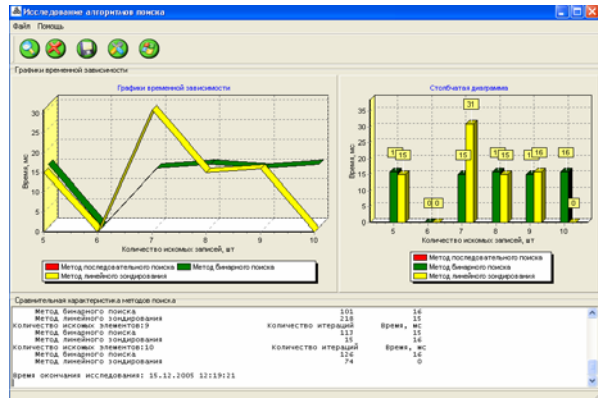


Рис. 8 Рабочая область программы

**Эмпирический метод.** Если обозначить  $q_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, p$  – алгоритмы поиска,  $t_{q_j}^i$  – оценка времени поиска алгоритма  $q_j$  по  $u$  случайным выборкам данных из существующей БД, то эффективный алгоритм поиска будет соответствовать такому минимальному времени  $t_0 = \min \left\{ \frac{1}{u} \sum_{i=1}^u t_{q_j}^i \right\}_{j=1}^p$  поиска.

Поэтому предложен такой эмпирический метод анализа эффективности алгоритмов поиска [13].

Шаг 1. Инициализация: установить количество выборок  $u := \text{var}(N)$ ,  $i := 0$  и  $j := 0$ .

Шаг 2. Выбрать ключ: по условию  $K_1 \leq K \leq K_N$ .

Шаг 3. Сравнение: установить  $i := i + 1$  и если  $i > u$ , то перейти к шагу 6.

Шаг 4. Метод: установить  $j := j + 1$ ; выбрать метод  $q_j$  и оценить время поиска  $t_{q_j}^i$ .

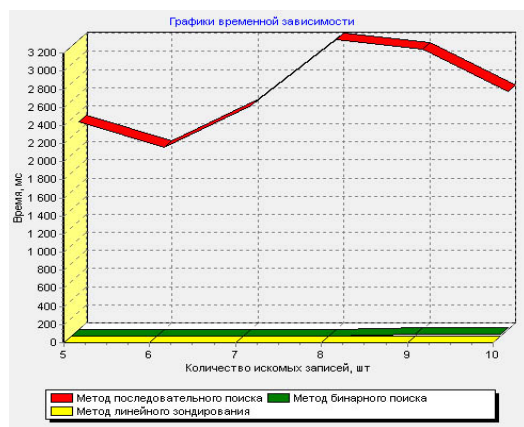
Шаг 5. Сравнение: если  $j < p$ , то перейти к шагу 4; иначе перейти к шагу 3.

Шаг 6. Оценка:  $t_0 = \min \left\{ \frac{1}{u} \sum_{i=1}^u t_{q_j}^i \right\}_{j=1}^p$  и определить эффективный алгоритм.

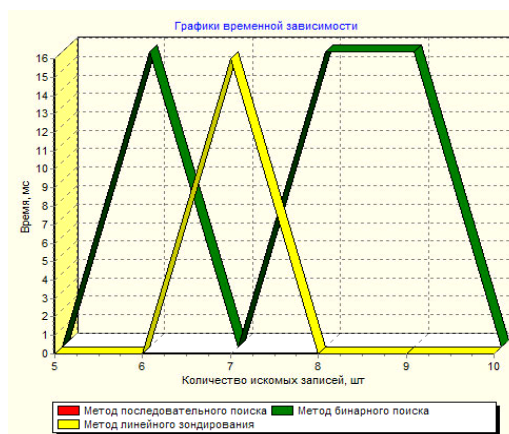
Шаг 7. Конец.

Реализована программа, которая позволяет оценивать эффективность алгоритмов поиска (линейного зондирования, последовательного и бинарного поиска и др.) по нескольким случайным выборкам данных неизвестной структуры из существующих БД (рис. 8). Она также позволяет подключать любые другие модули, реализующие другие алгоритмы поиска.

Программа позволяет выбирать эффективный вариант поиска для использования в конкретной ранее созданной БД. На рис. 8 показано, как задаются параметры исследования, по которым будет происходить поиск, а на рис. 9, а и б – результаты работы программы.



а



б

Рис. 9. Результат исследования алгоритмов поиска

В таблице показана эффективность алгоритмов поиска. Очевидно, что поиск алгоритмом линейного зондирования при  $N=10$  является наиболее эффективным.

№ п/п	Количество искомых элементов	Количество итераций				Время, мс	
		метод последовательного поиска	метод бинарного поиска	метод линейного зондирования	Метод последовательного поиска	метод бинарного поиска	метод линейного зондирования
1	Подготовка данных	10000	10000	379808	3344	3281	3016
2	5	28795	62	180	2297	0	0
3	6	25481	73	9	2015	0	0
4	7	31809	88	119	2469	0	0
5	8	40587	99	92	3203	0	0
6	9	36949	111	6	3094	16	0
7	10	32888	125	47	2625	16	0

### Выводы

1. Показано, что для современных приложений актуальным является вопрос определения эффективности алгоритмов поиска в ранее созданных БД. Сформулирована постановка задачи создания эмпирического метода.

2. Показано, что для исключения петель и зацикливаний пространство поиска необходимо представлять древовидной структурой, что в итоге сокращает время поиска.

3. Рассмотрены алгоритмы поиска, применяемые в компьютерах общего назначения. Показано, что их эффективность зависит от структуры данных.

4. Предложен эмпирический метод определения эффективности алгоритмов поиска. Разработана программа, которая позволяет сравнивать различные алгоритмы поиска по нескольким случайным выборкам данных из ранее созданных БД неизвестной структуры.

5. Перспективным направлением исследований является развитие эмпирических методов определения эффективности поиска для современных приложений, например для поисковых систем в Internet.

## Список литературы

1. Зінченко В.П. Автоматизовані інформаційні системи Центральної виборчої комісії// Перспективні засоби обчислювальної техніки та інформатики. – К.: НАН України, Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова, 1999. – С. 110 – 112.
2. Зінченко В.П., Шестаков О.В. Проект державної інформаційної системи державних суб'єктів України (Вибори): Свідоцтво про державну реєстрацію прав автора та твор. – ПА № 1868. – К.: Держ. Агентств. України з автор. і суміж. прав, 1999. – 1 с.
3. Зінченко В.П. Інформаційна технологія проектних досліджень складних технічних об'єктів // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2000. – № 4. – С. 32 – 42.
4. Зинченко В.П., Муха И.П. Информационная технология дренажных испытаний моделей летательных аппаратов // УСиМ, 2002. – № 5. – С. 13 – 18.
5. Зинченко В.П. Проектные исследования сложных технических объектов как система управления // Засоби комп'ютерної техніки з віртуальними функціями і нові інформаційні технології. – К.: НАН України, Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова, 2002. – Т. 2. – С. 28 – 36.
6. Zinchenko V.P., Zinchenko N.P. Designing a component of information technology of strain-gauge experimental researches // Proceedings of NAU, 2005. – №2 (24). – С. 21 – 24.
7. Зинченко В.П., Абрамов Ю.В., Борисов В.В. Средства и методы управления проектной информацией при создании сложных технических объектов// Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: Гос. аэрокосм. ун-т “ХАИ”, 2001. – Вып. № 9. – С. 17 – 29.
8. Электронный документооборот: средства и методы / Зинченко В.П., Зинченко С.В., Борисов В.В. и др. // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: Гос. аэрокосм. ун-т “ХАИ”. – 2001. – Вып. 10. – С. 165 – 177.
9. Зинченко В.П., Зинченко С.В. Мобильные интеллектуальные системы и их применение // IV Междунар. конф. “Гиротехнологии, навигация, управление движением и конструирование авиационно-космической техники”: Сб. докл.: В 2 ч. – К.: НТУУ “КПИ”, 2003. – Ч. II. – С. 296 – 305.
10. Зинченко В.П. Показатели качества базового программного обеспечения, методы их измерения и оценки // Интеллектуальные информационно-аналитические системы и комплексы. – К.: НАН України, Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова, Науч. совет по проблеме “Киббернетика”, 2000. – С. 142 – 161.
11. Седжвик Р. Фундаментальные алгоритмы программирования на С++. Анализ/ Структуры данных/ Сортировка/ Поиск. – К.: Диасофт, 2001. – 688 с.
12. Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ. – М.: Мир, 1978. – Т. 3. – 844 с.
13. The analysis of tasks of search in difficult structures of the data / Zinchenko V., Zinchenko S. Geraimchuk M. and others. // International scientific conference UNITECH'06. – Gabrovo: Technical university of Gabrovo, 2006.
14. Thomas B. Explorer's Guide to the Semantic Web. // Manning Publications Co., 2004. – P.304.
15. Peterson W.W. IBM J. Research & Development 1. // IBM Press, 1958. – P. 130-146.
16. Hibbard T.N.// JACM 9, 1962. – P. 16-17.
17. <http://www.support@abok.ru>

## **Двойная дифференциальная коррекция кодовых псевдодальностей, их разностей по навигационным космическим аппаратам в региональной системе координатно-временного обеспечения потребителей**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»  
Харьковский институт экономики и бизнеса*

### **Введение**

Спутниковые радионавигационные системы GPS, ГЛОНАСС в настоящее время широко используются для решения задач управления движением транспортных средств, задач координатно-временного обеспечения потребителей.

Опыт практического применения таких систем убеждает в том, что их потенциальные точностные характеристики не достигаются из-за наличия систематических, медленноменяющихся погрешностей измерения псевдодальностей, которые обусловлены, главным образом, атмосферной рефракцией и погрешностями в знании векторов состояния навигационных космических аппаратов.

В целях радикального ослабления систематических погрешностей измерения псевдодальностей используются радиоэлектронные комплексы локальных, региональных и широкозонных контрольных станций.

Более эффективны комплексы локальной коррекции псевдодальностей, но зона действия локальной контрольной станции, как правило, не превышает нескольких десятков километров. А для навигационных космических аппаратов с малыми углами возвышения над плоскостью горизонта (менее 15 градусов) размер зоны действия контрольной станции уменьшается до единиц километров.

В радиоэлектронных комплексах широкозонной дифференциальной коррекции обеспечивается радикальное ослабление погрешностей в знании координат, составляющих вектора скорости навигационных космических аппаратов, частотно-временных смещений в бортовых эталонах времени и частоты. Данные погрешности были особенно большими в условиях применения режима селективного доступа. Широкозонные контрольные станции, оборудованные двухчастотными приемниками сигналов навигационных космических аппаратов, позволяли также оперативно оценивать состояние ионосферы и использовать данные оценки для формирования корректирующей информации для одночастотных приемников.

С середины 90-х годов внимание специалистов привлечено к разработке региональных комплексов контрольных станций. Идея региональной дифференциальной коррекции псевдодальностей была высказана в работе [1]. Здесь было показано, что пространственное поле погрешностей измерения псевдодальностей в регионе можно аппроксимировать плоскостью, ориентация которой характеризуется тремя параметрами. В дальнейшем в [2] дана статистическая трактовка задачи, а также сделано обобщение на использование квадратичного отрезка полинома Тейлора в трехмерном пространстве [3].

**В последнее время** широкое распространение получила региональная коррекция двойных разностей фазовых псевдодальностей. Разработаны пакеты программ, позволяющие реализовать сантиметровый уровень погрешностей оценок



координат как стационарных, так и мобильных объектов. Наиболее часто применяется двумерное представление поля погрешностей. При этом достаточно иметь три контрольные станции для оценки двух параметров ориентации поля погрешностей. В литературе отмечается, что такая технология успешно применяется при расстояниях между контрольными станциями, которые не превышают 50–60 километров. Кроме того, мобильный приемник должен находиться внутри области, ограниченной базовыми линиями.

В ряде приложений (строительство, межевание земель в сельской местности, планировка лесных массивов и др.) достаточно оценивать координаты с дециметровым уровнем погрешностей.

**Представляет интерес** выполнение анализа эффективности применения региональной коррекции **кодовых** псевдодальностей в сравнительно большом регионе при минимальном количестве контрольных станций.

Ниже кратко рассматривается структура спутниковой региональной системы координатно-временного обеспечения потребителей, излагается сущность двойной дифференциальной коррекции кодовых псевдодальностей и их разностей по навигационным космическим аппаратам (НКА). Далее конспективно описывается методика оценки вектора состояния приемника с учетом применения корректирующей информации, а также приводятся соображения по методике оценки эффективности коррекции кодовых псевдодальностей.

В целях количественной оценки эффективности применения двойной дифференциальной коррекции кодовых псевдодальностей, их разностей по НКА выполнено имитационное моделирование региональной системы применительно к Харьковской области.

Исследование выполнено в рамках **проекта 2167 УНТЦ**.

## **1. Структура спутниковой региональной системы координатно-временного обеспечения потребителей**

Спутниковая региональная система координатно-временного обеспечения потребителей включает:

- главную контрольную станцию, центр сбора и обработки информации;
- периферийные контрольные станции;
- пункты контроля качества корректирующей информации.

Для определения параметров ориентации плоского поля погрешностей измерения кодовых псевдодальностей в трехмерном пространстве необходимо иметь одну главную и три периферийные контрольные станции. Координаты антенн контрольных станций, пунктов контроля качества корректирующей информации полагаются известными на сантиметровом уровне погрешностей. Шкалы времени контрольных станций, пунктов контроля качества корректирующей информации синхронизированы со шкалой времени системы GPS с погрешностью порядка сотен наносекунд, хотя фактические расхождения шкал времени могут быть в пределах 0, 5 мс.

Контрольные станции связаны каналами двухсторонней связи с главной контрольной станцией, на которой осуществляются формирование корректирующей информации и ее последующая передача потребителям.

Пункты контроля качества корректирующей информации призваны оценить качество коррекции как на уровне измерений псевдодальностей или их разностей

по НКА, так и на уровне оценок своего вектора состояния (координат и частотно-временных смещений).

## 2. Двойная дифференциальная коррекция кодовых псевдодальностей и их разностей по навигационным космическим аппаратам

Источником информации для дифференциальной коррекции кодовых псевдодальностей являются измеренные на контрольных станциях разности наблюдаемых  $u_{kj\alpha}$  и расчетных  $\tilde{D}_{kj\alpha}$  псевдодальностей:

$$\delta u_{kj\alpha} = u_{kj\alpha} - \tilde{D}_{kj\alpha}, \quad (1)$$

где  $k$  - индекс дискретного времени,  
 $j$  - номер навигационного космического аппарата,  
 $\alpha$  - номер контрольной станции.

Локальная (одинарная) дифференциальная коррекция кодовой псевдодальности сводится к вычитанию полной погрешности измерения псевдодальности, определенной на контрольной станции, из наблюдаемой псевдодальности в аппаратуре потребителя. Эффективность такой коррекции существенно уменьшается по мере удаления потребителя от контрольной станции.

Двойная дифференциальная коррекция кодовых псевдодальностей предполагает наличие пространственной корреляции полных погрешностей измерения кодовых псевдодальностей в регионе.

Для такой коррекции сначала находят параметры ориентации поля погрешностей в пространстве. В простейшем случае оценка вектора  $\hat{\lambda}_{kj}^T = (\hat{a}_{kj}, \hat{b}_{kj}, \hat{c}_{kj})$  параметров ориентации плоского поля погрешностей определяется выражением

$$\hat{\lambda}_{kj} = \underline{C}^{-1} \cdot \Delta \delta \vec{u}_{kj}, \quad (2)$$

где

$$\underline{C} = \begin{bmatrix} x_1 - x_0 & y_1 - y_0 & z_1 - z_0 \\ x_2 - x_0 & y_2 - y_0 & z_2 - z_0 \\ x_3 - x_0 & y_3 - y_0 & z_3 - z_0 \end{bmatrix}; \quad (3)$$

$x_i, y_i, z_i$  - координаты антенн контрольных станций ( $i = 0, 1, 2, 3$ );

$$\Delta \delta \vec{u}_{kj} = \begin{pmatrix} \delta u_{kj1} - \delta u_{kj0} \\ \delta u_{kj2} - \delta u_{kj0} \\ \delta u_{kj3} - \delta u_{kj0} \end{pmatrix}$$

(4)

вектор разностей по контрольным станциям полных погрешностей измерения кодовых псевдодальностей.

При обработке кодовых псевдодальностей в аппаратуре потребителей имеется возможность определить его координаты и смещение шкалы времени относительно системного времени. Если задача заключается только в определении координат потребителя, то в качестве исходных измерений можно использовать разности наблюдаемых кодовых псевдодальностей по навигационным космическим аппаратам  $\nabla u_{kjl} = u_{kj} - u_{kl}$ , причем индексом (1) отмечен опорный навигационный космический аппарат (как правило, это навигационный космический аппарат с наибольшим углом возвышения над горизонтом).

Вектор параметров ориентации поля погрешностей измерения разностей по НКА кодовых псевдодальностей  $\hat{\lambda}_{kj(1)}^T = (\hat{a}_{kj(1)}, \hat{b}_{kj(1)}, \hat{c}_{kj(1)})$  определяется выражением

$$\hat{\lambda}_{kj(1)} = \underline{C}^{-1} \cdot \Delta \nabla \delta \bar{u}_{kj(1)}, \quad (5)$$

где

$$\Delta \nabla \bar{u}_{kj(1)} = \begin{pmatrix} \delta \nabla u_{kj(1)1} - \delta \nabla u_{kj(1)0} \\ \delta \nabla u_{kj(1)2} - \delta \nabla u_{kj(1)0} \\ \delta \nabla u_{kj(1)3} - \delta \nabla u_{kj(1)0} \end{pmatrix}; \quad (6)$$

$$\delta \nabla u_{kj(1)\alpha} = (u_{kj\alpha} - \tilde{D}_{kj\alpha}) - (u_{k(1)\alpha} - \tilde{D}_{k(1)\alpha}) = \delta u_{kj\alpha} - \delta u_{k(1)\alpha}; \quad (\alpha = 0, 1, 2, 3). \quad (7)$$

Фактически здесь используются двойные разности кодовых псевдодальностей (как по навигационным космическим аппаратам, так и по контрольным станциям).

С учетом корреляции поля погрешностей по времени целесообразно находить осредненные оценки параметров ориентации поля на интервале постоянства параметров. Это существенно снижает влияние случайных погрешностей в исходных наблюдениях. Несколько более сложный алгоритм оценки параметров ориентации поля погрешностей, приведенный в работе [4], учитывает взаимную корреляцию случайных погрешностей в наблюдаемых разностях по контрольным станциям.

Двойная дифференциальная коррекция кодовых псевдодальностей формируется суммированием погрешности главной контрольной станции с дополнительным слагаемым, определяемым с применением оценок параметров ориентации поля погрешностей и приближенных координат потребителя  $x_r, y_r, z_r$ :

$$dd \tilde{D}_{kj_r} = \delta u_{kj0} + \hat{a}_{kj} \cdot (x_r - x_0) + \hat{b}_{kj} \cdot (y_r - y_0) + \hat{c}_{kj} \cdot (z_r - z_0). \quad (8)$$

Аналогичное выражение используется для формирования двойной дифференциальной коррекции разностей кодовых псевдодальностей по НКА:

$$dd \nabla \tilde{D}_{kj(1)_r} = \delta \nabla u_{kj(1)0} + \hat{a}_{kj(1)} \cdot (x_r - x_0) + \hat{b}_{kj(1)} \cdot (y_r - y_0) + \hat{c}_{kj(1)} \cdot (z_r - z_0). \quad (9)$$

Для оценки эффективности дифференциальной коррекции предлагается использовать результаты обработки данных в пунктах контроля качества корректирующей информации. Эффективность локальной (одинарной) коррекции может быть определена уровнем остаточной погрешности, получаемой вычитанием погрешности главной контрольной станции из погрешности, определенной в данном пункте контроля. Эффективность региональной (двойной) коррекции предлагается оценить величиной остаточной погрешности, получаемой вычитанием погрешности «виртуальной контрольной станции» (8) из погрешности, определенной в пункте контроля качества. Представляется целесообразным находить средние (на интервале постоянства параметров ориентации поля погрешностей) значения остаточных погрешностей.

Наибольшее внимания заслуживает оценка эффективности коррекции псевдодальностей или их разностей по НКА по степени уменьшения полных погрешностей определения вектора состояния потребителя. Как правило, для оценки вектора состояния потребителя используется алгоритм фильтра Калмана. Такой алгоритм функционирует в реальном масштабе времени, используя выборку наблюдений нарастающего объема. Начальной оценкой вектора состояния потребителя служит оценка, полученная методом максимального правдоподобия.

### **3. Программное обеспечение имитационной модели спутниковой региональной системы координатно-временного обеспечения потребителей**

Имитационная модель региональной системы реализуется пакетом прикладных программ, позволяющих решать ряд частных задач.

**Программа SatWatcher** решает задачу планирования сеанса навигационных измерений, выбора рабочего созвездия навигационных космических аппаратов GPS, а также задачу расчета координат и составляющих вектора скорости рабочих НКА в пределах выбранного сеанса связи с заданным шагом дискретности по времени. Исходной информацией при этом служат альманахи параметров орбит НКА GPS и координаты главной контрольной станции.

**Программа CorWin** позволяет вычислить систематические медленноменяющиеся погрешности измерения кодовых псевдодальностей и фазовых псевдоскоростей, обусловленных тропосферной и ионосферной рефракцией, а также погрешностями в знании векторов состояния рабочих НКА. Исходными данными для этой программы служат:

- геодезические координаты контрольных станций и пунктов контроля качества корректирующей информации;
- параметры модели тропосферной рефракции;
- параметры модели ионосферной рефракции;
- файл с погрешностями в знании векторов состояния рабочих НКА.

**Программа Att3\_5m** решает задачу оценки вектора состояния неподвижного потребителя методом фильтра Калмана по измерениям кодовых псевдодальностей и фазовых псевдоскоростей относительно четырех НКА с учетом наличия систематических медленноменяющихся погрешностей измерения кодовых псевдодальностей и фазовых псевдоскоростей. Программа поддерживает два режима обработки данных. При обработке четырех псевдодальностей и четырех псевдоскоростей определяются пять элементов вектора состояния неподвижного потребителя: три координаты, погрешность шкалы времени и погрешность частоты опорного генератора. При обработке трех разностей псевдодальностей по НКА и трех разностей псевдоскоростей определяются только координаты потребителя.

Выходной информацией при этом являются:

- файл калмановских оценок вектора состояния приемника;
- файл полных и среднеквадратических погрешностей оценок вектора состояния приемника;
- файл измеряемых псевдодальностей и псевдоскоростей относительно четырех НКА (или файл измеряемых разностей по НКА псевдодальностей и псевдоскоростей);
- файл наблюдаемых псевдодальностей и псевдоскоростей относительно четырех НКА (или файл наблюдаемых разностей по НКА псевдодальностей и псевдоскоростей).

При формировании наблюдаемых псевдодальностей, псевдоскоростей (или их разностей по НКА) учитываются систематические погрешности измерения, а также случайные погрешности с заданным уровнем среднеквадратических отклонений.

При формировании псевдодальностей и псевдоскоростей использовалась модель частотно-временных флуктуаций в дискретном времени [3], параметры которой вводятся с редактируемого экрана.

Отдельная программа **Subest** позволяла вычислить расстояние между двумя приемниками с использованием файлов калмановских оценок их координат, а также эталонных значений координат.

Основной программой, формирующей двойную дифференциальную корректирующую информацию для кодовых псевдодальностей или их разностей по НКА, является программа **MAC4**. Программа учитывает работу четырех контрольных станций для оценки параметров ориентации пространственного поля погрешностей измерения кодовых псевдодальностей или их разностей по НКА, а также вычисляет корректирующую информацию для одного пункта контроля качества корректирующей информации. Для этого пункта определяется и остаточная погрешность в наблюдениях кодовых псевдодальностей для текущего момента времени и в среднем за сеанс.

В данной программе предусмотрены два варианта оценки параметров ориентации пространственного поля погрешностей. В первом варианте эти параметры определялись по полной выборке данных за сравнительно короткий интервал времени методом максимального правдоподобия. Во втором варианте эти оценки находились рекуррентно по выборке нарастающего объема. Параметры ориентации пространственного поля полагались неизменными в рассматриваемом интервале времени, но на график выводились оценки данных параметров на текущие моменты времени.

Входными данными для программы MAC4 служат файлы измеряемых и наблюдаемых псевдодальностей и псевдоскоростей (или их разностей по НКА), являющиеся выходными файлами программы Att3\_5m.

Для анализа эффективности двойной дифференциальной коррекции кодовых псевдодальностей (или их разностей по НКА) на уровне оценок вектора состояния неподвижного потребителя вновь использовалась программа Att3\_5m, но вместо систематических погрешностей измерений псевдодальностей использовались остаточные погрешности этих измерений (из выходных файлов программы MAC4).

#### **4. Исходные данные имитационного моделирования региональной системы координатно-временного обеспечения потребителей в Харьковской области**

Моделируемая региональная система включает четыре контрольные станции, расположенные в районах Харькова, Великого Бурлука, Краснокутска и Лозовой. Кроме того, имеются контрольные станции, выполняющие роль пунктов контроля качества корректирующей информации. В табл. 1 содержатся координаты антенн станций, а также расстояния до главной контрольной станции в Харькове.

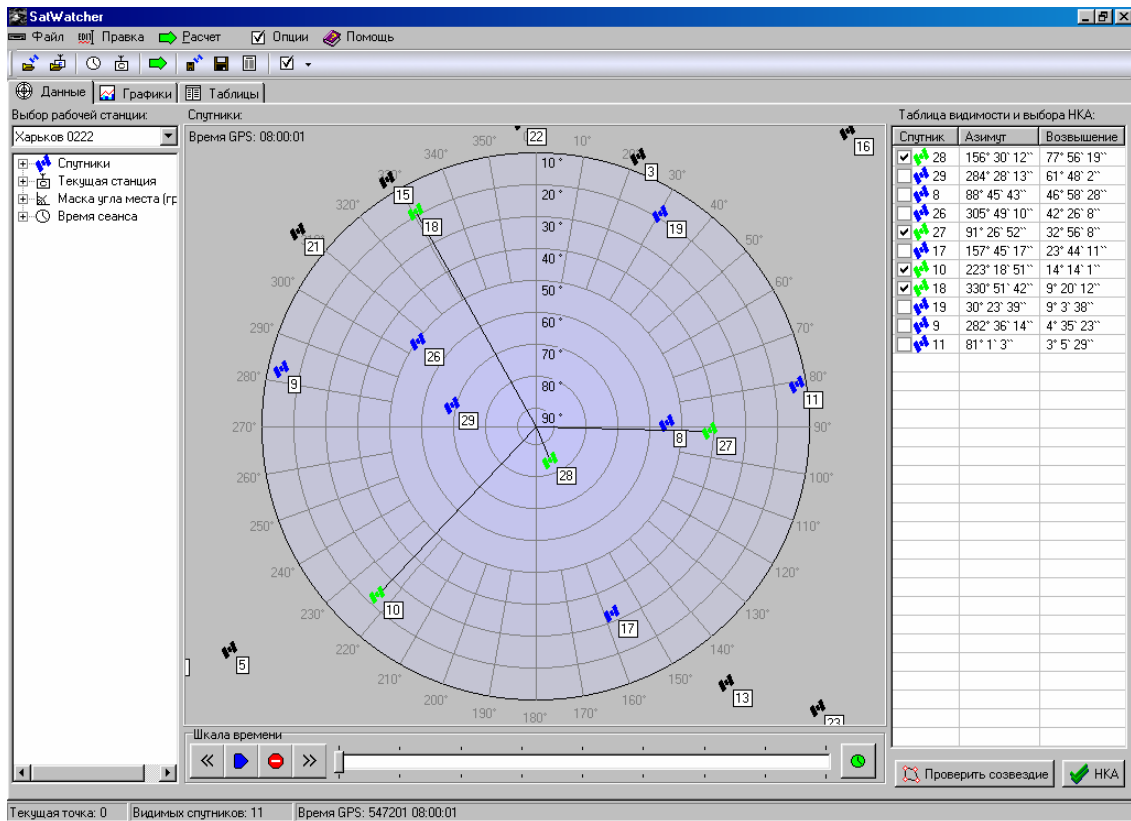
Сеанс навигационных измерений выбран на 21.10.2006 г. с 08.00.00 до 08.02.00 по шкале времени системы GPS. На рисунке показана навигационная обстановка в Харькове на 08.00.00. Рабочее созвездие навигационных космических аппаратов включает аппараты с бортовыми номерами 28, 27, 10, 18. Угловые координаты НКА приведены в верхней правой части рисунка.

Для расчета систематических погрешностей измерения псевдодальностей и псевдоскоростей с использованием известных моделей тропосферной и ионосферной рефракции применялись параметры обстановки, приведенные в табл. 2. Погрешности в знании векторов состояния НКА представлены в табл. 3.

Таблица 1

Дислокация контрольных станций и пунктов контроля качества корректирующей информации в Харьковской области

Номер РКС, ПКК	Район	B	L	H, м	D, км
0	Харьков	50° 02'	36° 17'	200	0
1	Великий Бурлук	50° 03'	37° 23'	200	78,067
2	Краснокутск	50° 03'	35° 10'	230	80,717
3	Лозовая	48° 52'	36° 15'	160	130,086
4	Староверовка	49° 32'	35° 45'	205	68,880
5	Балаклея	49° 28'	36° 53'	220	76,908
6	Змиев	49° 40'	36° 21'	210	42,047
7	Чугуев	45° 50'	36° 42'	190	37,351
8	Купянск	49° 41'	37° 38'	210	104,306
9	Шевченково	49° 42'	37° 10'	180	73,450
10	Первомайский	49° 22'	36° 15'	190	75,283
11	Богодухов	50° 03'	35° 31'	220	55,649



Навигационная обстановка в Харькове 21.10.2006 г. на 08.00.00 GPST

При моделировании наблюдаемых псевдодалей случайные погрешности имели среднеквадратическое отклонение порядка 0,3 м, а среднеквадратическая погрешность измерения псевдоскоростей составляла величину 0,01 м/с .

Таблица 2

Параметры обстановки в регионе Харьковской области 21.10.2006

Номер РКС, ПКК	P, Па	T, °C	HM, %	H <sub>1</sub> , км	H <sub>2</sub> , км	N <sub>max</sub> , 10 <sup>11</sup> 1/м <sup>3</sup>	H <sub>T</sub> , км	H <sub>0</sub> , м
<b>0</b>	<b>101300</b>	<b>7</b>	<b>80</b>	<b>325</b>	<b>225</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>200</b>
<b>1</b>	<b>101200</b>	<b>8</b>	<b>90</b>	<b>325</b>	<b>225</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>200</b>
<b>2</b>	<b>101150</b>	<b>9</b>	<b>70</b>	<b>325</b>	<b>225</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>230</b>
<b>3</b>	<b>101100</b>	<b>11</b>	<b>75</b>	<b>325</b>	<b>225</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>160</b>
4	101050	10	85	325	225	5	7	205
5	101070	8	80	325	225	5	7	220
6	101035	8	85	325	225	5	7	210
7	101045	7	70	325	225	5	7	190
8	101024	8	75	325	225	5	7	210
9	101010	6	70	325	225	5	7	180
10	101250	9	88	325	225	5	7	190
11	101220	8	85	325	225	5	7	220

Таблица 3

Погрешности в знании векторов состояния НКА рабочего созвездия

Номер НКА	$\Delta x$ , м	$\Delta y$ , м	$\Delta z$ , м	$\Delta V_x$ , см/с	$\Delta V_y$ , см/с	$\Delta V_z$ , см/с	$\Delta \delta t$ , нс	$\Delta \delta f$ , Гц
28	2	2	54	2,5	1,5	3,5	20	0,2
27	3	3	1,9	4,5	3,5	2,5	16	0,1
10	5	3,2	1,6	2	1,5	1,5	10	0,4
18	4,5	3,4	2,5	3,8	3,6	4,5	12	0,5

## 5. Основные результаты моделирования региональной системы

В табл. 4 приведены средние за сеанс длительностью 120 с при дискретности во времени 1 с полные погрешности наблюдаемых псевдодалей. Выходные файлы программы CorWin содержат информацию о тропосферных, ионосферных и эфемеридных (орбитальных) погрешностях измерения кодовых псевдодалей. Выходные файлы программы CorWin содержат также частные и суммарные погрешности в измерениях псевдоскоростей, которые могут быть использованы при решении задачи локальной или региональной коррекции псевдоскоростей.

По наблюдаемым погрешностям измерения кодовых псевдодалей на четырех контрольных станциях найдены параметры ориентации пространственных полей погрешностей измерения кодовых псевдодалей, которые представлены в табл. 5. В программе Mac4 предусмотрена полиномиальная предвари-

тельная обработка наблюдаемых псевдодальностей на скользящем интервале времени наблюдения заданной длительности для уменьшения уровня случайных погрешностей измерения псевдодальностей.

Таблица 4

Средние за сеанс полные погрешности измерения псевдодальностей (м)

Номер РКС, ПКК	НКА 28	НКА 27	НКА 10	НКА 18
<b>0</b>	<b>18,747</b>	<b>24,043</b>	<b>34,339</b>	<b>32,700</b>
<b>1</b>	<b>18,809</b>	<b>24,888</b>	<b>35,011</b>	<b>33,418</b>
<b>2</b>	<b>18,776</b>	<b>24,257</b>	<b>34,060</b>	<b>32,307</b>
<b>3</b>	<b>18,745</b>	<b>24,041</b>	<b>33,547</b>	<b>34,214</b>
4	18,854	24,295	34,159	33,598
5	18,706	23,780	33,959	33,301
6	18,735	24,034	34,124	33,220
7	18,780	23,970	34,399	33,100
8	18,745	23,804	34,696	33,884
9	18,773	23,868	34,523	33,541
10	18,757	24,051	33,980	33,763
11	18,817	24,329	34,207	32,552

Таблица 5

Средние за сеанс параметры ориентации пространственного поля погрешностей измерения кодовых псевдодальностей для рабочих НКА

Номер НКА	$\hat{a} \cdot 10^4$	$\sigma_a \cdot 10^5$	$\hat{b} \cdot 10^4$	$\sigma_b \cdot 10^5$	$\hat{c} \cdot 10^4$	$\sigma_c \cdot 10^5$
28	-2,572	1,586	-1,889	1,165	-3,754	2,311
27	-0,358	1,322	-0,290	0,971	-0,536	1,926
10	-1,596	1,595	-1,088	1,171	-2,169	2,323
18	-1,736	1,549	-1,178	1,138	-2,624	2,257

При использовании разностей псевдодальностей по НКА опорным выбран НКА №28 (зенитный). В табл. 6 даны параметры ориентации полей погрешностей измерения разностей кодовых псевдодальностей в трехмерном пространстве.

Таблица 6

Средние за сеанс параметры ориентации пространственного поля погрешностей измерения разностей кодовых псевдодальностей по НКА

Номер пары НКА	$\hat{a} \cdot 10^4$	$\sigma_a \cdot 10^5$	$\hat{b} \cdot 10^4$	$\sigma_b \cdot 10^5$	$\hat{c} \cdot 10^4$	$\Sigma_c \cdot 10^5$
28-27	2,475	2,886	1,833	2,119	3,634	4,204
28-10	4,120	2,931	2,935	2,153	5,857	4,270
28-18	4,347	2,369	3,112	1,740	6,469	3,452



Табл. 7 и 8 содержат остаточные погрешности в наблюдаемых псевдодальностях и в разностях псевдодальностей по НКА после использования локальной (одинарной) коррекции по данным только главной контрольной станции, а также после региональной (двойной) коррекции по данным комплекса региональных контрольных станций.

Таблица 7

Средние за сеанс остаточные погрешности измерения кодовых псевдодальностей (м) после их двойной (2) дифференциальной коррекции и после одинарной (1) коррекции в пунктах контроля качества корректирующей информации

Номер ПКК	НКА 28		НКА 27		НКА 10		НКА 18	
	2	1	2	1	2	1	2	1
4	0,272	0,107	0,206	0,252	0,442	-0,180	0,709	0,898
5	0,146	-0,042	0,193	-0,262	-0,203	-0,380	-0,319	0,601
6	0,269	-0,012	-0,126	-0,009	0,112	-0,215	0,093	0,520
7	0,282	0,033	0,072	-0,073	-0,019	0,06	-0,033	0,400
8	-0,155	-0,002	-0,078	-0,239	-0,145	0,357	-0,209	1,183
9	0,013	0,025	0,047	-0,175	-0,176	0,184	-0,071	0,842
10	0,205	0,01	-0,054	0,008	0,167	-0,358	0,450	1,063
11	0,051	0,069	0,178	0,285	0,071	-0,132	0,208	-0,148

Таблица 8

Средние за сеанс остаточные погрешности измерения разностей псевдодальностей по НКА (м) после их двойной (2) дифференциальной коррекции и одинарной (1) коррекции в пунктах контроля качества корректирующей информации

Номер ПКК	НКА 28-27		НКА 28-10		НКА 28-18	
	2	1	2	1	2	1
4	-0,329	-0,122	-0,636	0,365	-0,783	-0,798
5	-0,100	0,194	0,285	0,483	0,166	-0,641
6	-0,132	0,065	-0,228	0,306	-0,136	-0,393
7	-0,071	0,260	-0,066	0,098	-0,183	-0,322
8	0,077	0,251	0,408	-0,292	-0,130	-1,130
9	0,051	0,298	0,105	-0,093	0,043	-0,754
10	-0,006	0,051	-0,059	0,501	-0,293	-0,896
11	-0,117	-0,162	-0,192	0,201	-0,123	0,206

В табл. 9 и 10 приведены средние за последние 90 секунд сеанса полные погрешности оценок координат приемника в пунктах контроля качества корректирующей информации. Здесь приведены полные погрешности как без применения, так и с применением двойной дифференциальной коррекции кодовых псевдодальностей или их разностей по НКА.

В первые 30 секунд сеанса наблюдались переходные процессы на выходе фильтра Калмана, поэтому соответствующие выходные данные игнорировались.

При обработке кодовых псевдодальностей оценивались не только координаты, но и погрешности шкал времени приемников. Полные погрешности таких оценок были на уровне 170 – 190 наносекунд, если коррекция псевдодальностей не применялась. При использовании двойной дифференциальной коррекции псевдодальностей полные погрешности оценок смещений шкал времени уменьшались до единиц наносекунд. Это представляется важным для задач синхронизации эталонов времени и частоты в рассматриваемом регионе.

Таблица 9

Полные погрешности оценок координат без применения и с применением двойной дифференциальной коррекции кодовых псевдодальностей

Номер РКС, ПКК	$\Delta x$ , м	$\Delta x_{\text{корр}}$ , м	$\Delta y$ , м	$\Delta y_{\text{корр}}$ , м	$\Delta z$ , м	$\Delta z_{\text{корр}}$ , м
<b>0</b>	<b>6,431</b>		<b>7,959</b>		<b>13,938</b>	
<b>1</b>	<b>6,351</b>		<b>8,491</b>		<b>14,107</b>	
<b>2</b>	<b>6,414</b>		<b>7,614</b>		<b>13,773</b>	
<b>3</b>	<b>7,074</b>		<b>8,697</b>		<b>12,791</b>	
4	6,834	0,050	8,306	0,306	13,538	0,018
5	6,479	-0,418	8,370	-0,174	13,209	-0,447
6	6,600	-0,364	8,233	0,094	13,523	-0,356
7	6,483	-0,128	8,173	-0,191	13,779	-0,258
8	6,550	-0,007	8,770	-0,102	13,724	-0,059
9	6,575	0,172	8,509	-0,117	13,677	-0,019
10	6,850	-0,153	8,491	0,249	13,272	-0,290
11	6,490	0,078	8,687	-0,012	13,890	-0,054

Таблица 10

Полные погрешности оценок координат без применения и с применением двойной дифференциальной коррекции разностей по НКА кодовых псевдодальностей

Номер РКС, ПКК	$\Delta x$ , м	$\Delta x_{\text{корр}}$ , м	$\Delta y$ , м	$\Delta y_{\text{корр}}$ , м	$\Delta z$ , м	$\Delta z_{\text{корр}}$ , м
<b>0</b>	<b>6,468</b>		<b>7,979</b>		<b>13,991</b>	
<b>1</b>	<b>6,524</b>		<b>8,483</b>		<b>14,262</b>	
<b>2</b>	<b>6,461</b>		<b>7,591</b>		<b>13,817</b>	
<b>3</b>	<b>7,041</b>		<b>8,746</b>		<b>12,756</b>	
4	6,935	-0,488	8,314	-0,350	13,596	-0,723
5	6,645	0,028	8,350	0,171	13,325	0,189
6	6,584	-0,119	8,193	-0,045	13,592	-0,284
7	6,383	-0,108	8,294	-0,104	13,728	-0,168
8	6,643	0,114	8,753	0,085	13,874	0,358
9	6,444	0,065	8,537	0,0012	13,630	0,088
10	6,836	-0,077	8,470	-0,189	13,336	-0,124
11	6,545	-0,101	8,780	-0,047	13,968	-0,193

## Выводы

Основные результаты имитационного моделирования региональной спутниковой системы координатно-временного обеспечения потребителей позволяют сделать следующие выводы и предложить направления дальнейших исследований.

1. Двойная дифференциальная коррекция кодовых псевдодальностей обеспечивает существенное снижение систематических погрешностей измерения кодовых псевдодальностей особенно для НКА с малыми углами возвышения над горизонтом (см. табл. 7), что, в свою очередь, приводит к радикальному уменьшению полных погрешностей оценок координат (см. табл. 9),
2. Двойная дифференциальная коррекция разностей кодовых псевдодальностей по НКА предпочтительна в целях ослабления влияния динамики поведения шкал времени контрольных станций и потребителей. Остаточные погрешности измерения разностей кодовых псевдодальностей по НКА, как правило, меньше остаточных погрешностей, свойственных локальной коррекции (см. табл. 8). Данная коррекция также существенно уменьшает полные погрешности оценок координат (см. табл. 10).
3. Эффективность двойной дифференциальной коррекции кодовых псевдодальностей или их разностей по НКА зависит от дислокации потребителя в регионе. Уровень снижения полной погрешности определения координат выше для потребителей, расположенных внутри зоны, ограниченной базовыми линиями контрольных станций комплекса (см. табл. 7, 8).

В дальнейшем представляется целесообразным рассмотреть задачи:

- оценки вектора состояния подвижного объекта, включив в него составляющие вектора скорости, а также предусмотрев по крайней мере локальную коррекцию псевдоскоростей;
- оценок координат потребителей по двойным разностям кодовых псевдодальностей с использованием региональной коррекции псевдодальностей и принципа виртуальных контрольных станций.

## Список литературы

1. Xin-Xiang Jin, Gees D. De Jong, Improvement of DGPS Performance in Medium Areas by Using a Network of DGPS Reference Stations. Proc. 5<sup>th</sup> International Conference on DSRNS-96, St.Petersburg, Russia, May 20-24, 1996.
2. Пространственно-временная обработка измерительной информации в радиоэлектронном комплексе региональных контрольных станций спутниковых навигационных систем / Хомяков Э.Н., Наумова Е.Э., Трикоз Д.В. и др. //Авиационно-космическая техника и технология. – Х.: Гос. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т». - 1999.- вып.12, с.19 - 22.
3. Хомяков Э.Н., Наумова Е.Э. Расширенная региональная дифференциальная коррекция псевдодальностей в глобальных навигационных спутниковых системах //Электромагнитные волны и электронные системы. - 2003. Т.8. №3. с. 57 - 63.  
Хомяков Э.Н., Наумова Е.Э. Спутниковые радионавигационные системы.
4. Радиоэлектронные комплексы региональных контрольных станций: Учеб. пособие. - Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т».2003. – 106 с.

## **Обоснование выбора системы единиц физических величин для независимой верификации при сертификации программного обеспечения**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*

### **Введение**

Современные информационно-управляющие системы (ИУС) характеризуются все возрастающей частью функций, реализованных программно, что позволяет отнести их к системам с интенсивным использованием программного обеспечения (ПО).

Наличие остаточных программных дефектов (ПД) в программных реализациях критически важных функций определяет риски возникновения нештатных ситуаций, связанных с нарушением функциональной безопасности (ФБ) ИУС [1]. Снижение рисков до предельно допустимого уровня обеспечивается независимой верификацией (НВ) в процессе сертификации ПО, основная цель которой заключается в определении вероятности наличия остаточных ПД.

В основу НВ положен метод семантического контроля (СК). СК позволяет посредством анализа семантического программного инварианта – физических размерностей программных переменных, выполнять семантическую независимую верификацию (СНВ) программного кода в режиме статического анализа и обнаружить семантические программные дефекты (СПД) [2, 3].

### **Постановка задачи**

СНВ ПО выполняется в семантическом пространстве, базис которого определяется выбранной системой единиц (СЕ). Чувствительность методов СНФ, определяющая долю обнаруживаемых ПД, а следовательно, и вероятность наличия остаточных программных дефектов при условии их необнаружения в программном коде, зависит от СЕ. Поэтому возникает необходимость решения проблемы выбора оптимальной СЕ с точки зрения обеспечения максимальной эффективности СК и минимальной потребности в вычислительных ресурсах.

**Цель статьи** — обоснование выбора оптимальной СЕ с точки зрения достоверности, определяющей эффективность обнаружения СПД, и ресурсоемкости СНВ ПО.

### **Результаты исследования**

В процессе исследований под ресурсоемкостью в соответствии со стандартом ISO/IEC 9126-4 [4] будем понимать комплексный показатель, оценивающий дополнительные накладные расходы: объем оперативной памяти, требуемой для хранения семантической информации, и ресурсы центрального процессора, необходимые для реализации.

При СНВ возможны три исхода событий:

- 1) СПД отсутствуют, обозначим вероятность такого события  $P_{\text{норма}}$ ;
- 2) СПД присутствуют, и они обнаружены, обозначим вероятность события  $P_{\text{обн}}$ ;
- 3) СПД присутствуют, но не обнаружены, обозначим вероятность события  $P_{\text{необн}}$ .

Под эффективностью будем понимать вероятность обнаружения СПД при условии их существования

$$\eta = \frac{P_{обн}}{P_{обн} + P_{необн}}. \quad (1)$$

Ввиду того, что СНВ основана на совпадении размерностей операндов аддитивных операций (отношения, сложения, вычитания, присваивания), достоверность метода зависит от количества физических величин, имеющих в выбранной СЕ совпадающие размерности, что влияет на  $P_{необн}$ .

Предположим, что СЕ определяет  $N$  физических величин, часть которых имеет совпадающие размерности. Например, в СИ размерность поверхностной плотности теплового потока  $[q]=MT^{-3}$ , ее единица –  $Вт/м^2$ . Ту же размерность и единицу измерения имеют интенсивность излучения, интенсивность звука, излучательность. В СГС одинаковые размерности, например, имеют сила тока  $[I]=L^{3/2}M^{1/2}T^{-2}$  и магнитный поток  $[\Phi]=L^{3/2}M^{1/2}T^{-2}$  [5].

Далее будем считать, что использование физических величин, определяющих физический тип программных переменных, подчинено равномерному закону распределения внутри выбранной СЕ, и предполагать, что СПД могут быть вызваны только совпадением физических размерностей, обусловленных несовершенством СЕ.

Объединим физические величины, имеющие совпадающие размерности, во множества, количество которых обозначим  $M$ . Каждое из множеств  $M_i$  содержит  $n_i$  ( $i=1,2,\dots,M$ ) физических величин совпадающей размерности, причем  $\sum_{i=1}^M n_i = N$ .

События отсутствия, обнаружения и необнаружения СПД в пределах  $i$ -го множества имеют вероятности  $P_{норма_i}$ ,  $P_{обн_i}$  и  $P_{необн_i}$  и образуют полную группу событий

$$P_{норма_i} + P_{обн_i} + P_{необн_i} = 1.$$

Сумма данных вероятностей для объединения всех  $M$  множеств, т.е. для всей СЕ:

$$\sum_{i=1}^M (P_{норма_i} + P_{обн_i} + P_{необн_i}) = \sum_{i=1}^M 1 = M.$$

Считаем, что СПД отсутствует, если мы выбираем физическую величину, принадлежащую множеству необходимой размерности и совпадающую с требуемой. Поэтому вероятность отсутствия СПД в пределах  $i$ -го множества  $P_{норма_i}$  является произведением вероятности выбора  $i$ -го множества  $P_{M_i}$  и вероятности  $P_i$  выбора величины, совпадающей с требуемой:

$$P_{норма_i} = P_{M_i} P_i = \frac{n_i}{N} \cdot \frac{1}{n_i} = \frac{1}{N}.$$

Вероятность отсутствия СПД для объединения множеств

$$P_{норма} = \sum_{i=1}^M P_{норма_i} = \sum_{i=1}^M \frac{1}{N} = \frac{M}{N}.$$

СПД не обнаруживается, если его причиной является выбор физической величины, принадлежащей множеству необходимой размерности, но не являющейся требуемой. Отсюда вероятность необнаружения СПД в пределах  $i$ -го

множества  $P_{необн_i}$  является произведением вероятности выбора  $i$ -го множества  $P_{M_i}$  и вероятности  $\bar{P}_i$  невыбора требуемой величины внутри  $i$ -го множества

$$P_{необн_i} = P_{M_i} \bar{P}_i = \frac{n_i}{N} \cdot \frac{n_i - 1}{n_i} = \frac{n_i - 1}{N}.$$

Вероятность необнаружения СПД для объединения множеств

$$P_{необн} = \sum_{i=1}^M P_{необн_i} = \sum_{i=1}^M \frac{n_i - 1}{N} = 1 - \frac{M}{N}.$$

СПД обнаруживается, если мы выбираем физическую величину, принадлежащую  $i$ -му множеству с отличной от требуемой размерностью. Вероятность такого события

$$P_{обн_i} = \frac{N - n_i}{N}.$$

Определим вероятность обнаружения СПД для СЕ

$$P_{обн} = \sum_{i=1}^M P_{обн_i} = \sum_{i=1}^M \frac{N - n_i}{N} = M - 1.$$

Найденные вероятности  $P_{норма}$ ,  $P_{обн}$  и  $P_{необн}$  подставим в формулу (1):

$$\eta = \frac{P_{обн}}{P_{обн} + P_{необн}} = \frac{M - 1}{M - 1 + 1 - \frac{M}{N}} = \frac{N(M - 1)}{NM - M} = \frac{N(M - 1)}{M(N - 1)}.$$

Таким образом, достоверность СНВ, обусловленная статистическими характеристиками выбранной СЕ:

$$\eta = \frac{N(M - 1)}{NM - M} = \frac{N(M - 1)}{M(N - 1)}. \quad (2)$$

Данные результаты были подтверждены экспериментально путем моделирования совокупности неких условных СЕ, для которых количество элементов  $N$  и множеств  $M$  генерировалось случайным образом. Подсчитывались статистические вероятности  $\tilde{P}_{норма_i}$ ,  $\tilde{P}_{необн_i}$  и  $\tilde{P}_{обн_i}$ , которые совпали с теоретическими до четвертого знака после запятой. На рис. 1 показана зависимость достоверности СНВ в СЕ, обладающей заданным количеством множеств и общим количеством физических величин  $N \gg M$ .

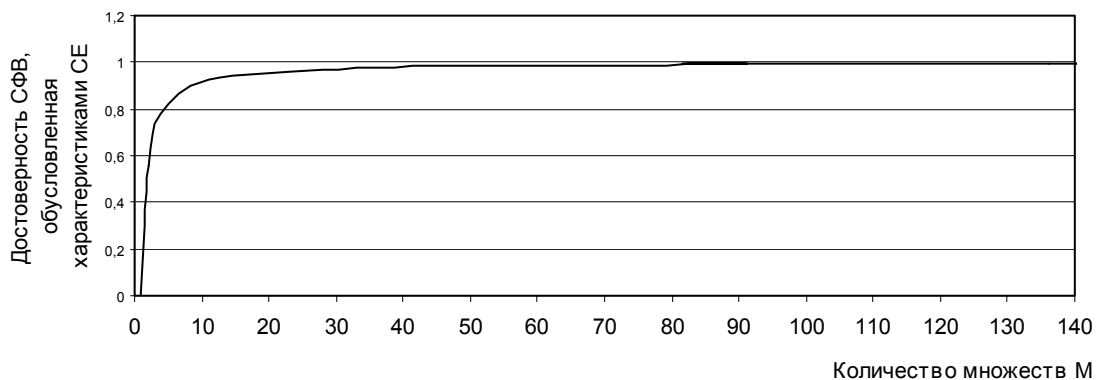


Рис 1. Достоверность СНВ, обусловленная статистическими характеристиками СЕ

Проведем анализ трех реальных систем единиц – СИ, СГС, МКГСС и оценим их влияние на достоверность СНВ.

Так как МКГСС включает в себя только механические и геометрические единицы, то сначала оценим достоверность выше указанных СЕ в механическом базисе (длина, время, масса). Подсчитаем количество геометрических и механических величин с совпадающими размерностями для каждой СЕ и объединим их во множества. Результаты показаны на рис.2.

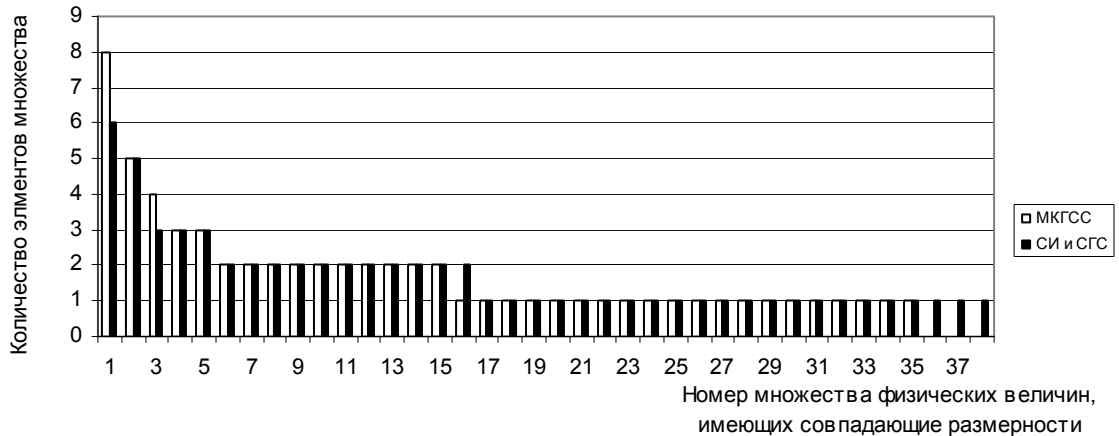


Рис. 2. Статистические характеристики систем МКГСС, СИ и СГС в механическом базисе

Тогда достоверность для СИ, СГС и МКГСС в механическом базисе, вычисленная по формуле (2):

$$\eta_{\text{МКГСС}} = \frac{63(35-1)}{35(63-1)} \approx 0,987,$$

$$\eta_{\text{СИ}} = \frac{63(38-1)}{38(63-1)} \approx 0,989, \quad \eta_{\text{СГС}} = \frac{63(38-1)}{38(63-1)} \approx 0,989.$$

Таким образом, предпочтительнее системы СИ и СГС.

На рис. 3 изображены распределения множеств физических величин с совпадающими размерностями.

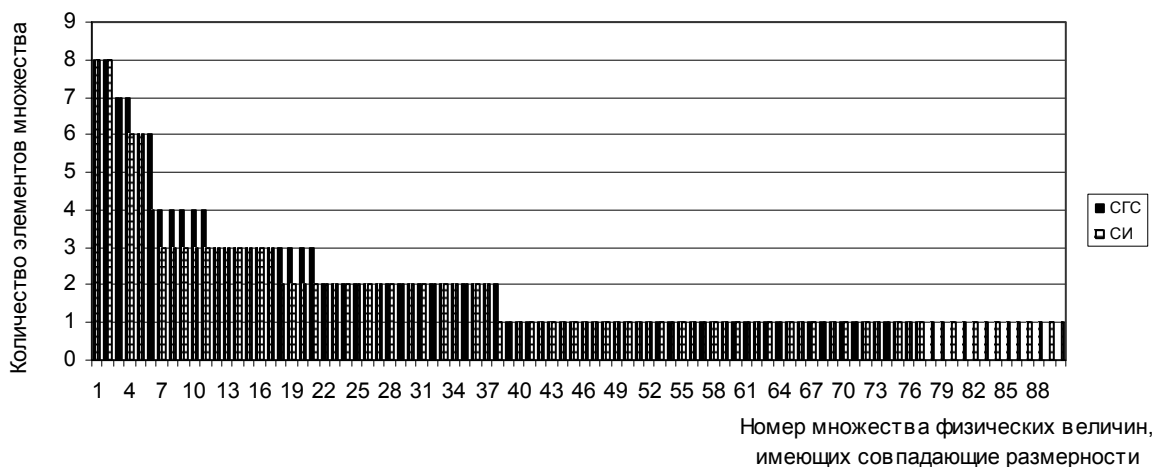


Рис. 3. Статистические характеристики систем СИ и СГС

Достоверность, вычисленная по формуле (2) для СИ и СГС:

$$\eta_{СИ} = \frac{165(90-1)}{90(165-1)} \approx 0,995,$$

$$\eta_{СГС} = \frac{165(77-1)}{77(165-1)} \approx 0,993.$$

Как уже отмечалось, современные системы критического применения ПО должны удовлетворять повышенным требованиям к ФБ. Поэтому для окончательного выбора воспользуемся величиной, дополнительной к достоверности

$$\bar{\eta} = 1 - \eta. \quad (3)$$

Тогда

$$\bar{\eta}_{СИ} = 1 - 0,995 = 0,005,$$

$$\bar{\eta}_{СГС} = 1 - 0,993 = 0,007.$$

Поэтому эффективность СФВ, основанная на использовании СИ, выше на 30%.

Выбор СЕ влияет также на ресурсоемкость СФВ, так как в основе метода – решение нескольких систем линейных алгебраических уравнений, количество которых определяется количеством основных единиц, например: для СГС – 3, СИ – 9, МКГСС – 3. Наличие в СГС физических типов с дробными значениями основных единиц требует при СНВ операций над числами с плавающей точкой, что увеличивает требуемые ресурсы.

#### **Выводы и направления дальнейших исследований**

В статье была проведена оценка влияния статистических характеристик СЕ СИ, СГС, МКГСС на ресурсоемкость СНВ и эффективность, определяемую достоверностью СНВ. При этом с точки зрения эффективности оптимальной является СИ, а с точки зрения ресурсоемкости – СГС.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на снижение ресурсоемкости семантической независимой верификации с одновременным сохранением ее эффективности, а также на преодоление неполноты документирования ПО, обусловленной отсутствием и искажением данных в документации, что потребует реализации семантической верификации в условиях неопределенных проектных спецификаций.

#### **Список литературы**

1. Липаев В.В. Надежность программных средств. Сер. «Информатизация России на пороге XXI века». — М.: СИНТЕГ, 1998. — 232 с.
2. Харченко В.С., Манжос Ю.С., Петрик В.Л. Статистический анализ ПО системы управления КА и оценка проверяющей способности семантического контроля. //«Технологии машиностроения». — Харьков. — 2002. — Вып. 2. — С. 32-43.
3. Калибровка чувствительности методов статического анализа, используемых для оценки качества и безопасности по ИУС АЭС. /Конорев Б.М., Манжос Ю.С., Петрик В.Л. и др.// Междунар. симпозиум «Измерения, важные для безопасности в реакторах». — М. —23-25 ноября 2004. —С. 15-1—15-12.
4. ISO/IEC PTDR 9126-4: Software Engineering – Product Quality – Part 4: Quality In Use Metrics. 2000.
5. Сена Л.А. Единицы физических величин и их размерности. — М.: Наука, 1988. — 431 с.



## **Автоматизированное извлечение конструкторско–технологических знаний**

*Национальный аэрокосмический университет им.Н.Е.Жуковского «ХАИ»*

Приобретение знаний (knowledge acquisition) в какой-либо предметной области есть передача потенциального опыта решения проблемы от некоторого источника знаний и преобразование его в вид, который позволяет использовать эти знания в программе [1,2]. Передача знаний выполняется в процессе достаточно длительных и пространных собеседований между инженером по знаниям и экспертом в предметной области (экспертом–технологом), способным достаточно четко сформулировать имеющийся у него опыт. Производительность такого процесса довольно низкая, поэтому функция приобретения конструкторско–технологических знаний является одним из главных «узких мест» при разработке и использовании систем гибкого автоматизированного проектирования технологических процессов (ТП) и создании конструкторско–технологической базы знаний предприятия с использованием нечетких экспертных правил [3]. Неудовлетворительные результаты такого подхода во многих предметных областях привели к необходимости автоматизации процесса передачи знаний специалистом машине и появлению автоматизированного извлечения знаний (automated knowledge elicitation).

### **Цель статьи**

Статья посвящена разработке методов и алгоритмов автоматизированного извлечения конструкторско–технологических знаний с использованием справочных баз данных предприятия, архива техпроцессов.

База знаний предприятия представляет собой набор модулей знаний, который пополняется в процессе эксплуатации системы.

Одним из простейших способов извлечения знаний у экспертов–технологов с использованием программных средств является технология извлечения знаний о предметной области посредством опроса через терминал в диалоговом режиме. Эксперту–технологу предлагается заполнить экранные формуляры, информация о которых затем считывается в структурированные объекты. Процедура извлечения знаний имеет циклический характер, алгоритм ее представлен на рис.1.

Данная методика ориентирована на частичную автоматизацию процесса извлечения знаний в ходе активного диалога интервьюируемого эксперта с программой и предполагает использование стратегии, направляемой знаниями о предметной области.

Одной из проблем является сложность использования баз конструкторско–технологических данных, хранилищ данных, накопленных на предприятии в результате использования различных диалоговых подсистем проектирования ТП для создания базы знаний. Решение этой проблемы возможно следующим

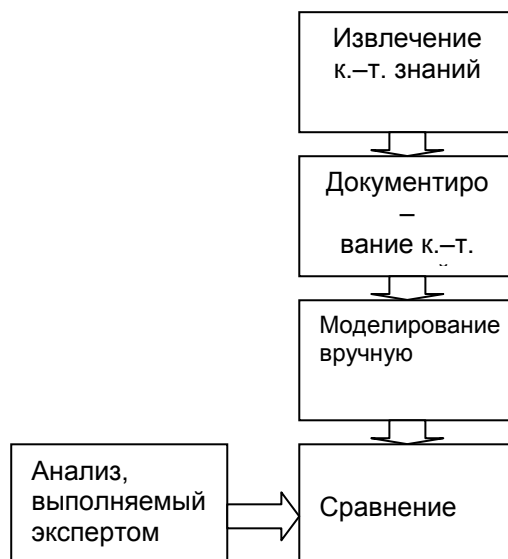


Рис. 1. Циклическая процедура приобретения конструкторско–технологических знаний

образом: 1 – использование различных справочников, хранящихся в базах данных предприятия, 2 – использование архива техпроцессов для автоматизированного извлечения знаний. В [4] рассмотрен алгоритм формирования нечетких экспертных правил выбора методов обработки поверхностей деталей с использованием имеющейся на предприятии справочной базы данных. Предложенный в [4] метод формирования исходного множества технологических альтернатив (ИМТА) для выбора методов обработки поверхностей позволяет использовать имеющуюся на предприятии справочную базу данных для генерирования нечетких экспертных правил базы конструкторско–технологических знаний (БКТЗ) предприятия. Недостатком известных в data–mining методов является то, что при их использовании генерируется большое количество правил, предоставляемых эксперту в проблемной области для оценки их «интересности» с дальнейшим использованием алгоритмов фильтрации [5]. Сложность представляет также формулировка посылок правил ЕСЛИ–ТО с привлечением экспертов проблемной области.

Существует два подхода при построении алгоритмов, генерирующих правила – использование логических и вероятностных методов [6]. В предыдущих статьях [4,7] описан алгоритм Reference–Knowledge\_module\_discovery (RKMD) автоматизированного извлечения конструкторско–технологических знаний, который позволяет генерировать минимальное множество нечетких экспертных правил (для выбора методов обработки поверхности) структуры, представленной в [4]. Алгоритм Reference–Knowledge\_module\_discovery построен на основе логических методов.

Преимуществами предложенного алгоритма является возможность автоматизации процесса генерации предпосылок нечетких экспертных правил благодаря использованию справочной информации баз конструкторско–технологических данных, что позволяет сократить сроки создания базы знаний

предприятия. Формулировка посылок правил производится в соответствии с классификатором поверхностей [3]. Алгоритм Reference–Knowledge\_module\_discovery генерирует минимальное множество правил, предоставляемых эксперту в проблемной области (эксперту–технологу) благодаря использованию конструкторско–технологических справочников базы данных предприятия, что позволяет сократить затраты на создание базы знаний (рис.2).

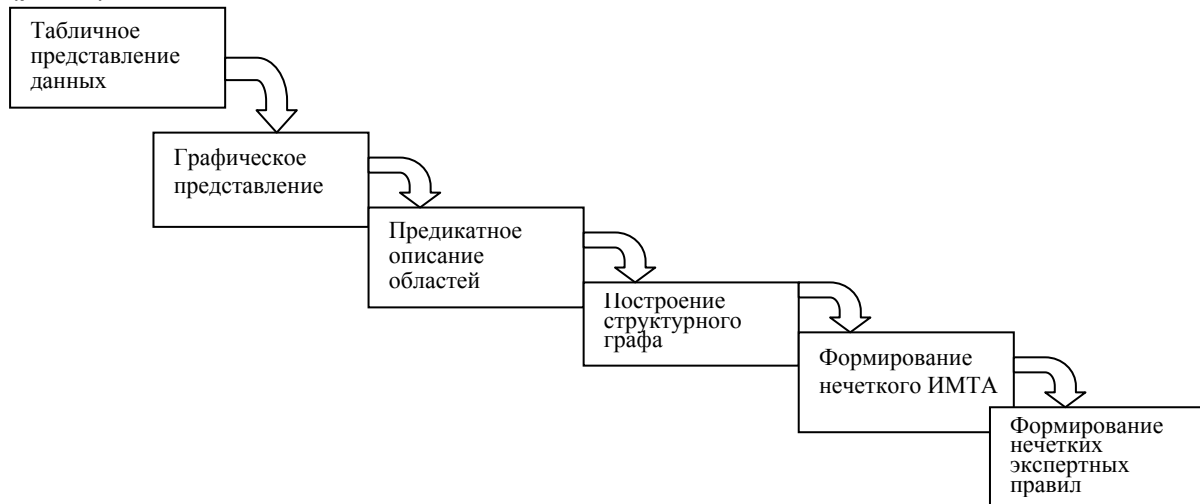


Рис. 2. Алгоритм RKMD формирования нечетких экспертных правил с использованием справочной базы данных предприятия

```

    Построение структурного графа
    методов обработки:
    R1 <P1, P2>
    R2 <P2, P3>
    R3 <P4, P5, P6, P7, P8>
    R4 <P7, P8, P9, P12, P13, P14, P15>
    R5 <P6, P7, P8>
    R6 <P11, P12, P13, P14, P15>
    R7 <P13, P15, P16, P17, P18>
    R8 <P18, P19>
    R9 <P5, P8, P9, P10, P14, P15, P16, P18>

    Подобласт заготовки:
    1
    Подобласт детали:
    6

    Koli4estvo putej: 1
    Put 1,2,3,
    Koli4estvo putej: 2
    Put 1,2,3,4,5,
    Put 1,2,3,5,

    Koli4estvo alternativnykh metodov obrabotki:
    P1 100000000 1
    P2 110000000 2
    P3 010000000 1
    P4 001000000 1
    P5 001000001 2
    P6 001010000 2
    P7 001110000 3
    P8 001110001 4
    P9 000100001 2
    P10 000000001 1
    P11 000001000 1
    P12 000101000 2
    P13 000101100 3
    P14 000101001 3
    P15 000101101 4
    P16 000000101 2
    P17 000000100 1
    P18 000000111 3
    P19 000000010 1
  
```

Рис. 3. Результаты работы алгоритма Reference–Knowledge\_module\_discovery.

Сгенерированные правила в диалоговом режиме выводятся на экран эксперту–технологу для задания функций принадлежности каждой альтернативе и удаления «неинтересных» и некорректных с точки зрения технолога правил путем задания значения  $\mu_i=0$ . Данный алгоритм был апробирован на примере

справочной информации о методах обработки наружных цилиндрических поверхностей. промежуточные результаты работы программы представлены на рис. 3. Программа сгенерировала 51 нечеткое экспертное правило для эксперта–технолога.

Данный алгоритм позволяет генерировать минимальное количество правил

$$N = \sum_{i=1}^{mz} (np - i),$$

где  $np$ ,  $mz$  – количество подмножеств  $P_i$  значений  $IT$ ,  $R_a$  для поверхности детали и заготовки [4,7].

Количество правил, которые были бы сгенерированы путем полного перебора  $2^{np}=2^9=512$ , ( $np$  – количество методов обработки [4]), большинство из которых окажутся отвергнутыми при дальнейшем анализе экспертом–технологом.

Генерацию нечетких экспертных правил для создания базы конструкторско–технологических знаний можно также осуществлять с использованием метода, основанного на объединении ассоциативных и неожиданных (*unexpected*) правил [5], полученных путем извлечения знаний из архива техпроцессов, баз конструкторско–технологических данных предприятия. При таком подходе формулировка посылок правил также производится в соответствии с классификатором поверхностей [3]. Для рассмотренного примера построения нечетких экспертных правил выбора методов обработки наружных цилиндрических поверхностей множество технологических альтернатив  $\Omega$  в общем случае состоит из  $N$  элементов – альтернативных методов обработки. Генерируется нечеткое экспертное правило вида

**ЕСЛИ** *поверхность=(основная, наружная, круглая в поперечном сечении, цилиндрическая)*

**И** *заготовка*( $IT, R_a$ ) (<от...до..>, <от...до...>)

**И** *требуемые*( $IT, R_a$ ) (<от...до..>, <от...до...>)

**ТО** *методы обработки* =  $\{(\Omega_1, \mu_1), (\Omega_2, \mu_2), \dots, (\Omega_n, \mu_n)\}$ ,

содержащее некоторое количество альтернативных методов обработки поверхности. С помощью запроса извлекаются все записи из базы данных – архива техпроцессов, удовлетворяющие посылке правила ЕСЛИ. Пусть таких записей окажется  $k$ . Количество альтернативных методов обработки  $\Omega_i$  среди этих записей обозначим  $L$ . Тогда значение функции принадлежности  $\mu_i$  ( $i = \overline{1, L}$ ) для каждого альтернативного метода обработки  $\Omega_i$  в правиле вычисляется по формуле:

$$\mu_i = \frac{NM_L}{k},$$

где  $NM_L$  – количество записей, извлеченных из архива техпроцессов, для которых применялся метод обработки номер  $L$ . В дальнейшем полученные автоматизировано нечеткие экспертные правила предъявляются для анализа и фильтрации эксперту–технологу. Блок–схема алгоритма представлена на рис. 4.

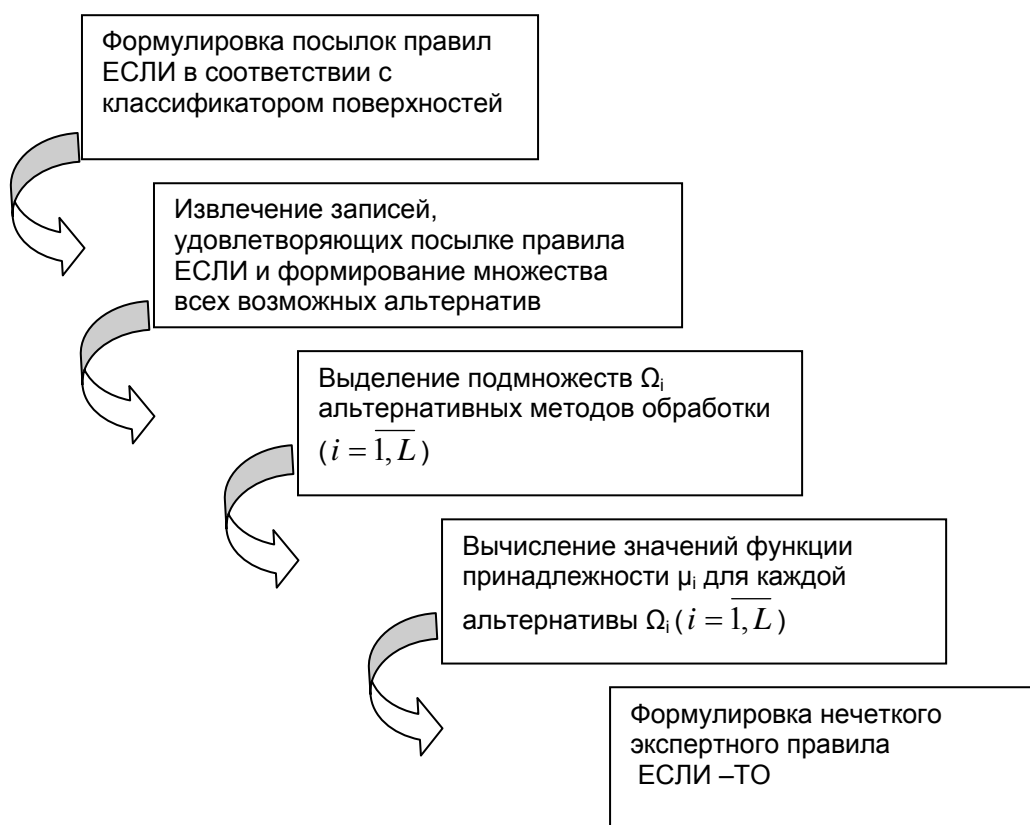


Рис.4 – Алгоритм автоматизированного формирования нечетких экспертных правил БКТЗ для выбора методов обработки поверхностей

Данный метод позволяет ускорить процесс создания базы знаний предприятия, использовать статистическую информацию, имеющуюся на предприятии для вычисления значений функций принадлежности  $\mu_i$  без проведения дорогостоящей процедуры экспертного оценивания альтернатив. Преимуществами данного алгоритма является то, что он генерирует множество альтернативных методов обработки из уже известных и применявшихся на данном предприятии, а не использует знания предметной области вообще.

#### Выводы:

1. Построение базы знаний предприятия в виде набора модулей знаний позволяет автоматизировать процесс заполнения базы знаний, использовать справочные базы данных предприятия для формирования правил, наращивать базу знаний в процессе ее эксплуатации.
2. Преимуществами предложенных алгоритмов является возможность автоматизации процесса генерации предпосылок нечетких экспертных правил

благодаря использованию справочной информации баз конструкторско–технологических данных, что позволяет сократить сроки создания базы знаний предприятия.

3. Алгоритм Reference–Knowledge\_module\_discovery генерирует минимальное множество правил, предоставляемых эксперту в проблемной области (эксперту–технологу) благодаря использованию конструкторско–технологических справочников базы данных предприятия, что позволяет сократить затраты на создание базы знаний.

4. Рассмотренный алгоритм автоматизированной генерации нечетких экспертных правил с использованием архива техпроцессов позволяет использовать статистическую информацию, имеющуюся на предприятии для вычисления значений функций принадлежности.

5. В дальнейшем целесообразно применение алгоритмов автоматизированного извлечения конструкторско–технологических знаний для различных этапов проектирования ТП с использованием архива техпроцессов предприятия.

### Список литературы

1. Buchanan B.G., Barstow D., Bechtel R., Bennet J., Clancey W., Kulikowski C., Mitchell T.M. and Waterman D.A. Constructing an expert system. In Building Expert Systems (Haes–Roth F, Waterman D.A. and Levat D., eds.), Chapter 5. Reading, MA: Addison–Wesley.
2. Джексон П. Введение в экспертные системы. : Пер. с англ. : Уч. Пос.– М.:Издательский дом «Вильямс», 2001.–621с.
3. Лапа М.В. Интеллектуальный метод гибкого проектирования технологических процессов деталей приборов // Дис.канд.т.н. – Київ: НТУУ“КПІ”. – 2004. – 198с.
4. Лапа М.В. Формирование нечеткого исходного множества технологических альтернатив для выбора методов обработки поверхностей // Открытые информационные и компьютерные технологии: Сб. науч. тр. Вып. №31. – Харьков: Нац. аэрокосмич. ун–т.– 2006. – С.215–220.
5. B. Padmanabhan and A. Tuzhilin. On Characterization and Discovery of Minimal Unexpected Patterns in Rule Discovery//IEEE Transactions on knowledge and data engineering, № 2.– February 2006.–Pp. 202–216.
6. M.J. Druzdzel and L.C. van der Gaag. Building Probabilistic Networks: Where Do the Numbers Come From? //IEEE Trans. Knowledge and Data Eng., № 4, July/Aug. 2000.–Pp. 481–486.
7. Лапа М.В. Алгоритм формирования нечетких экспертных правил для выбора методов обработки поверхностей деталей// Вестник Харк. нац. ун–та. – №733–2006. Сер. "Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления".

## **Автоматизация процесса распознавания видов загрязнений для космического мониторинга морских акваторий**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*

В настоящее время важной экологической задачей является сохранение природных ресурсов Земли. В связи с необходимостью получения большего объема оперативной информации о природной среде наряду с контактными методами исследований в этой области все большее применение находит дистанционное зондирование Земли из космоса [1].

Преимуществами дистанционных методов исследования земной поверхности по сравнению с традиционными являются масштабность обзора, возможность получения глобальной и локальной информации о природных объектах, а также контроля динамики процессов в реальном масштабе времени. Являясь новейшим и самым совершенным материалом, космические снимки позволяют в более короткие сроки составлять и обновлять различные тематические карты, картографировать слабоизученные, труднодоступные территории. Интегрированный анализ дистанционного зондирования с материалами наземных исследований дает возможность более эффективно решать научные и прикладные задачи в области комплексных исследований природной среды, геологии, океанологии, поиска и освоения полезных ископаемых, сельского и лесного хозяйства. Возможность работы с информацией в реальном масштабе времени обусловило применение дистанционного зондирования при решении задач экологического мониторинга окружающей среды.

Безусловно, набор задач, решаемых на основе аэрокосмических материалов, очень широк [2]. Поэтому в рамках данной статьи ограничимся областью приложения таких данных к задачам мониторинга морских акваторий.

Черное и Азовское моря играют исключительно важную роль в становлении Украины как высокоразвитой европейской державы. Внутренние и внешние транспортные связи, колоссальный рекреационный потенциал побережий морей, обусловленный благоприятными и разнообразными климатическими условиями, запасы морепродуктов, имеющих промышленное значение, сырья для химической промышленности, стройматериалов, полезных ископаемых и многое другое определяют бассейны этих морей как район стратегических интересов Украины. В то же время их водные ресурсы подвержены существенной антропогенной нагрузке, вносящей заметный вклад в динамику формирования экологической безопасности не только, собственно, морских акваторий, но и побережья. В этой связи представляется актуальной проблема создания эффективной системы мониторинга территориальных вод и морской экономической зоны Украины, средствами которой реализуется функция информационного обеспечения управления их экологической безопасностью.

Элементы такой системы существуют и основаны на периодическом отборе проб воды на определенных участках моря и лабораторном анализе её параметров [3]. Используются также и материалы дистанционного зондирования Земли. Однако эффективность системы можно существенно повысить, если

дополнить ее эффективными методами определения различных видов загрязнений по данным оптических снимков изучаемых территорий [4, 5].

Технологии дистанционного зондирования морских акваторий позволяют идентифицировать скорость приводного ветра, параметры ледовых покровов, температуру поверхностного слоя моря, а также аномалии гидрооптических и гидроэлектрических параметров морских вод [6]. Эти аномалии обусловлены природными процессами, протекающими в море и его береговой зоне, а также антропогенным загрязнением моря растворёнными и взвешенными веществами техногенного происхождения, нефтепродуктами, СПАВ и т.п. В большинстве случаев такие вещества попадают в море с речным и поверхностным стоками, сбросами сточных вод, разливами, сопровождающими аварийные ситуации на судах, в портах и подходах к ним, якорных стоянках, нефтеналивных терминалах. Сказанное выше даёт основание заключить, что технологию космического мониторинга морских акваторий можно основывать на установлении причинно-следственных связей между пространственными характеристиками участков моря с аномальными гидрооптическими или гидроэлектрическими параметрами и факторами, обусловившими их.

Для этих целей разработано множество программ как в нашей стране, так и за рубежом [7]. Однако они не специализированные, не учитывают специфику исследуемого объекта. Набор всевозможных функций делает их громоздкими и тяжелыми в освоении, а универсальность не позволяет автоматизировать процесс обработки.

Поэтому актуальна разработка специализированного программного обеспечения для тематической обработки космических снимков.

Разрабатываемое программное обеспечение позволяет визуализировать космические снимки на экране монитора; строить гистограмму изображения; выполнять фильтрацию изображений в целях устранения импульсных помех, шумов аппаратуры и т.д.; нелинейно преобразовывать изображения для контрастирования интересующих оператора объектов; преобразовывать черно-белые изображения в цветные путем использования цветных палитр; создавать искусственные палитры, оптимизированные под конкретные изображения; автоматически выделять контуры объектов изображения, а также маски участков; проводить автоматически кластеризацию объектов на изображении и др.

Программа предназначена для выполнения экологической интерпретации моделей пятнистости моря. Последовательность основных этапов показана на рис.1. Была разработана методика космического мониторинга морских акваторий, которая реализуется с помощью разработанного программного комплекса.

Методика космического мониторинга состоит из ряда этапов. Обязательным является наличие моделей объектов исследования, включающих в себя все виды загрязнений, характерных для рассматриваемых акваторий. В конечном результате различные загрязнения удобно представлять в виде моделей пятнистости.

Новизна данной разработки состоит в том, что данные, поступающие в программу для обработки, будут анализироваться автоматически, что исключает возможные ошибки, связанные с собственным видением оператора. При обработке снимков выполняется определенный набор операций, который позволяет в конечном итоге определить тип загрязнения. Были выделены основные дешифровочные признаки, проанализировав которые, можно сделать вывод о природе интересующего участка (см. рис. 2). В разрабатываемом



программном обеспечении рассмотрены только два из них – форма и яркость. Текстура пятен и динамика их изменений анализируются оператором для более детального изучения.



Рис. 1. Методика космического мониторинга морских акваторий

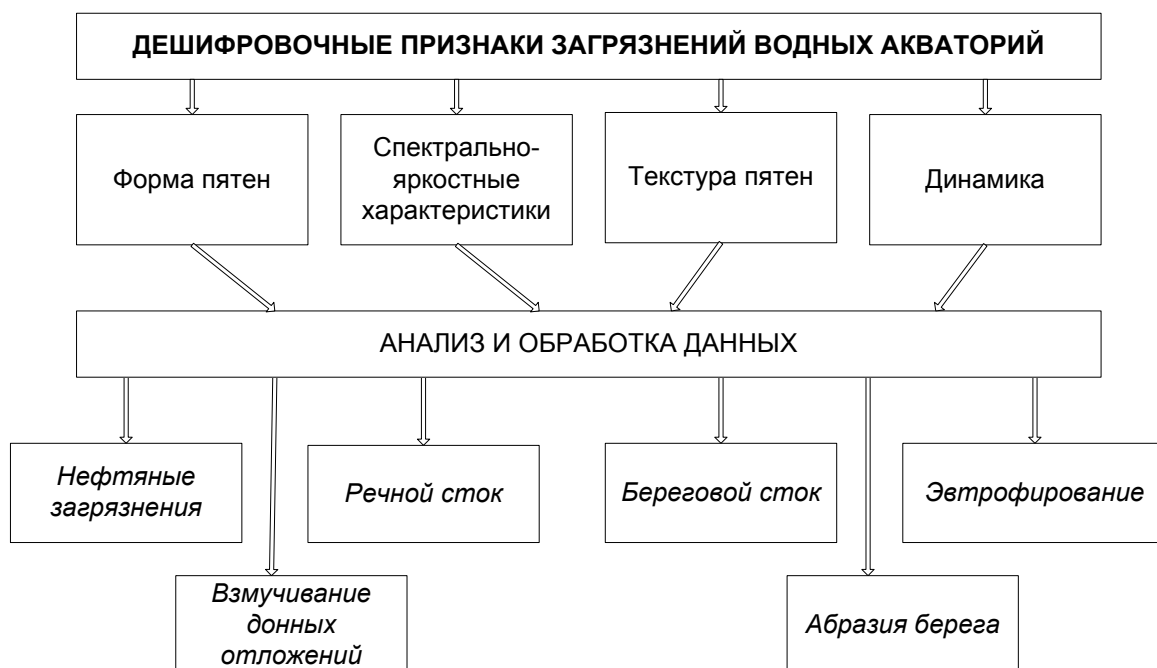


Рис. 2. Определение видов загрязнений

На рис. 3 – 6 показаны некоторые этапы обработки снимка Азовского моря. Все операции выполнялись с помощью разрабатываемой программы.



Рис. 3. Снимок Азовского моря со спутника Terra MODIS

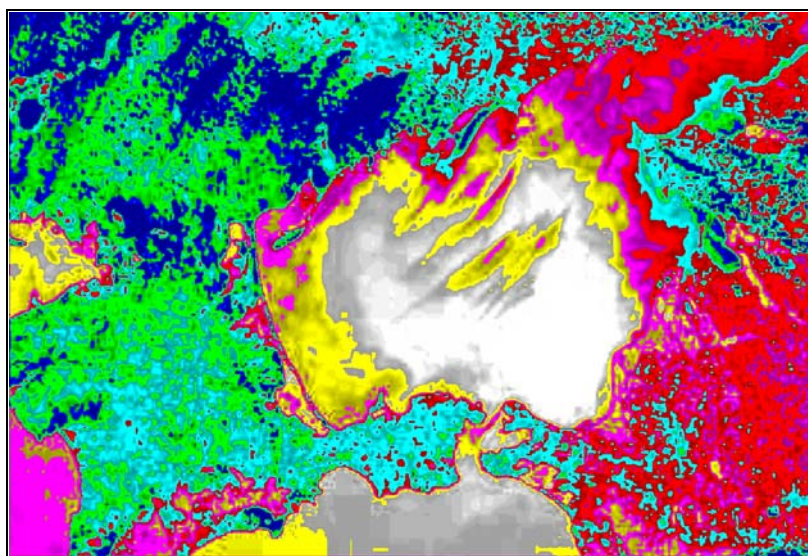


Рис. 4. Применение цветовой палитры

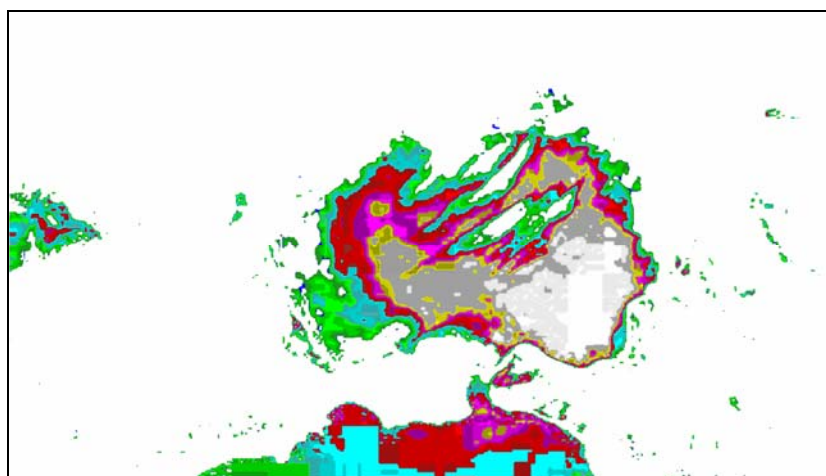


Рис. 5. Выделение аномальных участков на морской акватории



Рис. 6. Оконтуривание интересующего участка

### Выводы

В статье представлены результаты разработки технологии мониторинга морских акваторий по материалам их космических съёмок в оптическом диапазоне. Технология основана на методике картографирования пятнистости моря – оконтуривания участков с квазиоднородными значениями зональных яркостей, вариации которых обусловлены растворенными и взвешенными веществами, а также поверхностными пленками. Картографирование пятнистости реализуется разработанным программным комплексом, предназначенным для тематической обработки снимков. Классификация пятнистости осуществляется с использованием разработанных дешифровочных признаков основных видов загрязнения моря. В дальнейшем планируется полная автоматизация процесса определения типов загрязнений, что позволит избежать ошибок оператора при обработке пачки изображений.

### Список литературы

1. Перспективы практического применения материалов космических съёмок Земли при управлении чрезвычайными ситуациями / Г.Я. Красовский, В.С. Готынян, В.В. Брук, Е.В. Славков: Матеріали Третьої Укр. наради користувачів аерокосм. інформації. – К., 20 – 24 листопада 2000. – С.117 – 128.
2. С.Х. Кубланов, Р.В. Шпаківський. Моніторинг довкілля: Навч. пос. – К.: ДІПКПК МКУ, 1998. – 92 с.
3. Е.П. Буравлев, В.С. Стогний. Проблемы мониторинга водного бассейна // Химия и технология воды. – 1993. – Т.15. – № 7 – 8. – С.516 – 522.
4. В.В. Брук. Исследование загрязнения водных объектов взвешенными веществами по материалам космических съёмок: Дис. ... канд. техн. наук. – Харьков. 1991.
5. Brown Steven W., Johnson B. Carol. Advances in radiometry for ocean color. Earth Observing Systems VIII // Proc. of SPIE. – Vol. 5151. – 2003.– P. 441-453.
6. Г.Я. Красовский, В.А. Петросов. Інформаційні технології космічного моніторингу водних екосистем і прогнозу водоспоживання міст.-К.: Наукова думка, 2003. – 224 с.
7. Комп'ютеризовані регіональні системи державного моніторингу поверхневих вод: моделі, алгоритми, програми / В.Б. Мокін, М.П. Боцула, Г.В. Горячев та ін.; За ред. В.Б. Мокіна: Монографія. – Вінниця: «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 2005. – 310 с.

## Алгоритмическая модель для решения задачи поиска оптимальной стратегии реконструкции сахарного завода

*Национальный технический университет  
“Харьковский политехнический институт”*

### Введение

В настоящее время сахарная промышленность Украины имеет все шансы стать рентабельной отраслью народного хозяйства благодаря благоприятным климатическим и грунтовым условиям, обуславливающим получение высоких урожаев сахарной свеклы, и, следовательно, возможность развития сахарного производства. Для этого необходимо решить задачу разработки оптимальной стратегии реализации последовательных взаимосвязанных технологических, управленческих и экономических мероприятий, направленных на повышение производительности и эффективности работы предприятий, занимающихся свекло-сахарным производством.

Характерной особенностью сахарного производства является зависимость результатов производства от конструктивных особенностей технологического процесса и качества сырья. В работе [1] авторами был рассмотрен ряд диффузионных установок, которые нашли промышленное применение на сахарных заводах нашего государства, предложены варианты по усовершенствованию их конструкций, обоснован выбор оптимального плана реконструкции и развития.

В данной статье предложен подход к формализации задачи поиска производительности технологического процесса получения сахара с учетом качества сахарной свеклы. На качество сахарной свеклы влияют: температурные условия (оптимальный диапазон составляет 18–22 °С, допустимый – 10–30 °С) [2]; влажность почвы; аэрация почвы; наличие питательных веществ, поступающих через корневую систему из почвы; использование удобрений. Неблагоприятные условия ведут к снижению урожайности и качества свеклы. Поскольку на климатические условия произрастания и условия хранения чаще всего повлиять невозможно, при расчете производительности процесса производства сахара необходимо учитывать неопределенный характер показателя качества корнеплодов.

### Описание модели

Проведем анализ факторов, влияющих на качество сахарной свеклы. Согласно работе [2] качество характеризуется степенью загрязнённости, концентрацией несахаров в свекловичном соке, процентным содержанием сахарозы – коэффициентом сахаристости. Средняя сахаристость сахарной свеклы, поступающей на производство, может меняться в интервале 14–18%.

Запишем зависимость, позволяющую рассчитать выход сахара в процентах, используя установленный показатель чистоты диффузионного сока [3]:

$$V_{cx} = (k_{cx} - 0,99) \left( 1 - 1,35 \frac{100 - \mathcal{U}}{\mathcal{U}} \right),$$

где  $k_{cx}$  – сахаристость свеклы, определённая поляриметрическим методом (%);  $\mathcal{U}$  – чистота диффузионного сока (%); 0,99 – плановые потери сахарозы в произ-

водстве до мелассы; 1,35 – мелассообразующий коэффициент, характерный для данного завода.

Следовательно, зная количество поступившей на переработку свеклы ( $x$ ), в тоннах, можно рассчитать выход товарного сахара ( $Vx_{cx}$ ). Обозначим  $(100 - \chi)/\chi$  через  $k_\chi$ , тогда

$$Vx_{cx} = (k_{cx} - 0,99)(1 - 1,35k_\chi)x = [(1 - 1,35k_\chi)k_{cx} + (1,337k_\chi - 0,99)]x, \text{ т.}$$

Поскольку значение величины  $k_\chi$  может быть получено экспериментальным путем в лабораторных условиях, то можно утверждать, что имеет место линейная зависимость вида  $(ak_{cx} + b)x$ , где  $a = 1 - 1,35k_\chi$ ;  $b = 1,337k_\chi - 0,99$ .

Переходя к расчету производительности работы завода с учетом внедряемых вариантов развития, можно переписать полученную зависимость следующим образом:

$$Vx_{cx} = f(x, k_{cx}, k_j) = k_j (ak_{cx} + b)x,$$

где  $k_j$  – коэффициент, учитывающий изменения производительности завода после внедрения  $j$ -го варианта развития технологического процесса.

Будем рассчитывать производительность сахарного завода  $A_t^{(h)}$  по трем типам продукции: сахар ( $h = 1$ ), жом ( $h = 2$ ) и электроэнергия ( $h = 3$ ):

$$A_t^{(1)} = \begin{cases} f(x, k_{cx}, k_j), & j \neq 0; \\ f(x, k_{cx}), & j = 0. \end{cases}$$

Коэффициент сахаристости сахарной свеклы  $k_{cx}$  зависит от целого ряда факторов, на которые невозможно повлиять. Величина коэффициента носит неопределённый характер и поэтому должна описываться при помощи аппарата, который позволит учитывать её недетерминированность. В данной работе будем описывать сахаристость как случайную величину, характеризующуюся нормальным законом распределения,

$$\varphi(k_{cx}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(k_{cx} - m)^2}{2\sigma^2}},$$

где  $m$  – средняя сахаристость,  $\sigma$  – диапазон изменения сахаристости.

Выбор закона распределения можно обосновать центральной предельной теоремой теории вероятности.

Получим закон распределения для случайной величины выхода сахара. Так как случайная величина  $k_{cx}$  подчинена нормальному закону распределения, а  $Vx_{cx}$  связана с  $k_{cx}$  линейной функциональной зависимостью вида  $y = ak_{cx} + b$  ( $a, b$  – неслучайные аргументы), то можно утверждать, что закон распределения линейной функции  $y$  также будет нормальным с математическим ожиданием и дисперсией:

$$m_y = a m_x + b, \quad \sigma_y = |a| \sigma_x.$$

Если предположить, что величина показателя чистоты диффузионного сока  $k_ч$  также является случайной величиной (неопределённость чистоты сиропа может быть связана с тем, что анализ пробы, взятой в ходе процесса диффундирования из диффузионного аппарата был осуществлен с некоторой неточностью), то для получения закона распределения величины выхода сахара и производительности нужно решить задачу определения закона распределения произведения двух случайных величин  $k_ч$  и  $k_{сх}$ .

В общем случае, при известной совместной плотности вероятности  $\varphi_2(k_{сх}, k_ч)$ , закон распределения функции двух случайных величин  $k_{сх}$  и  $k_ч$  можно получить следующим образом [4]:

$$\varphi(z) = \frac{d}{dz} \iint_D \varphi_2(k_{сх}, k_ч) dk_{сх} dk_ч,$$

где  $D$  – область, ограниченная проекцией пересечения поверхности  $z = f(k_{сх}, k_ч)$  с плоскостью, параллельной плоскости  $(k_{сх}, k_ч)$ .

Поскольку случайные величины  $k_{сх}$  и  $k_ч$  независимы, то согласно [5]

$$\varphi(z) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_{сх}(u) \varphi_ч\left(\frac{z}{u}\right) \frac{du}{|u|}.$$

Аналогичным способом будет строиться закон распределения для функции суммы двух случайных величин, описанных произвольными законами распределения [4, 5]:

$$\varphi(y) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_z(u) \varphi_{сх}(y - u) du.$$

Перейдем к рассмотрению вопросов расчета производительности сахарного завода для побочных продуктов производства ( $h = 2, 3$ ).

Согласно работе [2], приблизительный химический состав корнеплодов сахарной свеклы можно представить схемой, приведенной на рис. 1.

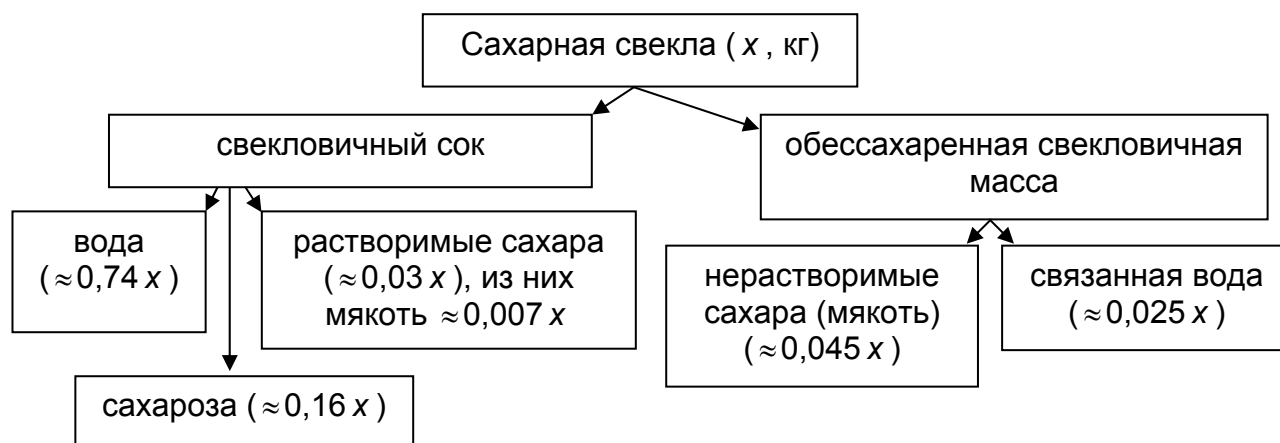


Рис.1. Химический состав корнеплода сахарной свеклы

Выход жома определяют по балансовому уравнению масс сухих веществ в продуктах диффузионного процесса [3]. Выход прессованного жома в кг можно рассчитать по формуле

$$Bx_{пж} = \frac{k_{ж} \cdot x \cdot V_{ж} (1 - n_{пж})}{V_{пж}},$$

где  $k_{ж}$  – коэффициент содержания сырого жома, который зависит от типа используемого диффузионного аппарата;  $V_{ж}$  – коэффициент содержания сухих веществ в сыром жоме;  $V_{пж}$  – коэффициент содержания сухих веществ в прессованном жоме, колеблющийся в пределах 12–25%;  $n_{пж}$  – коэффициент нормативных потерь при прессовании.

Поскольку в качестве кормов используется сухой жом, перед реализацией прессованный жом проходит дополнительную обработку – сушку, в результате которой на выходе получают жом с содержанием  $V_{сж} = 86–88\%$  сухих веществ. Тогда

$$Bx_{сж} = \frac{Bx_{пж} \cdot V_{пж}}{V_{сж}} = \frac{0,7 \cdot x \cdot V_{ж} (1 - n_{пж})}{V_{сж}}.$$

Следовательно,

$$A_t^{(h)} = \begin{cases} A_t^{(1)} = Bx_c = \begin{cases} k_j (k_{сх} - 0,99)(1 - 1,35k_{ч})x, & j \neq \emptyset, \\ (k_{сх} - 0,99)(1 - 1,35k_{ч})x, & j = \emptyset, \end{cases} \\ A_t^{(2)} = Bx_{ж} = \frac{0,7 \cdot x \cdot V_{ж} (1 - n_{пж})}{V_{пж}}, \\ A_t^{(3)} = const. \end{cases} \quad (1)$$

Величина  $A_t^{(3)}$  постоянна, поскольку варианты развития не влияют на производительность турбоагрегата.

### Результаты исследований

На рис. 2 представлена зависимость производительностей завода по производству сахара ( $f_1$ ) и жома ( $f_2$ ) от сахаристости свеклосахарной стружки  $k_{сх}$ .

В таблице приведены значения функции  $f_1$  при варьировании двух параметров: сахаристости  $k_{сх}$  в интервале (0,14–0,18), чистоты свекловичного сока  $Ч$  в интервале (0,87–0,92) и  $x = 3000$  т.

Таблица. Значения величины выхода сахара

$k_{ч} \backslash k_{сх}$	0,140	0,145	0,150	0,155	0,160	0,165	0,170	0,175	0,180
0,149	389,513	404,482	419,452	434,422	449,392	464,361	479,331	494,301	509,271
0,136	389,581	404,554	419,526	434,499	449,471	464,443	479,416	494,388	509,361
0,124	389,649	404,624	419,599	434,574	449,549	464,524	479,499	494,474	509,449
0,111	389,715	404,692	419,670	434,647	449,625	464,602	479,580	494,557	509,535

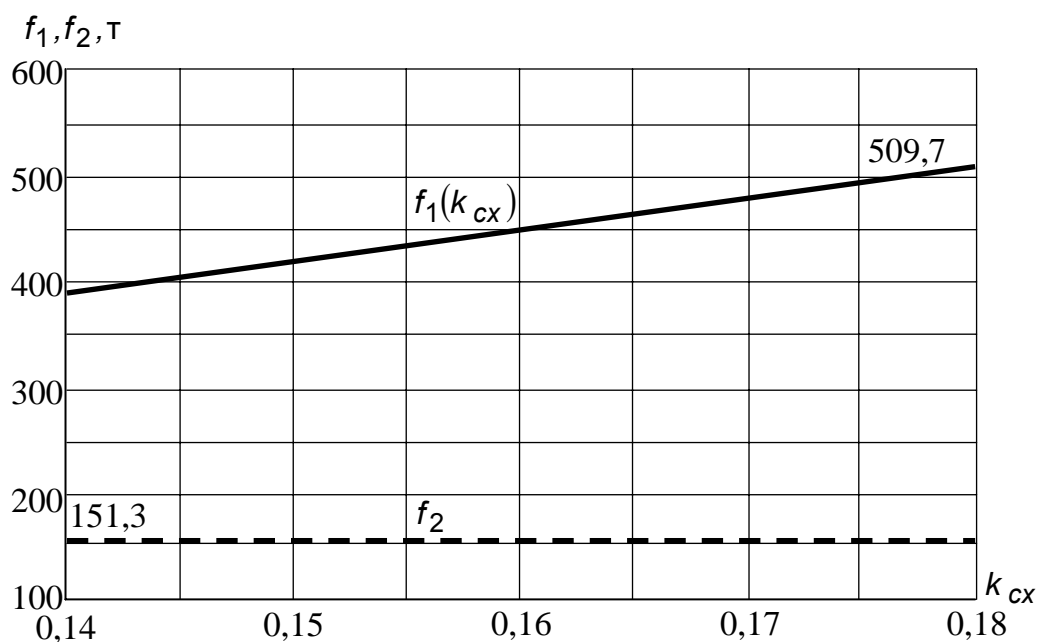


Рис. 2. Графики производительности по сахару и жому

0,099	389,779	404,759	419,739	434,719	449,699	464,679	479,659	494,639	509,619
0,087	389,842	404,824	419,807	434,789	449,771	464,754	479,736	494,719	509,701

Очевидно, что при увеличении коэффициента сахаристости до 18% наблюдается рост значения величины выхода сахара. На выход жома влияние данного параметра незначительно.

### Выводы

1. Изучены основные факторы, влияющие на производительность сахарных заводов. 2. Проведен анализ методик расчета выхода сахара, полученного в процессе переработки свекловичной стружки. 3. Предложен подход, позволяющий формализовать проблему учета неопределенности качества свеклы, поступающей на сахарные заводы. 4. Разработана алгоритмическая модель для расчета производительности технологического процесса получения продуктов сахарного производства. 5. Приведены результаты расчетов при различных значениях параметров модели. 6. Результаты исследований использованы при разработке информационной технологии поддержки принятия решений при формировании стратегии развития сахарного завода [1].

### Список литературы

1. Кононенко И.В., Шатохина Н.В. Разработка стратегии развития предприятия с применением оптимизационно-имитационного подхода на примере сахарного производства // Геометрическое и компьютерное моделирование. – Х.: ХДУХТ. – 2006. №16 (в печати).
2. Сапронов А.Р. Технология сахарного производства.– М.: Колос, 1999.– 495 с.
3. Михатова Г.Н., Каганов И.Н. Расчет продуктов сахарного производства.– М.: Пищевая промышленность, 1973. – 160 с.
4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969.– 576 с.
5. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. В 2 кн. – М.: Сов.радио, 1969. – Кн. 1.– 751с.



## **Система управления экономическими рисками в процессе инвестиционной деятельности**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»*

Проблема формирования эффективной инвестиционной политики является одной из самых актуальных в период становления в Украине рыночных отношений и интеграции украинской экономики в международный рынок. Развитие общества в целом и отдельных хозяйствующих субъектов базируется на расширенном воспроизводстве материальных ценностей, обеспечивающем увеличение дохода. Одним из основных средств обеспечения роста дохода является инвестирование. Инвестиции в любой проект сопряжены с определенными рисками. Проект может оказаться нереализованным, неэффективным или менее эффективным, чем ожидалось.

Понятие “риск” встречается во многих общественных и естественных науках, при этом каждая из них имеет собственные цели и методы исследования риска.

Специфика экономического аспекта риска связана с тем, что риск, несмотря на ожидаемый финансовый выигрыш, отождествляется с возможным материальным ущербом, вызванным реализацией выбранного хозяйственного, организационного или технического решения, и/или неблагоприятным воздействием окружающей среды, включающим в себя изменение рыночных условий, форс-мажорные обстоятельства и т.д. Существует много определений экономического риска, но в основном все они сводятся к вероятности недополучения прибыли, т.е. к возможности получения ущерба.

Риск – потенциальная, численно измеримая возможность неблагоприятных ситуаций и связанных с ними последствий в виде потерь, убытков, ущерба, например потенциально возможная вероятность недополучения ожидаемой прибыли в связи с неопределенностью, т. е. с изменением условий экономической деятельности, неблагоприятными, в том числе и форс-мажорными, обстоятельствами; возможность получения непредсказуемого результата в зависимости от принятия управленческого решения [1].

Риск – это вероятность возникновения убытков или недополучения доходов по сравнению с прогнозируемым вариантом [2].

Риск – вероятность (угроза) потери предприятием части своих ресурсов, недополучение доходов или появление дополнительных расходов в результате осуществления хозяйственной деятельности [2].

Анализируемые формулировки трактуют риск как возможность понести потери, однако на практике существует возможность получения неожиданного дополнительного дохода.

Таким образом, под риском следует понимать следствие действия либо бездействия, в результате которого существует реальная возможность получения неопределенных результатов различного характера, как положительно, так и отрицательно влияющих на финансово-хозяйственную деятельность субъектов хозяйствования.

Следовательно, экономический риск – это возможность отклонения от цели, ради достижения которой было принято управленческое решение.

Неопределенность – неполнота или неточность информации об условиях реализации проекта, в том числе, связанных с ними затратах и результатах. Неопределенность предполагает наличие факторов, при которых результаты действия не являются детерминированными, а степень возможного влияния этих факторов на результаты неизвестна [1].

В экономической литературе различают следующие неопределенности инвестиционных рисков [3]:

- нестабильность экономического законодательства и текущей экономической ситуации, условий инвестирования и использования прибыли;
- для внешнеэкономических рисков – возможность введения ограничений на торговлю и поставки;
- неопределенность политической ситуации, неблагоприятные социально-экономические изменения в стране и регионе;
- неполноценность или неточность информации о динамике технико-экономических показателей, параметрах новой техники и технологии;
- колебание рыночных курсов, цен, рыночной конъюнктуры;
- неопределенность природно-климатических условий, возможность стихийных бедствий;
- производственно-технологический риск;
- неопределенность целей, интересов;
- неполноценность или неточность информации о финансовом положении и деловой репутации предприятий-участников.

Управление рисками (риск-менеджмент) – совокупность методов анализа и нейтрализации факторов рисков, объединенных в систему планирования, мониторинга и корректирующих воздействий [1, 6].

В первую очередь управление рисками предполагает [4, 5]:

- использование всех возможных (допустимых с морально-этических и правовых взглядов) способов для того, чтобы избежать недопустимо высокого уровня риска, связанного с катастрофическими убытками;
- оптимизацию уровня риска или максимально возможное уменьшение объемов и вероятностей возможных убытков или отклонений от поставленных целей;
- принятие (сохранение) или даже увеличение уровня риска в случае, когда это необходимо.

Управление рисками инвестиционной деятельности включает в себя три основные позиции:

- определение последствий деятельности экономических субъектов в условиях риска;
- построение процесса адаптации и функций управления к постоянно меняющимся условиям;
- разработка и осуществление мер, с помощью которых могут быть нейтрализованы или компенсированы вероятные негативные результаты действий.

Система анализа рисков, как и любая система в целом, имеет определенную структуру, которая показана на рис. 1.

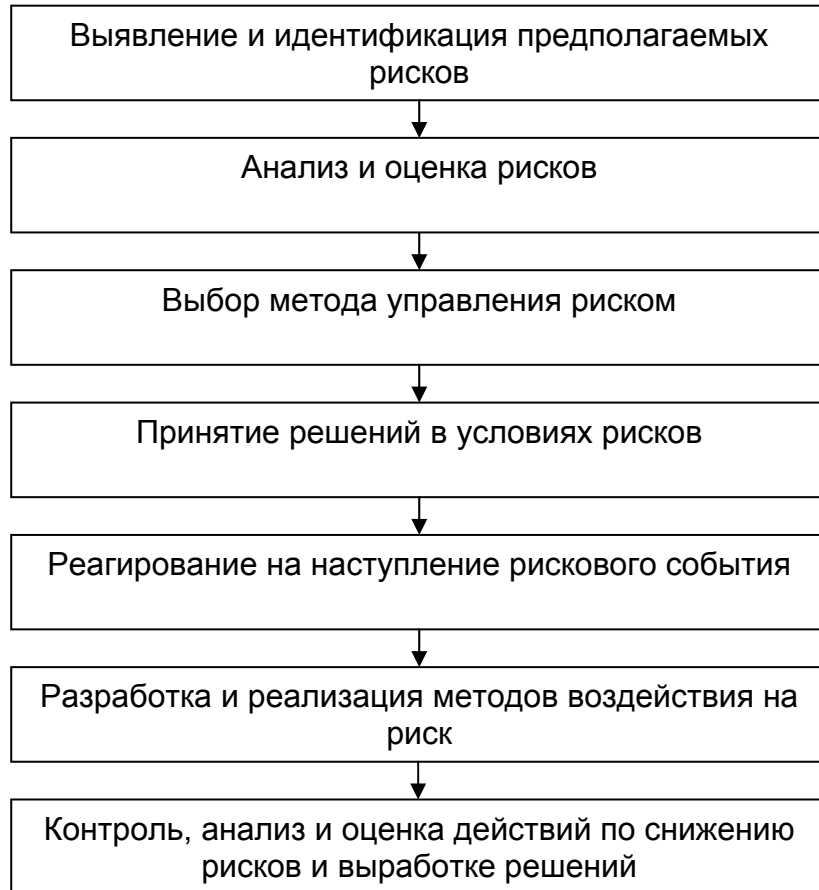


Рис. 1. Структура системы анализа рисков

Выявление и идентификация рисков – систематическое определение и классификация событий, которые могут отрицательно повлиять на результат деятельности.

Классификация рисков – качественное описание рисков по различным признакам [1].

Анализ рисков – процедуры выявления факторов рисков и оценки их значимости, по сути анализ вероятности того, что произойдут определенные нежелательные события и отрицательно повлияют на достижение целей инвестиционного проекта. Анализ рисков можно разделить на два взаимодополняющих друг друга вида: качественный и количественный. Качественный анализ имеет целью определить факторы, области и виды рисков. Количественный анализ рисков должен дать возможность численно определить размеры отдельных рисков и риска инвестиционного проекта в целом.

Оценка рисков – это определение количественным и качественным способами величины (степени рисков) [1].

Основные методы анализа и оценки рисков показаны на рис. 2.

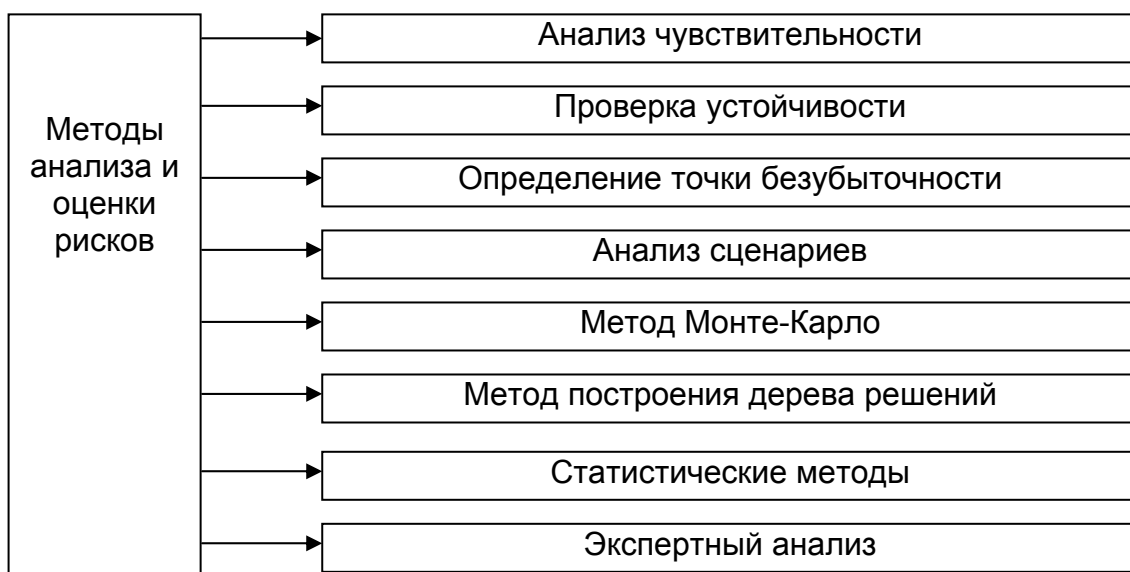


Рис. 2. Основные методы анализа и оценки рисков

Основные методы воздействия на риск показаны на рис. 3.



Рис. 3. Основные методы воздействия на риск

Целью данной статьи является рассмотрение системы управления рисками в процессе инвестиционной деятельности, разработка обобщенной схемы управления рисками, а также разработка рекомендаций по применению методов управления рисками в процессе инвестиционной деятельности

Риски связаны с тем, что доход от любого проекта является случайной, а не детерминированной величиной (т.е. неизвестной в момент принятия решения об инвестировании), равно как и величина убытков. Таким образом, при анализе инвестиционного проекта на стадии еще прединвестиционных исследований следует учесть факторы рисков, выявить как можно больше видов рисков и постараться минимизировать общие риски проекта.

Таким образом, управление инвестиционной деятельностью в условиях неопределенности и рисков – это процесс выявления уровня отклонений в прогнозируемом результате, принятие и реализация управленческих решений, что позволяет предупредить или уменьшить негативное влияние на процесс и результаты восстановления случайных факторов, одновременно обеспечивая высокий уровень дохода.

Процесс управления риском обеспечивает соответствующий механизм решения проблемы уменьшения риска. Выбирая способ управления экономическим риском, менеджер должен руководствоваться следующими основными принципами:

- нецелесообразно рисковать многим ради малого;
- нельзя рисковать больше, чем позволяет собственный капитал;
- необходимо заранее думать о последствиях риска;
- положительное решение следует принимать при отсутствии сомнений.

Процесс управления всегда предполагает получение, передачу, переработку и практическое использование информации. Приобретение надежной и достаточной в конкретных условиях информации играет главную роль, поскольку помогает принять правильное управленческое решение.

Требования, характеризующие качество информации, должны быть следующими:

- достоверность (корректность) информации - мера приближенности информации к первоисточнику или точность передачи информации;
- объективность информации - мера отражения информацией реальности;
- порядок информации – рациональное количество передаточных звеньев между первоисточником и конечным пользователем;
- полнота информации - отражение исчерпывающего характера соответствия полученных сведений целям сбора;
- релевантность - степень приближения информации к существу вопроса или степень соответствия информации поставленной задаче;
- актуальность информации (значимость) - важность информации для оценки риска;
- приемлемая стоимость информации.

Система управления инвестиционной деятельностью экономических систем в условиях неопределенности и рисков включает в себя процесс разработки цели инвестиционной деятельности, определение вероятности наступления случая, определение степени и размера риска, анализ внешней среды, выбор стратегии управления риском, выбор необходимых для данной стратегии приемов управления риском и способов его снижения.

В целом система управления рисками инвестиционной деятельности должна быть в состоянии постоянно модифицироваться с использованием комплекса методов управления на всех этапах адекватно поступающим информационным потокам, т. е. постоянно адаптироваться к изменениям внешней среды, которые возникают в процессе инвестиционной деятельности.

Следовательно, в системе должна быть предусмотрена подсистема разработки методов управления рисками в процессе инвестиционной деятельности, обусловленная особенностями постоянных входящих информационных потоков. К таким методам относятся:

- управление на основании контроля, которое допускает, что будущее является повторением прошлого;
- управление на основе экстраполяции, которое допускает, что по ряду параметров прошлое служит базой для определения тенденций будущего развития;
- управление на основе предвидения изменений, которое допускает, что на основании данного предвидения можно предположить тенденции будущего развития;

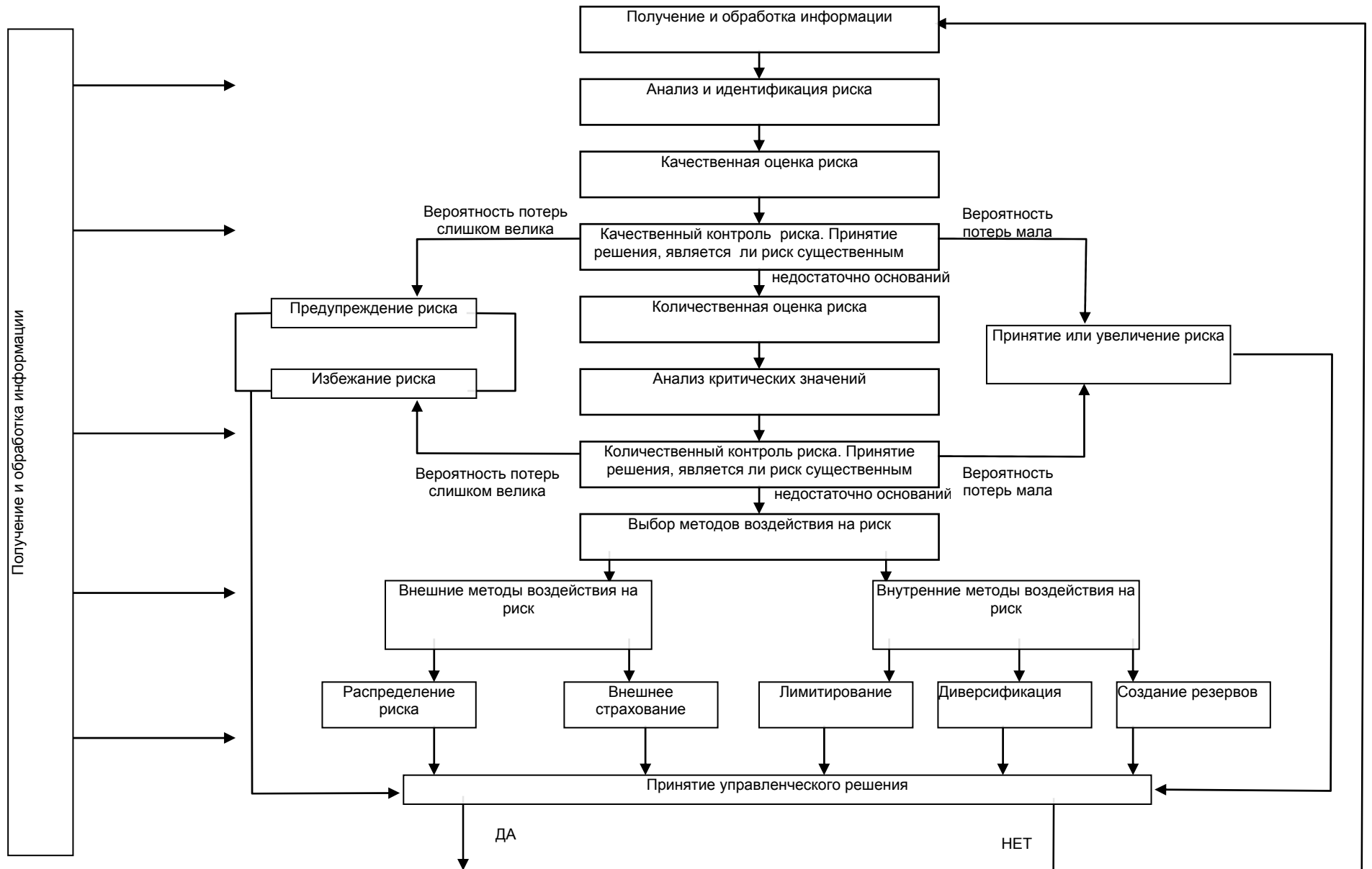


Рис. 4. Обобщенная схема процесса управления риском при инвестиционной деятельности

- управление на основании «гибких немедленных решений», которое допускает постоянную модификацию как основное качество системы управления инвестиционной деятельностью экономических систем в условиях неопределенности.

Основными принципами эффективного управления инвестиционной деятельностью с учетом фактора неопределенности являются:

- оптимальное соотношение централизации и децентрализации управления инвестиционной деятельностью с учетом фактора неопределенности;
- научность процесса организации аналитического обеспечения методического аппарата управления инвестиционной деятельностью с учетом фактора неопределенности;
- определение новых целей и задач усовершенствования организации аналитического обеспечения методического аппарата управления инвестиционной деятельностью;
- непрерывное усовершенствование управления инвестиционной деятельностью;
- информационная достаточность управления инвестиционной деятельностью;
- постоянное повышение квалификации менеджеров по управлению инвестиционной деятельностью с учетом фактора неопределенности.

**Выводы.** На основании анализа доступных литературных источников авторами разработана обобщенная схема процесса управления риском в процессе инвестиционной деятельности, основанная на диалоговых человеко-машинных процедурах (рис. 4).

Специфика развития современного менеджмента делает не только возможным, но и необходимым проведение системного исследования риска. Последующие исследования могут быть направлены на выявление сущности, элементов и свойств, которые создают целостность понятия риска, как многогранного комплексного явления, являющегося важной составляющей частью в экономической теории и практике хозяйствования на всех уровнях иерархии управления.

В целом, проблема управления экономическими рисками в процессе инвестиционной деятельности недостаточно исследована и требует дальнейшего развития и усовершенствования.

### Список литературы

1. Мазур И.И., Шапиро В.Д. Управление проектами. – М.: Высш. шк., 2001.
2. Клебанова Т.С., Раевнева Е.В. Теория экономического риска. – Х.: Издательский дом «ИНЖЕК», 2003.
3. Тэпман Л.Н. Риски в экономике:./ Под. ред. проф. В.А. Швандера. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002.
4. Балабанов И.Т. Финансовый менеджмент. – М.: Финансы и статистика, 1994. -
5. Прыкин Б.В. Техничко-экономический анализ производства. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000.
6. Мочернй С.В. Усенко А.А., Чеботар С.И. Основы предпринимательской деятельности. – К.: Издательский центр «Академия», 2003.

## **Методика мониторинга техногенного загрязнения осаждения пыли в окрестностях крупных городов Украины в ArcGis 9.1**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*

Проблема загрязнения атмосферы возникла с индустриальным развитием больших государств и особо острой стала в наше время, что отразилось в многочисленных актах, протоколах (Киотский, Монреальский) и конвенциях международных заседаний (Женевская), конференциях и советах [1].

Ратифицировав Киотский протокол, Украина получила возможность реализовать не используемые ею квоты по выбросам парниковых газов в атмосферу на общую сумму до \$2,5 млрд. По подсчетам экспертов, Украина, исходя из показателей на 2004 г., сможет предложить на рынок квоту на 146 млн. тонн углекислого газа ежегодно, являясь вторым по величине потенциальным продавцом CO<sub>2</sub> (после России с 300 млн. тонн) [2]. Поэтому актуальной представляется задача регионального мониторинга тех прилегающих районов областей, выбросы в которых наиболее интенсивны.

Существуют разные подходы к мониторингу техногенного загрязнения атмосферы. На предприятиях используют математические модели расчета концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе, например, согласно нормативному документу «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий ОНД-86 Госкомгидромет». Недостаток методики – большое количество входных данных, определение фактических значений которых в режиме реального времени связано со значительными технологическими трудностями. Кроме того, получая реальное распределение, а не концентрические окружности, следует учитывать статистические данные силы и направления ветра за определенный промежуток времени, что нельзя отнести к достоинствам, так как уменьшается оперативность и увеличивается объем входных данных.

Другой подход состоит в применении технологий ГИС/ДЗЗ по космическим снимкам. Недостатки метода заключаются в неоперативности получения результата, так как для точности результата требуется промежуток времени оседания и накопление загрязнения, а достоинства – в получении реального распределения загрязнения, а не прогнозируемого [3]. Доступность и постоянное снижение цен на космические снимки, а также автоматизация обработки в ГИС делают этот метод более быстрым и удобным, так требуют меньше входных данных и человеческих ресурсов.

Различные математические модели распространения загрязнения атмосферы используют разное количество переменных и граничных условий для его описания. При этом чем точнее модель, тем больше входных данных приходится учитывать и тем сложнее проводимые математические расчеты производятся. При построении картографических моделей загрязнения приземного слоя атмосферы с использованием инструментов современных геоинформационных систем (ГИС) можно автоматизировать обработку необходимой исходной информации и получать результаты с высоким



пространственным разрешением. В большинстве математических расчетов в ГИС используются численные модели построения, т.е. вычисление значения в каждой точке. Для этого требуется перевести векторные данные в растровые. В ArcGIS это называется или Grid (версии с 2х по 8х), или Raster (для версий 9х). В данной статье пример обработки проводился в ArcGIS v9.1. Когда речь идет о растровых (точечных) изображениях и перевода из векторных в растровые и обратно всегда следует помнить о генерализации, в частности о степени точности перевода и выбора размера ячейки Cell Size, который в процессе обработки переходит в пиксел (pixel - пиксел, т.е. минимальный элемент изображения). Правильный выбор размера ячейки может существенно сэкономить время обработки, что особенно важно в кризисных и чрезвычайных ситуациях.

Автоматизация доступна в режиме как пошагового выполнения пользователем перечня инструкций оператора автоматизированного рабочего места (АРМ), так и полной автоматизации с помощью внутреннего языка программирования, который кроме своей базы работает с различными компонентами и библиотеками других современных языков программирования. При этом стоит позаботиться о стандартизации и структурировании входных данных или о контрольных точках наблюдения за процессом.

Исходные данные:

- 500 тыс. электронная карта Украина содержащая следующие слои:
  - 1) математические элементы, элементы плановой и высотной основы;
    - 1.2) *отметки высот;*
  - 2) рельеф суши;
    - 2.1) *рельеф, выраженный горизонталями;*
    - 2.2) *формы рельефа, которые не выражаются горизонталями;*
  - 3) гидрография и гидротехнические сооружения;
    - 3.1) *гидрография;*
    - 3.2) *гидротехнические сооружения;*
    - 3.3) *переправы и морские пути;*
  - 4) населенные пункты;
  - 5) промышленность, сельскохозяйственные и социально-культурные объекты;
    - 5.1) *промышленные объекты;*
    - 5.3) *социально-культурные объекты;*
  - 6) дорожная сеть и дорожные сооружения;
    - 6.1) *железные дороги и железнодорожные пути;*
    - 6.2) *пути автомобильные и пр.;*
  - 7) растительный покров и грунты;
    - 7.1) *растительный покров;*
    - 7.2) *грунты;*
  - 8) политико-административное устройство, изгороди и отдельные естественные явления и объекты;
    - 8.1) *политико-административное устройство.*
- космические снимки спутника Terra аппарата Modis за период февраль – март (время устойчивого снежного покрова в 2005 г.).

На первом этапе привязываются спутниковые снимки. На рис. 1-2 показаны примеры электронной карты с привязанным космическим снимком.

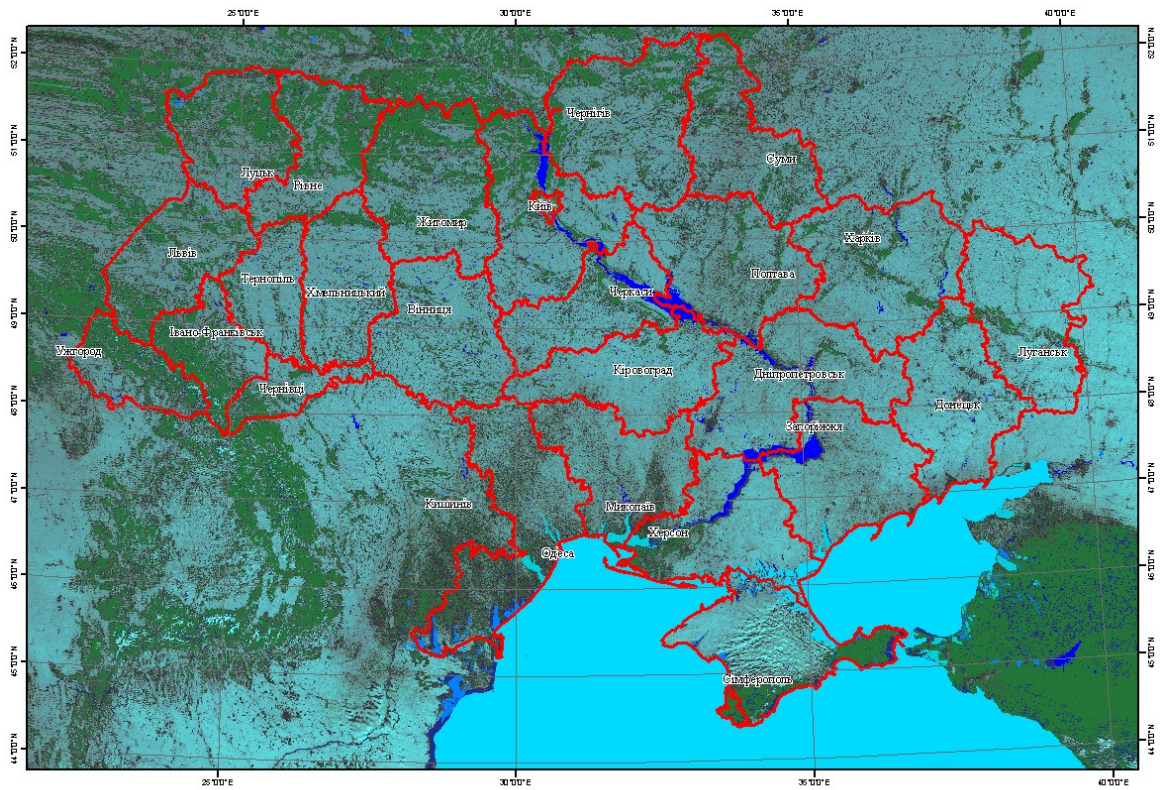


Рис. 1. Электронная карта Украины с привязанным зимним снимком аппаратуры Modis

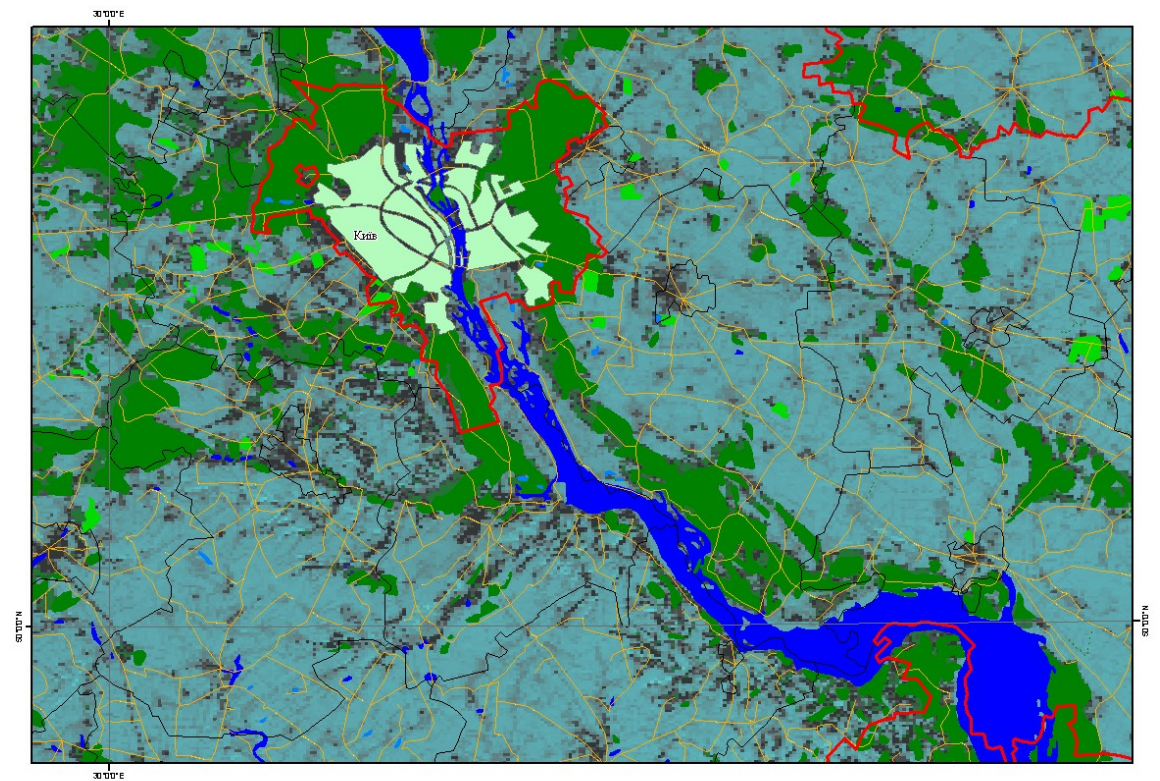


Рис. 2. Фрагмент электронной карты в окрестностях г. Киева с привязанным зимним снимком аппаратуры Modis

На втором этапе обрабатываются снимки. Необходимо активировать дополнительную панель инструментов 3D Analyst, (вызвать Tools – Extensions и установить галочку напротив 3D Analyst). Вызвав эту панель, (View – Toolbars - 3D Analyst), следует выбрать 3D Analyst – Surface Analysis – Contour (рис.3) для автоматического построения изолиний. Принцип состоит в оконтуривании участков узкого цветового диапазона, так что иногда требуется предварительная обработка снимка.

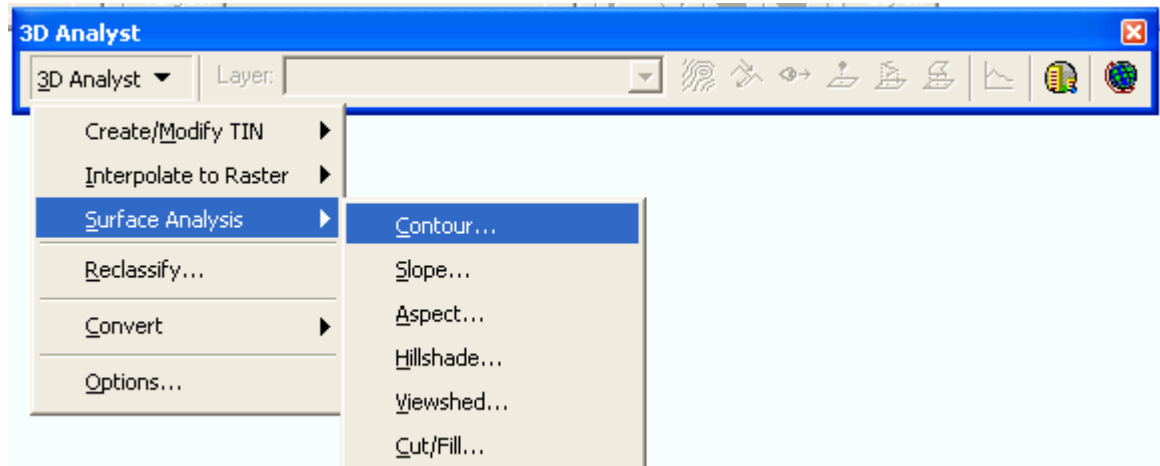


Рис. 3. Выбор автоматического построения изолиний

Окно с параметрами Contour показано на рис. 4. Input surface – путь к привязанному снимку. Contour interval – шаг следования изолиний в единицах карты. Base contour – базовый, начальный контур (0 – уровень мирового океана). Z factor – масштаб по оси Z для дальнейшего отображения в приложениях 3D графики (1 - плоскость). Output features – путь и название выходного векторного слоя с изолиниями.

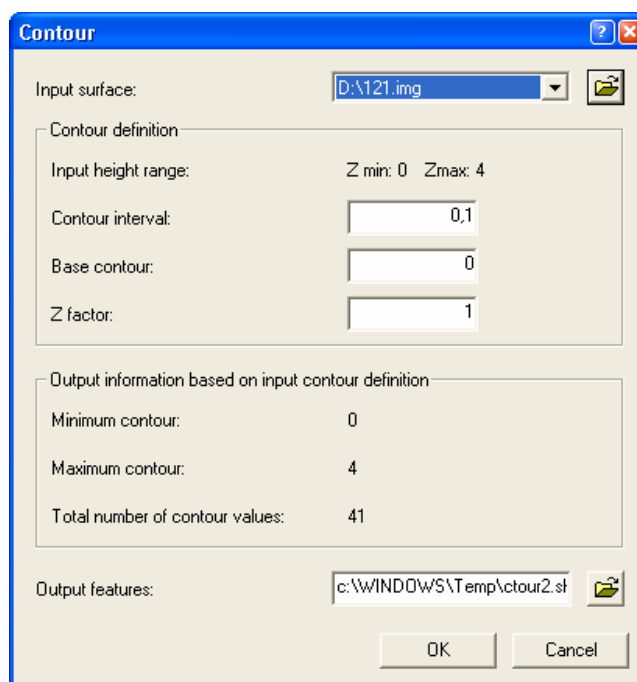


Рис. 4. Параметры автоматического построения изолиний

После построения слоя с изолиниями следует классифицировать их и оставить необходимое число классов с различной степенью загрязнения снега (рис. 5-6).

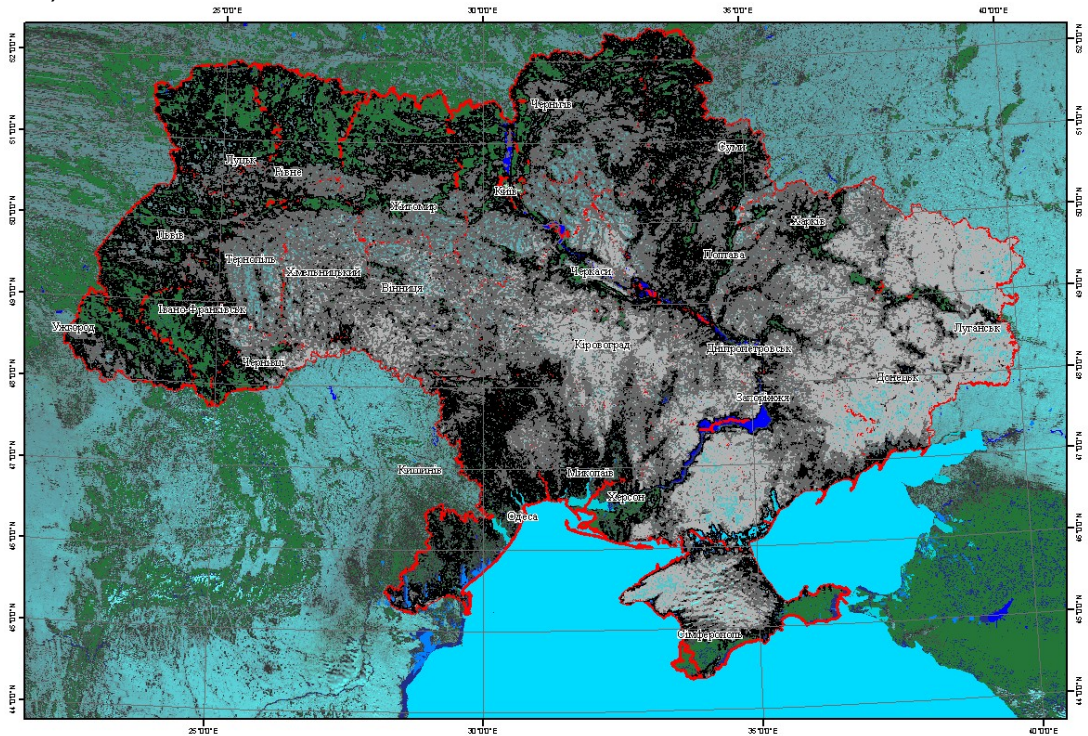


Рис. 5. Два класса загрязнения снега (белый – чистый, серый - загрязненный)

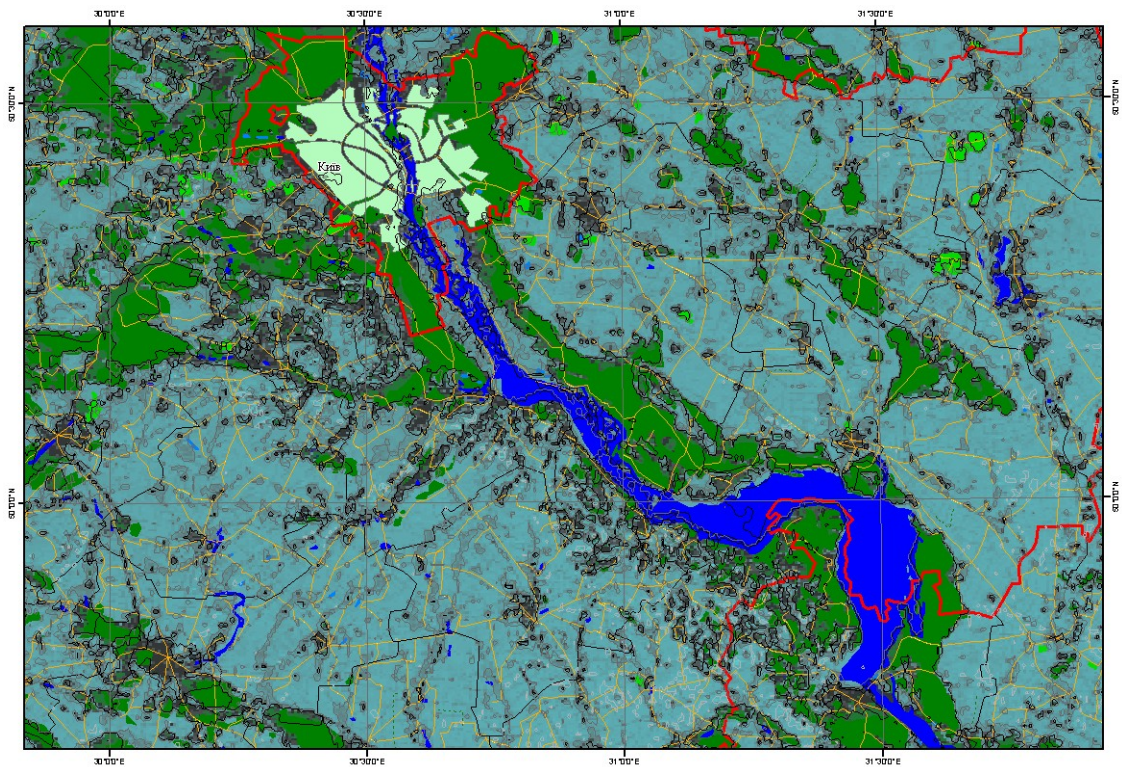


Рис. 6. Два класса загрязнения снега (белый – чистый, серый - загрязненный)

На третьем этапе следует построить растровую модель загрязнения. Сначала нужно построить промежуточную математическую TIN модель (Triangulated irregular network – триангулированная несимметричная сеть – построение поверхностей по входным точечным данным по средствам построения сети неперекрывающихся треугольников). В панели инструментов 3D Analyst необходимо выбрать 3D Analyst – Create/Modify TIN – Create TIN From Features (рис. 7).

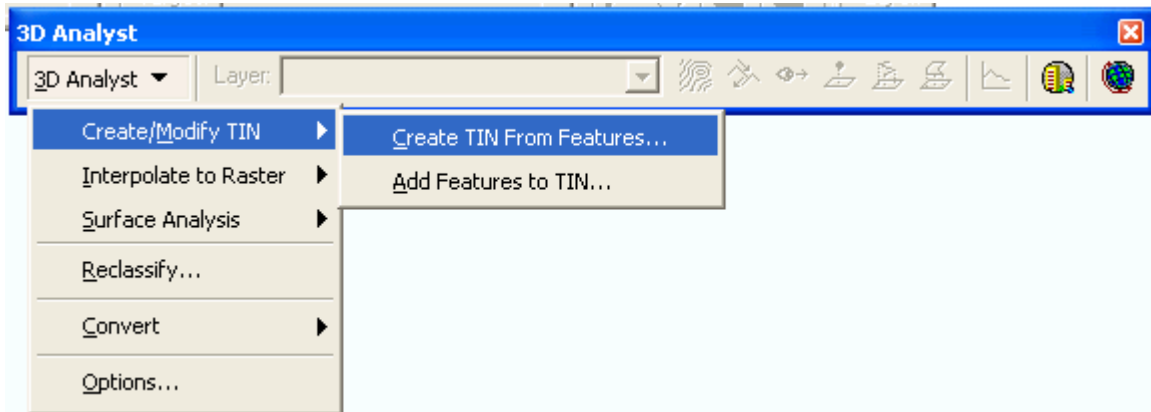


Рис. 7. Создание модели покрытия

Для входных данных можно использовать любые слои, где есть хоть какие-то данные о степени загрязнения. Это могут быть табличные данные, переведенные в формат .DBF, дополнительные изолинии или площади загрязнения, построенные ранее. Во всех данных должно содержаться поле с численными величинами о степени загрязнения, которое и указывается в выпадающем меню Height source (рис.8).

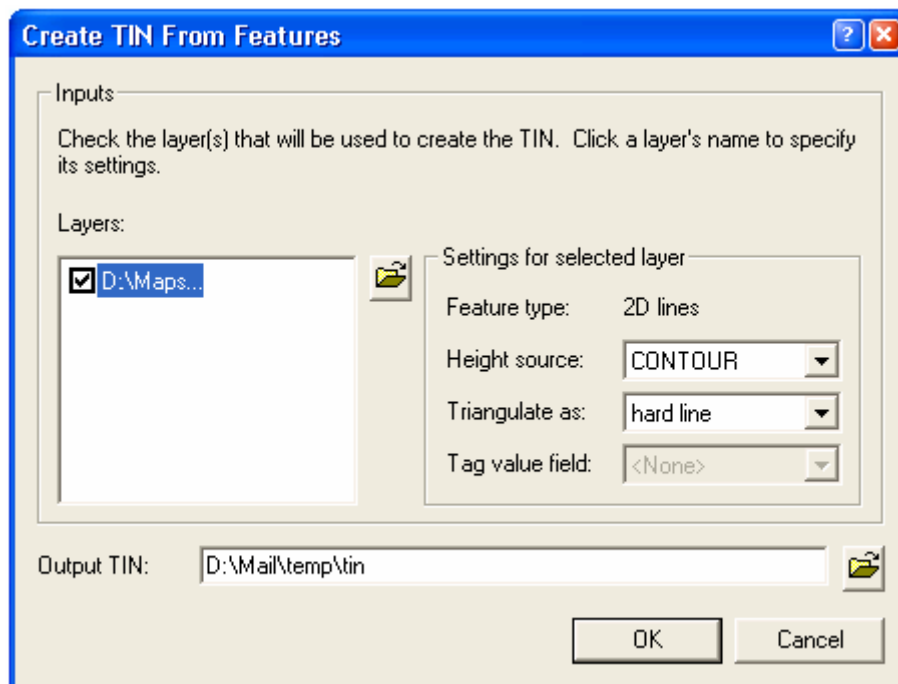


Рис. 8. Параметры создания TIN модели

В данном примере мы используем созданную ранее тему с изолиниями с двумя градациями снега в относительных величинах (рис.9).

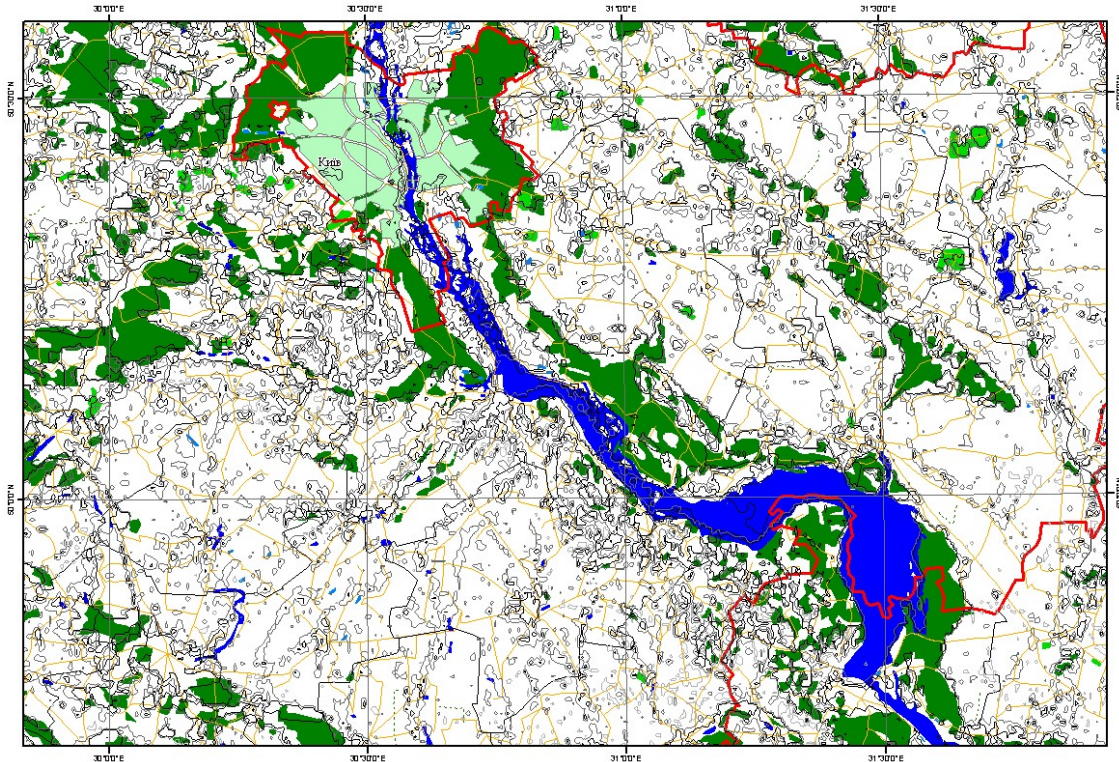


Рис. 9. Слой изолиний градаций снега

После создания TIN модели необходимо ее конвертировать в Grid (сетка с заданными интервалами по x и y, в вершинах которой находятся значения) или Raster (растровое изображение, содержащее пиксели со своими значениями и координатами по строкам и столбцам). Grid и Raster – это одно и то же в разных версиях, по-разному названные создателями ГИС. Для конвертирования следует нажать 3D Analyst – Convert – TIN to Raster (рис.10).

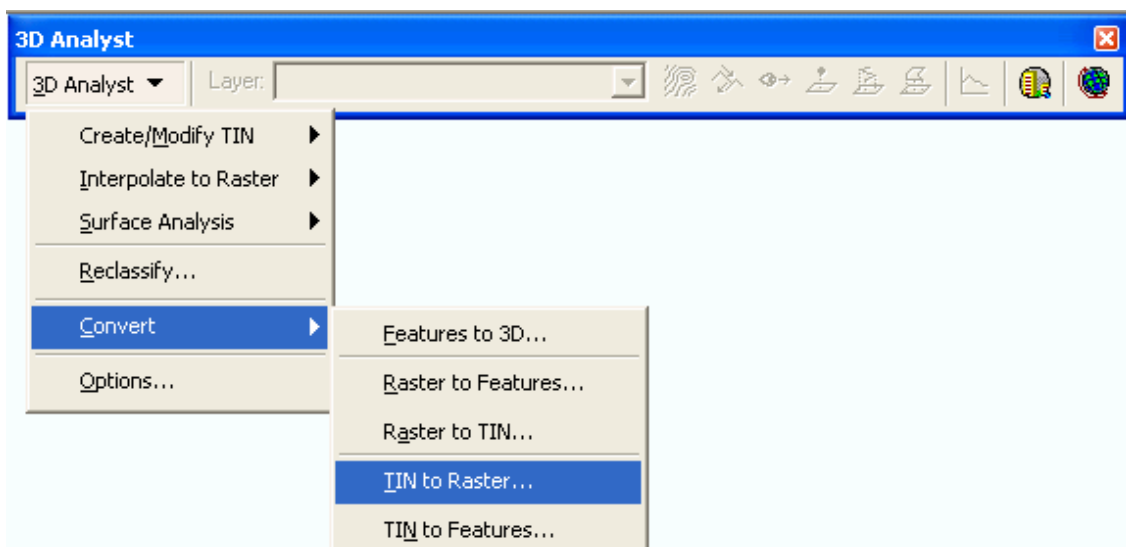


Рис. 10. Создание растровой модели загрязнения

В параметрах следует обратить внимание на Cell size (рис.11). Это число задает разрешение, с которым построится растровая модель в единицах карты. Если для решения поставленной задачи не требуется большого пространственного разрешения, то не нужно ставить его очень маленьким, так как это сильно загружает процессорное время и требует больших ресурсных затрат памяти.

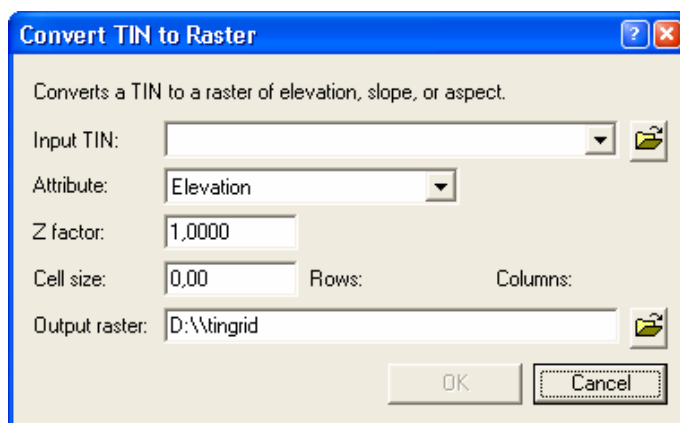


Рис. 11. Параметры создания растровой модели загрязнения

Результат построения растровых моделей показан на рисунках 12 и 13. На них черным цветом автоматически выделены следующие объекты: леса, районы застроек городов и сел, а также участки водной поверхности свободной от льда. Серый и белый цвета – автоматически выделенные две градации загрязнения снежного покрова. Белый – чистый снег, серый – снег с измененным показателем коэффициента отражения.

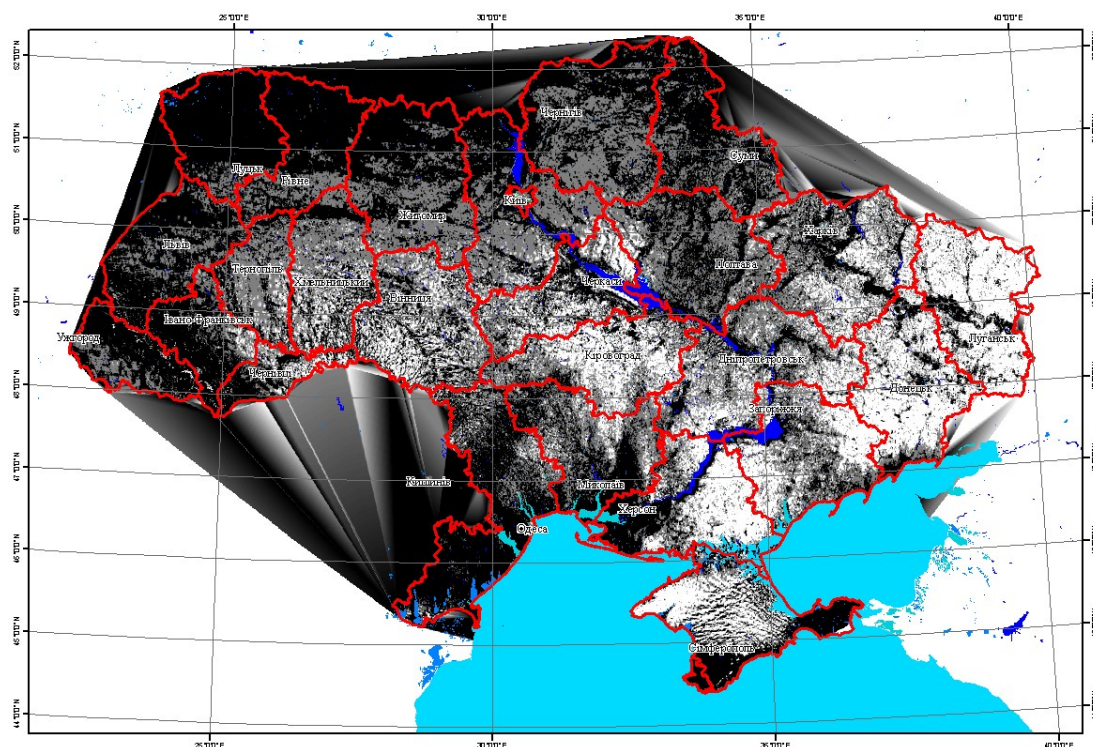


Рис. 12. Создание Grid поверхности

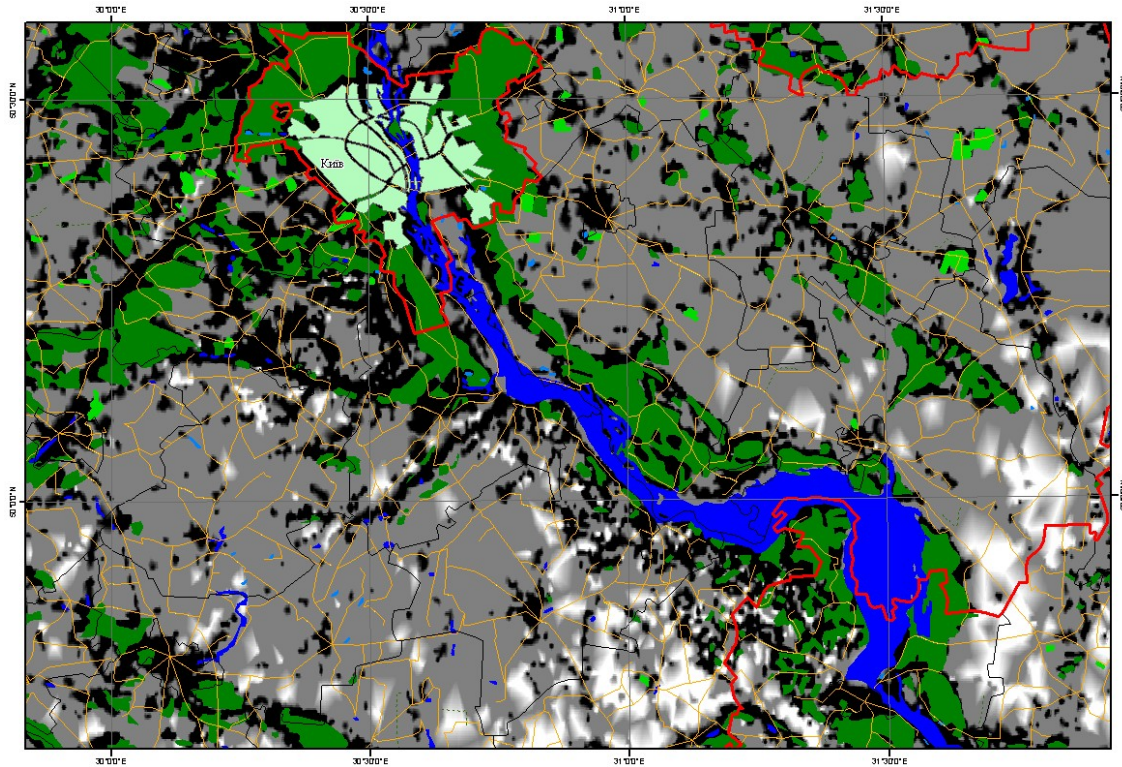


Рис. 13. Создание Grid поверхности

Четвертый этап – это работа непосредственно с растрами. В ArcMap для этой цели есть инструмент под названием Raster Calculator. Чтобы его вызвать, нужно сначала активировать дополнительную панель инструментов Spatial Analyst (в основном меню Tools – Extensions и установить галочку напротив Spatial Analyst. Они по умолчанию отключены, так как все отмеченные галочками загружаются в память и там находятся либо до выхода из программы, либо до снятия галочки). Для вызова самого калькулятора необходимо включить панель инструментов Spatial Analyst (View – Toolbars - Spatial Analyst), и выбрать Spatial Analyst – Raster Calculator (рис.14).

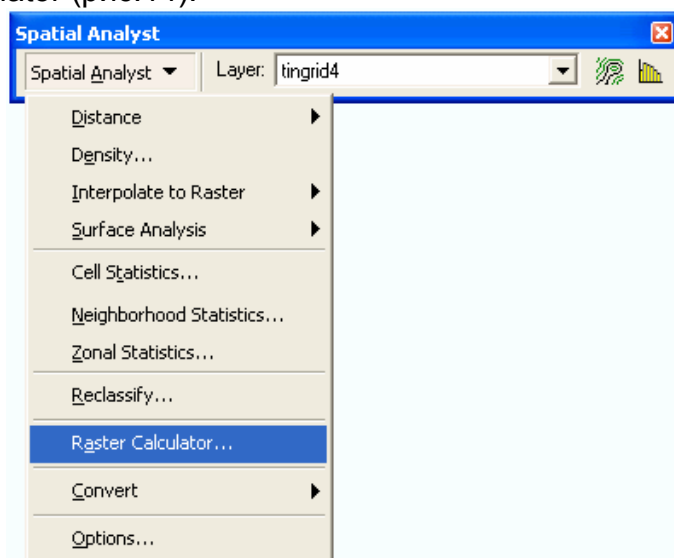


Рис. 14. Вызов растрового калькулятора



Этот калькулятор (рис 15) предназначен для «поточечных» операций над растрами. Таким образом, набрав статистический материал загрязнения снежного покрова по зимним снимкам, можно его использовать как для простого усреднения, так и для применения более сложных математических преобразований. Выходным продуктом имеем растровый слой с названием Calculation. Его следует экспортировать в shape файл.

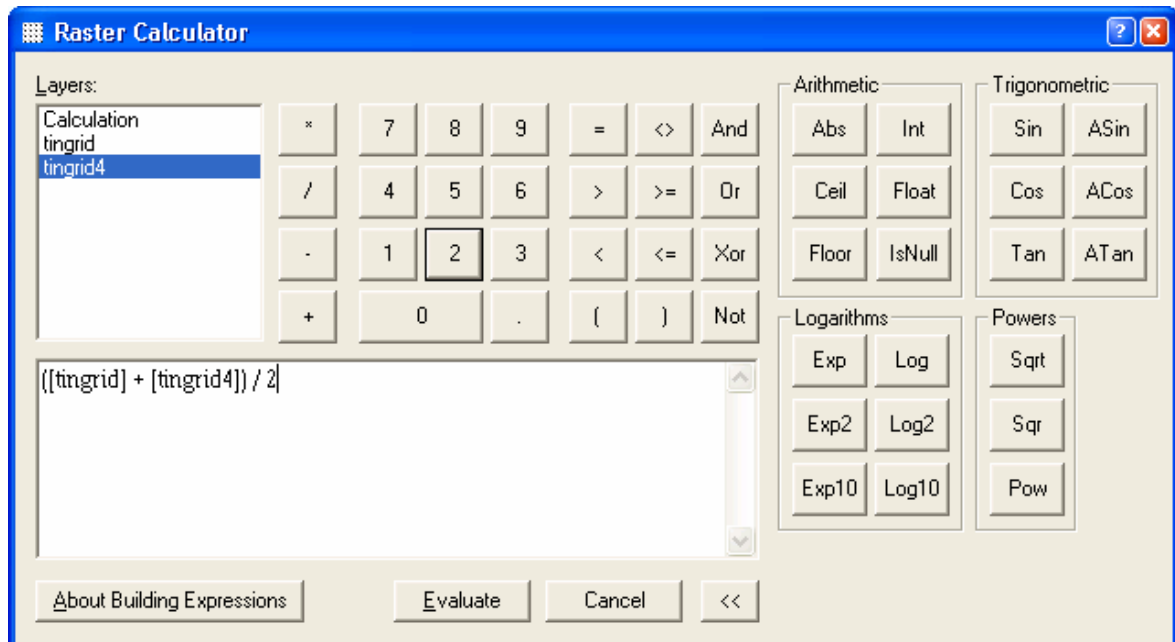


Рис. 15. Растровый калькулятор с примером усреднения по двум растровым моделям загрязнения снега

## Выводы

В данной статье представлена методика проведения мониторинга загрязнения приземного слоя атмосферы по косвенным признакам и рассмотрены основные этапы проведения автоматизированного дешифрирования космических снимков по средствам геоинформационной среды ArcGis9.1.

Методика картографирования была апробирована и использована при составлении экологического атласа Киевской области.

## Список литературы

1. Перспективы практического применения материалов космических съемок Земли при управлении чрезвычайными ситуациями / Г.Я. Красовский, В.С. Готынян, В.В. Брук, Е.В. Славков: Матеріали Третьої Укр. наради користувачів аерокосм. інформації. – К., 20 – 24 листопада 2000. – С.117 – 128.
2. <http://www.utro.ru/articles/2004/09/24/354159.shtml>
3. Синтез картографічних моделей забруднення земель техногенним пиллом з використанням космічних знімків /Красовський Г.Я., Трофимчук О.М., Крета Д.Л. та ін.// Екологія і ресурси. – К.: ІПНБ. – 2005. - №12. – С.37-55.

## **Использование современных компьютерных технологий при создании информационно-аналитической системы НКАУ**

*ГП Научно-исследовательский и проектный институт «Союз», Харьков  
Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*

Одним из актуальных направлений практического применения современных систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса состоит в реализации концепции космического мониторинга окружающей природной среды. Согласно 3-й и 4-й Общегосударственным космическим программам Украины это направление развивается в среде разрабатываемой Информационно-аналитической системы (ИАС) Национального космического агентства Украины (НКАУ). В данной статье рассмотрены практические аспекты синтеза этой системы.

В Украине имеются отдельные пункты приема и обработки информации данных ДЗЗ с космических систем NOAA, Meteosat, КА «TERRA», «Метеор-3М», «Ресурс-О», «Океан-О» и других, принадлежащих различным организациям и предприятиям НКАУ-НАНУ, архивы данных ДЗЗ (например, архив ГНПЦ «Природа» г.Киев). При запуске КА «Сич-2» будет использоваться информация ДЗЗ, параметры которой примерно соответствуют параметрам российского КА «Метеор-3М».

ИАС НКАУ предназначена для сбора, обработки, анализа, архивации, передачи и предоставления данных, получаемых от аэрокосмических средств и наземных систем контроля с целью систематического обеспечения руководства НКАУ, других министерств и ведомств Украины информацией, используемой при решении задач экологического мониторинга, учета состояния аграрных, лесных, водных, минеральных, ландшафтных ресурсов страны, контроля их использования; сейсмического контроля, предупреждения, оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного происхождения; мониторинга особо важных и потенциально опасных объектов как природного, так и техногенного характера, включая мониторинг нефте-, газо-, продуктопроводов, нефте-, химических, радиационных и других потенциально опасных промышленных объектов.

Исходя из результатов анализа прикладных задач, информационную поддержку которых призвана обеспечить ИАС НКАУ, в состав её информационных ресурсов включены среди прочих следующие базовые виды данных:

материалы космических съёмок подстилающей поверхности Земли с широким диапазоном параметров оперативности, пространственного и спектрального разрешения;

картографические материалы;

результаты мониторинга природных экосистем инструментальными средствами Государственной системы экологического мониторинга;

информация государственного метеорологического центра;

параметры пространственного распределения и технико-экономических показателей объектов техногенной нагрузки на природные экосистемы.

ИАС НКАУ является составной частью Правительственной информационно-аналитической системы при Министерстве по вопросам чрезвычайных ситуаций (ПИАС ЧС).

Главным разработчиком ИАС назначено государственное предприятие Научно-исследовательский и проектный институт «СОЮЗ». В настоящее время в системе обрабатываются как схемно-технические решения, так и технология выполнения тематических задач мониторинга лесных массивов, поверхностных вод суши и др. Эти задачи с различной периодичностью решаются на АРМ, расположенных в Аналитическом центре (г.Евпатория и г.Дунаевцы). Обработка космических снимков производится при помощи специализированного ПО на базе ERDAS Imagine. Результат решения в стандартном виде определяется как тематическая карта в формате ArcGIS, имеющая набор слоев определенного картографического уровня и масштаба, и хранится в Базе Данных ИАС НКАУ. В качестве базовой картографической основы при составлении тематических слоев используются электронная карта Украины масштаба 1:200 000 (разработка МЦЭК, г. Харьков) и растровые карты различного масштаба.

В перспективе планируется отработка оперативной технологии решения с выдачей результатов дешифрирования заинтересованным предприятиям.

Функционирование системы ИАС НКАУ опирается на распределенную базу данных (БД). Модульность БД обеспечивает гибкую адаптацию ИАС к новым вновь появляющимся требованиям в ходе проектирования системы.

#### *Базовые концепции ИАС:*

1. Серверная поддержка работы с геоданными (компонент SDE – обеспечивает возможность специализированным ГИС-приложениям прозрачно работать с базами данных геоинформационного наполнения в многопользовательском режиме).

2. Серверная поддержка глобальной аутентификации и авторизации (компонент LDAP – обеспечивает поддержку промышленного стандарта безопасной аутентификации и авторизации пользователей в масштабах всей системы, централизованное управление учетными записями пользователей).

3. Защищенная поддержка взаимодействия с внешних БД через интерфейс ODBC (ODBC – открытый стандарт соединения с базами данных);

4. Автоматизированная генерация SOAP-прокси для двух распространенных конкурирующих платформ разработки приложений: dotNET и JAVA (SOAP-прокси – модули сопряжения для сторонних разработчиков приложений ИАС на базе Web-служб, с помощью стандартного протокола обмена XML-сообщениями).

5. Серверная поддержка централизованного развертывания и администрирования рабочих мест ИАС.

6. Поддержка хранения в базе данных больших объемов неструктурированной информации с предоставлением пользователям защищенного доступа к необходимой информации по распространенным протоколам, включая CIFS (сетевая файловая система, наиболее часто используемая Windows-рабочими станциями).

#### *Архитектурные особенности ИАС:*

Большое внимание уделено вопросам сведения к нулю утечек информации из системы, как на уровне данных, так и на уровне исходного кода приложения. Ряд решений, опирающихся на последние достижения программного обеспечения

(технологии Web-сервисов, .NET, J2EE, LDAP) и концепций проектирования, позволяет достичь безопасности системы.

Благодаря централизованной разработке ядра БД удалось избежать длительных вопросов по сопряжению и интеграции компонентов системы. Клиентские приложения имеют унифицированный интерфейс внешне и высокий коэффициент повторного использования хорошо отлаженного кода внутренне. Все клиентские приложения не хранятся локально на рабочих станциях, а динамически загружаются в память Персонального компьютера (ПК) из БД, минуя жесткий диск системы, чем достигается высокий уровень безопасности и исключается необходимость инсталляции. Интуитивный интерфейс приложений позволяет мгновенно получать доступ к необходимой информации пространственного и справочного характера.

Хранение пространственной информации и доступ к ней осуществляется с помощью ArcSDE. Это позволяет оптимизировать быстродействие клиентских приложений и разгрузить локальную сеть. Налажен интерактивный поиск пространственной информации на карте: материалов ДЗЗ, населенных пунктов и т.д.

В настоящее время в системе обрабатывается технология выполнения тематических задач мониторинга природной среды. Эти задачи с различной периодичностью решаются на автоматизированных рабочих местах (АРМ), расположенных в Аналитическом центре ИАС.

В ходе разработки ИАС НКАУ приобретен опыт построения сегментов распределенной БД пространственной информации для решения задач мониторинга регионов Украины средствами ДЗЗ.

Разработка ведется на многоцелевом двухузловом стенде ИАС на базе серверов SUN Microsystems SunFire V240. Стенд ИАС позволяет локально эмулировать распределенный сегмент пространственной базы данных и входить во взаимодействие с удаленными центрами системы ИАС в двухузловом режиме либо как кластерный вычислитель. Управление обработкой информации ведется на автоматизированных рабочих местах (АРМ), организованных в локальную вычислительную сеть (ЛВС).

Разработка системы ведется инкрементно. Каждый законченный шаг обрабатывается на макете ИАС и затем распространяется на серверные узлы всей системы ИАС. Серверы системы работают под управлением операционной системы Solaris 10. В качестве системы управления базами данных (СУБД) используется Oracle 10g. Для управления пространственными данными БД используется сервер приложений ESRI ArcGIS ArcSDE 9. СУБД и сервер приложений ArcSDE оперируют пространственными данными в рамках единой модели хранения данных Oracle Spatial, что позволяет использовать сильные стороны программных продуктов, ориентированных как на технологии Oracle, так и на технологии ESRI.

Интерфейсы АРМ-ов системы ИАС строятся на базе технологии Microsoft Framework .NET, доступ к скалярным данным БД осуществляется с помощью технологии Oracle Data Provider (ODP). Доступ к пространственным данным и их визуализация опирается на программный продукт ESRI ArcGIS Engine.

Таким образом, ИАС специального назначения, синтезируется в среде современных пакетов обработки видеоинформации, геопространственных данных и реляционных баз данных. Конкретные решения, обеспечивающие реализацию заданных функций системы, реализуются исходя из ее структурных особенностей.

## **Системный анализ функций управления корпорацией**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*

Данная статья открывает серию статей, посвященных важной проблеме в области управления проектами – управлению коммуникациями [1]. Информация на современном этапе развития стала играть решающую роль при организации управления. Это связано как с развитием новых информационных технологий, так и с изменениями в технологии управления (процессы обоснования и принятия решений, а также организация их выполнения).

Соответственно информационная составляющая затрат на осуществление управление стала более значительной. В связи с этим возникает необходимость повышения эффективности системы управления в целом и информационной составляющей этой системы в частности.

Вопросы эффективности и оптимизации информационных потоков в последнее время вызывают большой интерес в управленческом мире [2 – 4]. Однако методы оптимизации, предложенные в работах В.В. Ефстафьева, Д.В. Колосова, А.М.Гаджинского, А.Д. Чудакова [5 – 8] не в полной мере позволяют решать проблемы, имеющиеся в корпорациях, так как недостаточно формализованы, предполагают привлечение специалистов высокой квалификации или консалтинговых фирм, что слишком дорого для корпораций среднего масштаба.

Анализ, проводимый в этом исследовании, направлен на формирование базиса метода совершенствования системы управления путем организации информационных потоков, которые обеспечивают горизонтальные и вертикальные связи системы, не нарушая основных принципов рационального управления, необходимых для эффективного функционирования корпорации. В данном случае речь идет о снижении затрат на организацию управления информационными потоками. Метод позволяет силами собственных специалистов-управленцев корпорации повысить эффективность системы управления.

Основными целями данной статьи являются: проведение системного анализа системы управления корпорацией, анализ современных проблем при менеджменте корпораций, проведение функционального анализа системы управления.

Анализ опыта развития промышленных стран свидетельствует о том, что переход от узкой специализации к интеграции наблюдается в содержании и характере управленческой деятельности. По общей оценке конец XX в. – начало XXI в. – время динамичных изменений условий конкуренции. Это уже не просто борьба компаний за свою «рыночную нишу», а «гонка за каждый метр» на всех направлениях; ускорение нововведений, поиск высококвалифицированных кадров, вовлечение потребителей в сферу корпоративного влияния, выбор и реализация политических приоритетов [9]. «Новое стратегическое мышление» все более увязывается с «глобализацией бизнеса», переходом к новой модели экономического роста.

Усовершенствовать систему управления необходимо для того, чтобы корпорация:

- могла сконцентрироваться на главных направлениях своей деятельности и опереться на ключевые ценности организации;
- была способна эффективно распоряжаться временем, ускоряющимся потоком нововведений, идей;
- создала условия для гибких форм организации, режимов работы, различных комбинаций ресурсов и усилий работников;
- обрела морально-этический резерв организации;
- имела высокий уровень управления (с позиций нововведений, прибыльности и ответственности).

Философия и концепция управления в традиционных и новых организациях состоят из отличающихся друг от друга аспектов (см. таблицу) [10].

#### Концепция управления в традиционных и новых организациях

<b>Концепция традиционной корпорации</b>	<b>Концепция новой корпорации</b>
1. Ориентация на оперативные вопросы	1. Ориентация на стратегию
2. Ориентация на стабильность	2. Ориентация на своевременную адаптацию к изменениям во внешней среде и воздействие на нее
3. Технологический императив	3. Организационный императив
4. Важнейший ресурс – машины	4. Важнейший ресурс – люди
5. Максимальное дробление работ, простые и узкие специальности	5. Оптимальная группировка работ, широкие и многоаспектные специальности
6. Внешний контроль (руководители, штат контролеров, формальные процедуры)	6. Самоконтроль (саморегулирующие системы, подсистемы), самодисциплина
7. Пирамидальная и жесткая организационная структура, развитие вертикальных связей («подчинение – руководство»)	7. Плоская и гибкая организационная структура, развитие горизонтальных связей, обеспечивающих эффективное взаимодействие подразделений и сотрудников
8. Авторитарный стиль управления	8. Демократический стиль, основанный на заинтересованности всех работников в общем успехе организации
9. Конкуренция, политическая игра	9. Сотрудничество, коллегиальность
10. Низкая заинтересованность работников организации в успехе	10. Высокая заинтересованность низовых работников в общем успехе
11. Действие только в интересах организации или ее подразделений	11. Действие не только в интересах организации, но и в интересах общества
12. Отчужденность	12. Приобщенность
13. Низкая склонность к риску или его боязнь	13. Ориентация на инновации и связанную с этим склонность к риску

Традиционная организация является ответом на стандартную технологию и неменяющуюся внешнюю среду. Новая организация – это реакция на быстрые перемены, непрерывно меняющиеся технологии и неопределенность среды [11]. Современный подход к организации представляет собой сбалансированное сочетание человеческих ценностей, организационных изменений и непрерывных адаптаций к изменениям внешней среды.

Следует подчеркнуть, что школы «рационального управления» и поведенческого, психологического направления, существовавшие долгое время параллельно, но при этом во многом противостоявшие друг другу, демонстрируют в настоящее время активные поиски путей интеграции. Жесткое, строго централизованное, стратегическое планирование трансформируется в концепцию стратегического управления, соответственно изменяются базовые принципы планирования и контроля. Упор на выработку четких и неизменных контрольных показателей во внутрифирменном планировании, регулярные процедуры финансового и другого контроля, т.е. все элементы, которые ассоциируются с жестким управлением, постоянно уступают место методам «мягкого», гибкого управления (вовлечение персонала в дела фирмы на основе большего взаимного доверия, поощрения предприимчивости в процессе трудовой деятельности и др.).

Дополнение «жесткого» административного руководства элементами «мягкого» управления открывает значительные резервы повышения прибыльности корпораций. В практике между этими элементами устанавливается своеобразный баланс.

В настоящее время сложность управления корпорации заключается в том, чтобы найти этот оптимальный баланс.

Корпорации все с большей и большей интенсивностью расширяют направления своей деятельности. В основном опыт авторов опирается на работу с производственно-строительными корпорациями, основными направлениями мультипроектов которых являются создание и реализация «под ключ» инновационных технологий в области металлургии и угольной промышленности. Часть корпорации, занимающаяся организацией и проведением научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ, разработкой технологий, постоянно находится в режиме динамического изменения и расширения. В начальный период перехода к рыночной экономике многие элементы управления, как и культура управления в целом, были утрачены. Это особенно заметно на научно-исследовательских институтах, выполняющие подрядные работы по составным частям мультипроекта. Однако часть корпорации, непосредственно связанная со строительством промышленных объектов, действует в сравнительно стабильной обстановке, поэтому необходимо сохранить многие элементы рационального управления.

Таким образом, создавая новые элементы управления мультипроектами, следует учитывать и многие традиционные элементы.

Для реорганизации системы управления требуется реализовать ряд задач:

- системный анализ внешней среды;
- системное состояние «производственной» и управленческой частей;
- системный анализ «производственной» системы;
- системный анализ состояния системы управления;
- анализ соответствия системы управления «производственной» системе;
- укрупненный расчет технико-экономических результатов.

При этом следует учитывать факторы, оказывающие влияние на систему менеджмента (рис.1).

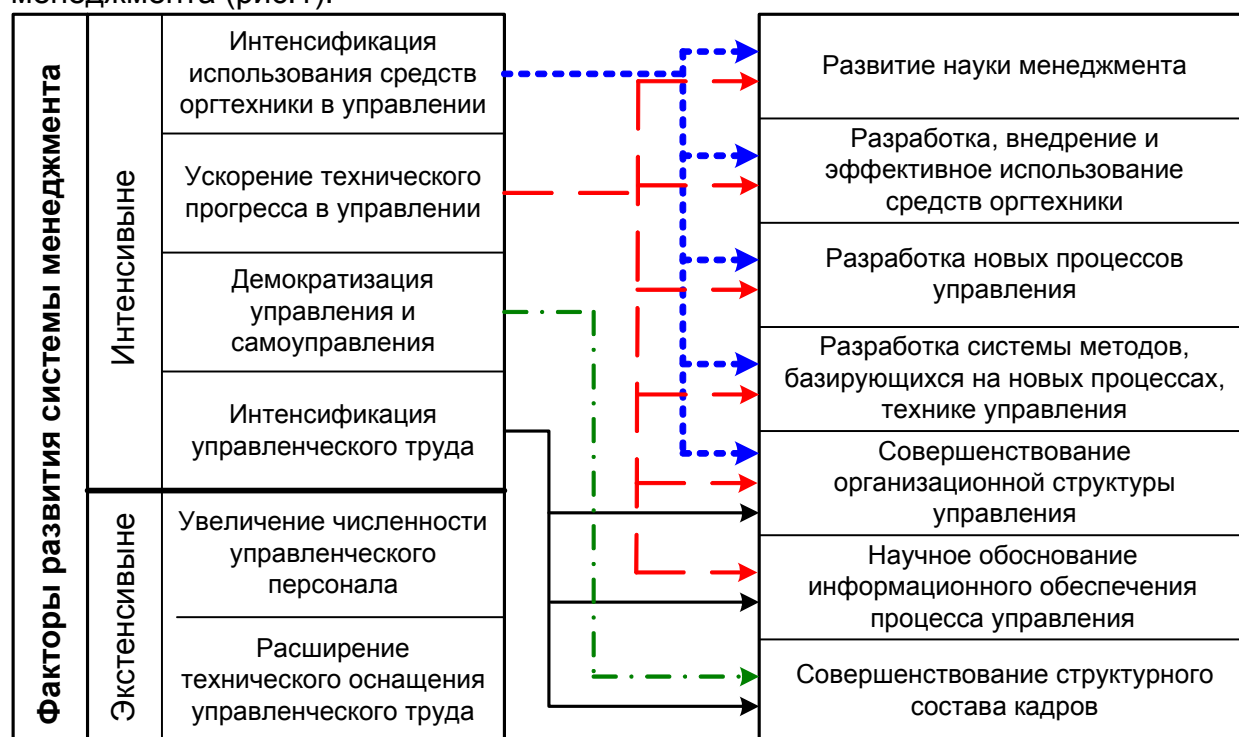


Рис.1. Факторы, влияющие на систему менеджмента

При совершенствовании системы управления корпорации эффективно применение метода функционально-стоимостного анализа (ФСА) [12], так как этот метод позволяет оценить функции, обеспечивающие процесс управления. ФСА выбран для оценки результатов усовершенствования управления, так как он наиболее объективно отражает оценку качества управления в отличие от многих других методов, таких, как соотношение затрат на усовершенствование управления к результатам деятельности корпорации, или широко распространенный ранее в нашей стране метод соотношения количества работающих в управленческом аппарате к количеству занятых в основном «производстве». Также не совсем целесообразно в нашем случае применять для оценки эффективности управления тезис о возможности использования зависимости между приростами ресурсов и хозяйственных результатов, так как этот метод не отражает открытость системы «корпорация» и не учитывает влияние на прирост хозяйственных результатов нерегулируемых факторов.

Именно функция обеспечивает процесс управления и определяет структуру, содержание системы управления, распределения прав, полномочий и ответственности отдельных органов и должностных лиц. Соотношение функции органа управления с управляемым объектом дает информацию о том, насколько необходим этот орган. Соответствие функций системы – необходимое условие эффективного построения системы управления корпорацией, однако это условие не является достаточным без учета влияния внешней среды.

Функционально-стоимостный анализ систем управления начинается с выявления и определения функций. Это исходная база метода. Поэтому очень сложно дать правильную точную формулировку функций, которая бы метко



определяла сущность их носителей. Это позволит установить требования к качеству функций, их составу, а следовательно, и к состоянию функций.

Функции – это интегрированный результат функционирования составляющих корпорации: «производственной» системы и системы управления. «Производственная» функция в итоге направлена на изготовление готовой строительной продукции, функция управления – на выработку управленческого решения. Функции управления принято делить на общие и конкретные. Общие функции управления – анализ, планирование, организация, координация, учет, контроль. Конкретные функции управления подразделяются на главные, основные и вспомогательные. Главная функция управления объектом – функция, для осуществления которой создан объект. Основная функция управления объектом – функция, необходимая для реализации главной функции управления, без нее не может быть осуществлена главная функция управления объектом. Вспомогательная функция управления объекта – функция, способствующая осуществлению основной функции управления объектом.

При классификации функций управления и делении их на главные, основные и вспомогательные рекомендуется придерживаться следующих правил:

1. Если главная функция управления не может быть осуществлена с помощью какого-то определенного набора основных функций, то это означает, что в этом наборе не предусмотрены одна или несколько основных функций управления.

2. Если главная функция управления может быть осуществлена без какой-либо функции, входящей в первоначальный выбор основных функций, то это говорит о том, что данная функция является не основной, а вспомогательной.

Носителями конкретных функций служат функциональные подсистемы: отделы, группы и отдельные работники, элементы системы управления.

Руководство корпорации для выполнения главной функции системы управления определяет цели перед производственными и функциональными подразделениями. Руководители производственных и функциональных подразделений корпорации ставят перед работниками своих подразделений задачи, являющиеся для исполнителей конкретными функциями.

Таким образом, определяются группы конкретных функций по каждой подсистеме управления, исходя из главной функции подсистемы. Но, чтобы убедиться в полноте определения состава конкретных функций той или иной подсистемы, необходимо построение функциональной диаграммы осуществления функций (диаграммы FAST) (рис. 2).

Все функции управления, подлежащие анализу, заключены по диаграмме между двумя вертикальными пунктирными линиями. Левая граничная линия находится между анализируемой функцией и функцией более высокого уровня (главной функцией). Правая граничная линия находится между основной функцией подсистемы и функцией сложной подсистемы, обеспечивающей необходимыми исходными данными рассматриваемую подсистему.

Основные функции, или функции критического пути, располагаются по горизонтали и объединены на диаграмме жирными линиями. Все вспомогательные функции располагаются под функциями критического пути. Это могут быть необходимые вспомогательные функции или излишние, вредные и дублирующие функции. При помощи тестов: «Как?», «Зачем?» и «Когда?» выявляются излишние, вредные и дублирующие функции. Функции управления, не отвечающие ни на один из этих тестов, должны быть изъяты из диаграммы, так

как относятся к категории последних. Все функции критического пути должны отвечать (по направлению слева направо) на вопрос «как?» и по направлению справа налево – на вопрос «зачем?». А все вспомогательные функции должны отвечать на вопрос «когда?» (когда возможно осуществление основной функции).



Рис. 2. Принципиальная схема построения диаграммы FAST

Анализ функционирования корпораций в рыночных условиях проводится через оценку степени реализации ими комплексной структуры по двум частным показателям: относительной значимости ( $f_i$ ), выполняемой в рамках хозяйственной деятельности ( $P_i^{03}$ ), и степени их выполнения (оценке качества) ( $g_i$ ), связанным в комплексный показатель уровня реализации функции ( $F_0$ ).

Расчет показателя  $F_0$  преследует две цели: с одной стороны, определение зависимости между  $F_0$  и эффективностью деятельности корпорации, с другой, распределение ресурсов соответственно величине  $F_0 = P_i^{03} g_i$ .

Степень значимости  $P_i^{03}$  определяется экспертным путем (экспертной группой управленческих работников) по общепринятой методике. Применение данного метода обусловлено высоким уровнем информационной неопределенности при выполнении анализа и поиске вариантов решения.

Достаточно простым и получившим наибольшее распространение методом индивидуальной экспертизы является метод попарного сравнения.

Результаты такой экспертизы представляются в соответствующих матрицах.

Номера сравниваемых функций последовательно записывают в столбец и строку. На пересечении строки и столбца фиксируются номера тех функций, которые оказываются более важными при показном сравнении. Последняя графа матрицы содержит величину количества предпочтений, полученных каждой функцией, по отношению ко всем остальным. Результаты служат для распределения функций по рангам.

Значения сумм предпочтений по каждому элементу матрицы позволяют реализовать функции по росту значимости.

В настоящее время выделяют следующие основные тенденции развития управления корпорациями:

1. Организационные поиски менеджмента. Здесь налицо многообразие структурных решений – от сетевых организационных форм и групповой работы до максимальной самостоятельности отделений, рискованных «новаторских команд», полностью отвечающих за прибыль и убытки. В относительно небольшом органе корпоративного управления концентрируется решение только стратегических вопросов развития, связанных с крупными инвестициями, сосредотачиваются функции интеграции деятельности фирмы. Каждое отделение полностью финансирует свою деятельность, вступает на коммерческой основе в партнерские отношения с любыми организациями. Имеет место тенденция к уменьшению жесткости и иерархичности сложившихся структур, дальнейшему развитию программно-целевого управления.

2. Приобретает особое значение функция координации, так как очень сильна взаимосвязанность корпораций в масштабах региона, страны.

3. Исключительную роль будет играть то, насколько управленческая система настроена на поддержку и вознаграждение риска и индивидуальной инициативы, нацеленных на повышение эффективности на всех участках деятельности.

4. Поворот бизнеса к управлению организационной культурой, т.е. системой ценностей, разделяемых персоналом фирмы и связанных с конечными целями организации.

Для того чтобы снизить неопределенность в принятии решений и участие субъективного человеческого фактора, наряду с методом попарного сравнения функций целесообразно применять метод линейного программирования. Этот метод позволяет использовать математические методы экономической оптимизации. Наиболее удобной для этой цели является постановка «транспортной задачи» линейного программирования. Цель решения этой задачи – определение наиболее дешевого маршрута прохождения информационного потока в системе управления корпорацией при ограничениях на скорость, пропускную способность маршрута и мощность источника информации.

Поскольку основным методом работы является системный метод, то следует учесть, что не имеет смысла оптимизировать каждую подсистему отдельно, оптимизировать следует систему в целом.

Это объясняется основным принципом системного метода (несводимость свойств системы к свойствам составляющих ее подсистем), который в нашем случае можно представить формулой

$$\min(f_1 + f_2 + \dots + f_n) \neq \min(f_1) + \min(f_2) + \dots + \min(f_n).$$

Таким образом, необходимо минимизировать затраты на прохождение всей информации во всей системе управления, при этом затраты отдельных подразделений не обязательно будут минимальными.

Подводя промежуточный итог в статье, но не в работе, хотелось бы отметить, что современный подход к управлению обуславливает необходимость рассматривать управление как единую систему с определенной структурой и определенным набором функций. Затраты на управление возможно снижать двумя способами:

- построением более оптимальной структуры;
- повышением эффективности функционирования существующей структуры.

Построение новой структуры управления полностью отвечает современным требованиям процессного метода организации управления: процесс управления обеспечивается функциями, функции, в свою очередь, обеспечиваются структурой и информационными потоками.

Но на практике изменение структуры управления для корпораций – дорогостоящее и болезненное мероприятие, поэтому необходимо найти механизм повышения эффективности системы управления, который позволяет сократить затраты на управление без существенных негативных социальных и организационных последствий. Таким методом может стать перераспределение информационных потоков, которые обеспечивают функции управления и процесс управления.

#### **Список литературы**

1. A Guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide). – USA: PMI Standards Committee, 2000. – 216 p.
2. <http://www.mckinsey.com/russianquarterly/articles>.
3. <http://www.asutp.ru>.
4. <http://www.management.com.ua>.
5. Ефстафьев В.В. Поправки к направлению градиента при оптимизации распределения потоков в информационно-вычислительных сетях // Информационные технологии. – Ростов Н/Д: Рост. воен. ин-т ракетных войск. – 2002. – №9. – С. 13 – 26.
6. Колосов Д.В. Оптимизация потоков информации в университетской компьютерной сети // Информатика и прикладная математика. – Рязань: Рязан. гос. пед. ун-т – 1998. – С. 64 – 66.
7. Гаджинский А.М. Логистика: Учебник для высших и средних специальных учебных заведений – 2-е изд. – М.: Информационно-внедренческий центр «Маркетинг», 1999. – с. 160.
8. Чудаков А.Д. Логистика.– М: Изд-во РДЛ, 2001. – с. 480.
9. <http://www.gendirector.ru>.
10. Фатхутдинов Р.А. Стратегический маркетинг: Учебник для студентов вузов, обучающихся по техн. и экон. спец. «Маркетинг» и «Менеджмент». – М.: Интел-Синтез, 2000. – с. 638.
11. Некрасов І.Б., Котов А.С., Уруський О.С. Проблеми побудови та управління корпораціями // Вісник Харк. держ. техн. ун-ту сільськ. госп-ва. – Х.: ХДТУСГ. – 2006. – Т. 2. – Вип. 43. – С. 98 – 102.
12. Томилов В.В., Песоцкая Е.В., Маркетинг в системе предпринимательства. – СПб.: Геликон Плюс, 2000. – с. 519.

## **Анализ эффективности ремонтного производства**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»,*

### **Постановка проблемы в общем виде**

Организация обслуживания и ремонт оборудования достаточно важен, так как станки и агрегаты в ходе производства постепенно изнашиваются, теряют точность, мощность и в конечном счете выходят из строя. Поэтому ремонтные цехи и службы предприятия обязаны предупреждать износ деталей и узлов оборудования. Это достигается путем правильной эксплуатации оборудования, квалифицированного межремонтного обслуживания и профилактического планового ремонта.

Организация ремонтного хозяйства должна обеспечивать межремонтное обслуживание и проведение ремонтов с наименьшими затратами труда материалов и прочих средств производства. Необходимо достичь наименьших затрат на обслуживание, не ухудшая качество ремонта и количество осмотров.

### **Анализ последних достижений и публикаций**

На практике нет единого подхода не только к проблеме оценки эффективности, но и к самому понятию эффективности ремонтного хозяйства. В экономической литературе имеется ряд работ, в которых рассматривается методология анализа оценки эффективности ремонтного хозяйства. Было проанализировано несколько основных методик: использование обобщающего показателя при оценке эффективности ремонтного хозяйства [1;2], определение абсолютной экономической эффективности вспомогательных производств [3].

**Не решенная ранее часть проблемы в общем виде.** Указанные методы давно используются для анализа эффективности вспомогательного производства и имеют ряд недостатков, указанных ниже.

### **Постановка задачи**

Проанализировав последние работы, необходимо определить недостатки существующих методов и разработать новый метод анализа эффективности ремонтного производства.

### **Решение поставленной задачи и обоснование полученных результатов**

Использование обобщающего показателя при оценке эффективности ремонтного хозяйства. В работе [1] Макаренко указывает, что для оценки деятельности ремонтного производства использование только системы показателей создает определенные трудности, так как в данном случае возможны противоречивые выводы. Например, улучшение качества ремонтных работ может сопровождаться одновременным снижением производительности труда, повышением себестоимости. Сокращение времени простоя оборудования в ремонте может в то же время привести к снижению качества, увеличению материальных и трудовых затрат.

Поэтому, по мнению автора, наряду с локальными показателями при оценке эффективности ремонтного производства необходимо использовать обобщающий

показатель. Преимущество обобщающего показателя в том, что он позволяет однозначно ответить на вопрос об уровне эффективности в целом.

Как указывает Макаренко, считать главным в оценке эффективности ремонтного производства лишь экономию ресурсов нельзя, а использование для этой цели показателей объема и прибыли ремонтного производства может отрицательно сказаться на экономике предприятия, так как стимулирует рост объемов продукции ремонтных подразделений, снижение качества работ.

В качестве обобщающего показателя эффективности ремонтного производства, который в наибольшей степени должен отражать влияние его работы на основное производство, на результаты деятельности предприятия, автор предлагает принимать отношение

$$\mathcal{E} = \frac{\Pi}{\Phi_p}, \quad (1)$$

где  $\Pi$  – прибыль, получаемая за счет факторов, зависящих от ремонтного производства;

$\Phi_p$  – производственные фонды ремонтного производства.

Прибыль, получаемая предприятием за счет факторов ремонтного производства,

$$\Pi = \Pi_1 + \Pi_2 - Y, \quad (2)$$

где  $\Pi_1$  – прибыль, получаемая в результате сокращения издержек основного производства;

$\Pi_2$  – прибыль, получаемая за счет выпуска дополнительной продукции в результате сокращения простоев оборудования в ремонте, удлинения межремонтных периодов;

$Y$  – убыток (недополученная прибыль) вследствие сверхпланового простоя оборудования в ремонте.

Прибыль, полученную предприятием в результате сокращения издержек ремонтного производства  $\Pi_1$ , следует рассчитывать по формуле

$$\Pi_1 = (S_{\phi} - S_o * P_{от}), \quad (3)$$

где  $S_{\phi}$ ,  $S_o$  – издержки ремонтного производства на 1 ден. единицу реализованной продукции в базисном и отчетном периодах;

$P_{от}$  – объем реализованной продукции в отчетном периоде, грн.[1, с. 50].

Анализ данного метода выявляет следующие недостатки:

1. В формуле (3) снижение себестоимости ремонтного производства определяется только по сравнению с себестоимостью базисного периода. Данное снижение однозначно увеличивает эффективность ремонтного производства. Однако само по себе такое снижение может быть вызвано факторами, не зависящими от ремонтного производства, например, незапланированным снижением количества оборудования при неизменном объеме выпускаемой продукции.

2. Влияние прибыли, получаемой за счет сокращения плановых простоев оборудования, также трудно оценить однозначно, так как само получение такой прибыли зависит от множества других факторов, например, годовой производственной программой, наличия «узких» мест и др.

3. Коэффициент, учитывающий снижение себестоимости ремонтного хозяйства на единицу реализованной продукции, также можно применять в данном кон-

тексте с некоторыми ограничениями, так как объем реализованной продукции может уменьшиться по причинам, не связанным с ремонтным хозяйством (например, колебание спроса, выпуск товаров-заменителей, снижение цен конкурентами и другие непроизводственные факторы), а такое уменьшение однозначно покажет снижение эффективности ремонтного хозяйства, что логически неверно.

В работе [2] авторы подчеркивают, что прежде всего следует различать понятия «эффективность» и «экономическая эффективность». Понятие «эффективность» является более широким по сравнению с экономической эффективностью, поскольку включает и социальные результаты, достигаемые в процессе производства, к которым относится улучшение жизни и труда, улучшение техники безопасности труда, укрепление обороноспособности страны и др.

Авторы разделяют общую точку зрения экономистов, высказывающихся за необходимость обобщающего показателя, который вместе с системой показателей, характеризующих степень использования отдельных элементов производства, однозначно оценил бы общий уровень эффективности производства. Система показателей в данном случае малоприспособна, так как в ней всегда будут такие показатели, которые неравномерны и несопоставимы друг с другом. Это затруднит или сделает их неприемлемыми для использования в межзаводских сравнениях и системном анализе. Такой вывод показывает несостоятельность попыток привести систему показателей к одному на базе балльных оценок коэффициентов.

В работе [2] отмечается, что качественным и своевременным выполнением своих функций службы технического обслуживания, в частности ремонтное хозяйство, сокращают издержки на производство основной продукции. Однако затраты на службы технического обслуживания сами по себе также нуждаются в сокращении, но не в механическом. Важно на базе совершенствования технического обслуживания производства одновременно снижать издержки на содержание его служб. В современном машиностроении вспомогательное и основное производство связаны воедино, поэтому неоправданное механическое снижение издержек на содержание вспомогательного производства обязательно приведет к значительному росту издержек основного производства.

Итак, предлагаемый обобщающий показатель должен отражать:

- 1) снижение издержек в подсистемах технического обслуживания и улучшение использования производственных фондов;
- 2) снижение издержек в основном производстве в результате более качественного технического обслуживания.

Предлагается следующая формула для расчета обобщающего показателя экономической эффективности технического обслуживания:

$$\mathcal{E}_T = (\Pi_T + \Pi_T') / \Phi_T, \quad (4)$$

где  $\Pi_T$  – экономия, получаемая в основном производстве за счет сокращения издержек на собственное техническое обслуживание;

$\Pi_T'$  – экономия, получаемая в основном производстве за счет улучшения качества обслуживания;

$\Phi_T$  – общая величина производственных фондов подразделений технического обслуживания.

Авторы считают необходимым введение дополнительного подраздела в раздел «Показатели повышения экономической эффективности производства» в структуре производства «План повышения экономической эффективности техни-

ческого обслуживания производства» [2, с. 168]. Для его расчета предложена следующая методика:

1. Рассчитывается общая величина затрат на техническое обслуживание по предприятию. Предложена система калькуляции затрат для определения этой величины.

2. На каждый год определяются затраты технического обслуживания ( $Z_T$ ), приходящиеся на гривну планируемого объема товарной продукции:

$$Z_T = S_T / O^{пл}, \quad (5)$$

где  $S_T$  – общая сумма затрат на техническое обслуживание;

$O^{пл}$  – планируемый объем товарной продукции.

3. Затраты ( $Z_T$ ) последнего года берутся за базовые.

4. Рассчитывается экономия, получаемая в основном производстве за счет сокращения издержек на техническое обслуживание:

$$П_T = (Z_T^б - Z_T^{пл}) * O^{пл}, \quad (6)$$

где  $Z_T^б$  – затраты технического обслуживания производства на 1 ден. единицу товарной продукции в базовом периоде;

$Z_T^{пл}$  – затраты технического обслуживания производства на 1 ден. единицу товарной продукции в планируемом периоде;

$O^{пл}$  – объем товарной продукции в планируемом периоде.

5. Общая экономическая эффективность обслуживания производства определяется отношением  $П_T$  к стоимости производственных фондов подразделений технического обслуживания. В данном случае расчет произведен без учета качества технического обслуживания.

6. Качество технического обслуживания можно оценить по формуле

$$П_T' = r * (T_б - T_{пл}), \quad (7)$$

где  $r$  – стоимость 1 нормо-часа товарного выпуска данного производственного подразделения;

$T_б$  и  $T_{пл}$  – суммарное время простоя оборудования (рабочего) по виду данного подразделения технического обслуживания соответственно в базовом и плановом периодах, нормо-часы [2, с. 171].

Таким образом, формула для расчета экономической эффективности примет следующий вид:

$$Э_T = ((Z_T^б - Z_T^{пл}) * O^{пл}) + (r * (T_б - T_{пл})) / \Phi_T \quad (8)$$

Проанализировав предлагаемую авторами методику можно выделить следующие недостатки:

1. Обобщающий показатель экономической эффективности технического обслуживания позволяет оценить только динамику результирующего коэффициента, т. е. если не планируется снижение затрат на техническое обслуживание производства и время простоя оборудования в базовом и плановом периодах приблизительно равно, то результирующий коэффициент будет стремиться к нулю и показывать низкую эффективность технического обслуживания производства. Это неверно с логической точки зрения.

2. Результирующий коэффициент непригоден для сравнения различных предприятий с разным начальным уровнем экономической эффективности обслуживания производства. Поясним это на примере. Предположим, сравнивается экономическая эффективность технологического обслуживания производства



двух предприятий, где первое – имеет изначально высокий уровень обслуживания, а второе – более низкий. В текущем периоде на первом предприятии рассчитана экономическая эффективность обслуживания и получен результат  $\mathcal{E}_{T1}$  (причем относительно невысокий, так как предприятие имеет небольшие резервы по снижению  $Z_{T}^{пл}$  и  $T_{пл}$ ). Результат второго предприятия  $\mathcal{E}_{T2}$  будет значительно выше, так как предприятие имеет большие резервы снижения  $Z_{T}^{пл}$  и  $T_{пл}$  и ему необходимо приложить меньше усилий для получения больших величин  $(Z_{T}^6 - Z_{T}^{пл})$  и  $(T_6 - T_{пл})$ . При этом конечная экономическая эффективность технического обслуживания может остаться ниже, чем на первом предприятии.

3. Данная методика не позволяет оценить экономическую эффективность отдельных составляющих технологического обслуживания и определить, где именно имеются наибольшие резервы для увеличения экономической эффективности обслуживания производства. Высокий показатель экономической эффективности одного хозяйства и низкий – другого (такая ситуация вполне возможна, так как в рамках одного предприятия различные виды вспомогательных производств могут иметь разную степень механизации, производительность, фондотдачу, уровень организации производства и т. д.) могут взаимно сокращаться и затруднять подготовку рекомендаций по улучшению эффективности в целом.

В работе [3] указывается, что влияние вспомогательного производства на прибыль и рентабельность предприятия проявляется через экономию его общих производственных издержек в результате улучшения производственно-хозяйственной деятельности вспомогательных цехов, т. е. за счет повышения его экономической эффективности. В частности, автор группирует вспомогательные производства как цеха с массовой однородной продукцией или услугами типа энергетических и транспортных цехов и цехов типа инструментальных, модельных, ремонтных и других, производящих многономенклатурную продукцию.

Для определения эффективности инструментальных, модельных, ремонтных и других цехов, производящих многономенклатурную продукцию, в том числе и по индивидуальным заказам, необходимо пользоваться следующей формулой:

$$\mathcal{E}_в = \sum (C_i^ф - C_i^п) * K_i^ф + \sum (T_i^ф - T_i^п) / T_i^п * K_i^ф * C_i^ф, \quad (9)$$

где  $K^ф, K^п$  – плановая и фактическая продукция (услуги) вспомогательного производства в натуральном выражении;

$T_i^ф, T_i^п$  – плановый и фактический срок службы (продолжительность полезной работы) продукции вспомогательного производства [3, с. 71].

Как считает автор, экономический смысл этой зависимости состоит в том, что сумма экономии за счет работы инструментального, модельного или тарного цехов равна снижению себестоимости всей фактически выпущенной ими продукции (оказанных услуг) и экономии за счет повышения срока службы инструментов и моделей, увеличения межремонтных сроков эксплуатации оборудования в результате мероприятий, проведенных в цехах вспомогательного производства. Практически очень трудно учесть фактическое увеличение срока службы продукции вспомогательного производства, особенно при определении эффективности за короткие промежутки времени (месяц, квартал). Поэтому на практике экономию от увеличения продолжительности полезной работы определяют расчетным путем, исходя из качества.

Недостатком метода определения абсолютной экономической эффективности вспомогательных производств является то, что вторую часть формулы (9) можно отнести только к текущим ремонтам, а сам экономический смысл этой

формулы показывает не экономическую эффективность данного хозяйства, а экономии от снижения себестоимости продукции.

Итак, формула (9) служит для определения абсолютной эффективности вспомогательного производства.

Недостатки метода очевидны: метод не учитывает ни изменение основных фондов каждого вспомогательного хозяйства, ни влияние качества обслуживания вспомогательного производства, ни потери основного производства по вине вспомогательных производств.

В работе [4] Локтева предлагает методику управления повышением эффективности ремонтного хозяйства, которая включает в себя: анализ факторов, влияющих на эффективность ремонтного хозяйства; оценку использования основных средств и трудовых ресурсов ремонтной службы; расчет показателей качества работы ремонтной службы (показатели теории массового обслуживания); расчет показателя эффективности работы ремонтного хозяйства; использование матрицы количественной оценки эффективности ремонтного хозяйства. На основе проведенных расчетов с использованием математической модели метода Паттерн производится выбор приоритетного пути повышения эффективности ремонтного хозяйства.

**Оценка эффективности ремонтного хозяйства путем определения уровня общих расходов.** На основе анализа рассмотренных работ была разработана методика оценки эффективности вспомогательного производства путем определения общих расходов на ремонтное хозяйство. Она состоит в следующем:

1. Оценка убытка от простоев основного производства, вызванных работой ремонтного хозяйства

$$Y_{\text{п}} = \sum_1^i T_{\text{пр}} \cdot S_{\text{в}}, \quad (10)$$

где  $Y_{\text{п}}$  – убытки от простоев основного производства по вине ремонтного хозяйства;

$T_{\text{пр}}$  – время простоев группы оборудования основного производства, вызванного ремонтным хозяйством;

$S_{\text{в}}$  – продукция, производимая группой оборудования в стоимостном выражении в час;

$i$  – количество групп оборудования, производящих однородную продукцию.

Время простоев группы оборудования основного производства, вызванного ремонтным хозяйством, можно оценить следующим образом:

$$T_{\text{пр}} = T_{\text{нпр}} + T_{\text{рем}} \quad (11)$$

где  $T_{\text{нпр}}$  – время непредвиденных простоев по причине поломки оборудования;

$T_{\text{рем}}$  – фактическое время ремонта оборудования, проведенного не во время простоев по другим причинам, т.е. в это время не входит время ремонтов, проведенных в межсменый период, и время простоев, вызванных недостаточной загрузкой оборудования.

2. Убытки, вызванные увеличением себестоимости ремонтного хозяйства

$$Y_c = (C_{рф} - C_{рп}) * P, \quad (12)$$

где  $Y_c$  - убытки, вызванные увеличением себестоимости ремонтного хозяйства;

$C_{рф}$  – себестоимость единицы ремонтосложности оборудования фактическая (без учета амортизационных отчислений);

$C_{рп}$  – себестоимость единицы ремонтосложности плановая;

$P$  – фактическая сумма единиц ремонтосложности ремонтов, проведенных за период.

3. Расчет общих расходов на ремонтное хозяйство

$$Z_{сум} = Y_{п} + Y_c + \Phi_{оср} * 0,15, \quad (13)$$

где  $Z_{сум}$  - общие расходы на ремонтное хозяйство;

$\Phi_{оср}$  – основные фонды ремонтного хозяйства;

0,15 – норма амортизационных отчислений.

Таким образом, анализируя рассмотренные выше методики оценки эффективности ремонтного хозяйства, были выявлены ограничения их применяемости. Авторами данной статьи была сделана попытка устранить недостатки предыдущих методик и на основе анализа рассмотренных работ была разработана методика оценки эффективности вспомогательного производства путем определения общих расходов на ремонтное хозяйство.

### Заключение

Разработана методика оценки эффективности ремонтного хозяйства посредством определения его влияния на основное производство, что позволяет оценить:

1) общую сумму расходов на ремонтное хозяйство – уменьшение общей суммы расходов на ремонтное хозяйство является положительным фактором и расценивается как увеличение эффективности ремонтного хозяйства;

2) эффективность ремонтного хозяйства безотносительно изменения в фактическом периоде по отношению к плановым номенклатуре и объему выпускаемой продукции.

### Список литературы

1. Макаренко М. В. Анализ эффективности вспомогательного производства. – М.: МДНТП, 1997. – 128 с.
2. Власов Б. В., Семенов В. М. Повышение эффективности вспомогательных производств. – М.: Экономист, 1989. – 232 с.
3. Палий В. П. Учет и хозрасчет вспомогательного производства. – М.: Финансы, 1993. – 112 с.
4. Локтева М.А. Формирование методики управления повышением эффективности ремонтного хозяйства // Вестник: Сб. науч. тр.– Волжский: ВПИ, –2002.– С. 23 – 25.

## **Подход к оценке жизнеспособности проекта: экспериментальная проверка на примере лотерейного проекта**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»*

**Постановка проблемы в общем виде.** В цивилизованной экономике решение об инвестициях и начале проекта принимается лишь после проведения технико-экономического обоснования проекта (разработки бизнес-плана).

**Анализ последних достижений и публикаций.** Ссылаясь на наиболее известные публикации по стратегическому менеджменту, можно сделать вывод, что известные финансисты и аналитики при оценке инвестиционных и коммерческих проектов применяют технико-экономическое обоснование. Основу такого подхода составляют методы, позволяющие на основании данных о внутренних (затраты, организационная структура и т.д.) и внешних (спрос на продукт проекта, доля рынка конкурентов и т.д.) факторах рассчитать финансовые показатели анализируемого проекта и принять решение о соответствии проекта внутренним требованиям к рентабельности, уровню затрат и т.д.

**Не решенная ранее часть проблемы в общем виде.** Указанные методы давно используются для обоснования решений о принятии инвестиционных или коммерческих проектов, но они хороши и эффективны лишь в случае изначальной жизнеспособности проекта. Как известно, затраты на технико-экономическое обоснование (ТЭО) могут составлять до 10% стоимости проекта [1]. Поэтому в состав методов обоснования решений о принятии проектов необходимо включить систему методов, позволяющих еще до проведения ТЭО оценить жизнеспособность проекта. Эта система методов должна быть апробирована на практике и иметь объективную обоснованность ее применения.

**Цель и задачи работы.** Цель работы: проверить на практике разработанную методику оценки жизнеспособности проектов. Задачи работы: проанализировать реально существующий лотерейный проект с помощью предложенной методики оценки жизнеспособности проекта в начале его внедрения и спустя 9 лет после его воплощения в жизнь.

**Решение поставленной задачи и обоснование полученных результатов.** В качестве методики для предварительной оценки лотерейного проекта рассмотрим такую последовательность методов: квантовый экономический анализ, анализ цепочки добавленной стоимости, метод Портера, а также анализ рынка в целях определения наиболее удачных стратегий 4P.

**Оценка жизнеспособности и экономической эффективности инвестиционного в начале воплощения лотерейного проекта в жизнь 1997 г.**

Первым в системе взаимосвязанных методов оценки жизнеспособности данного инвестиционного проекта стоит квантово-экономический анализ [1]. Из него следует, что компания, внедряющая лотерейный проект - 1-го уровня, так как по сравнению с иностранными и отечественными компаниями является вновь созданной. Иногда бывает, что такого рода компания переходит на 2 уровень.

Эволюционная стадия развития рынка соответствует 2-му этапу (уровню). Это объясняется жесточайшей конкуренцией компанией между собой, появлением "брендов", формированием market shares, т.е. процентного деления рынка между компаниями.

Точно такой же является и техническая система (2-й уровень), поскольку инвестиции в ее развитие дают пропорциональное повышение производительности.

Из вышесказанного следует, что данный проект не только неэффективен изначально в силу несовместимости этапа эволюционного развития компании с рынком и технической системой (т.к. не входит в выигрышные сочетания), но и соответственно является изначально проигрышным. Дело в том, что массовую продажу такая компания организовать не сможет, а это необходимо для такого рынка. Кроме того, на рынке лотерей присутствуют крупные иностранные лотерейные компании 3-го уровня, с которыми рассматриваемая компания не сможет конкурировать ввиду недостаточности ресурсов. Таким образом, эта инвестиция будет недостаточной для такого капиталоемкого бизнеса как лотерейный и в конечном итоге окажется потерянной.

Дальнейшее исследование проекта по системе методов оценки его жизнеспособности не имеет смысла без кардинальной доработки проекта. Однако следует исследовать проект с помощью остальных методов в целях выработки более полных и действенных рекомендаций по его доработке.

После квантово-экономического анализа использовался анализ цепочки добавленной стоимости [2]. В 1997 году исследуемая компания производила эмиссию лишь одного вида лотерейных билетов самостоятельно (см. рис. 1). Выпускаемые лотерейные билеты имели непрезентабельный вид и сильно уступали мгновенным лотереям других лотерейных компаний, которые пестрили разнообразием видов, форм и красок. Поэтому лотерейный проект нуждался во внешнем поставщике качественных и конкурентоспособных мгновенных лотерей.

Такая цепочка показывает, что звенья цепи находятся не в конкурентных отношениях друг с другом, а в тесном сотрудничестве, направленном на достижение одной общей цели. Каждое звено в ценовой цепочке представляет собой предприятие (компанию), которое добавляет свою цену к конечному продукту (услуге). Продукт (услуга) считается законченным только тогда, когда он достигает финальной стадии этой цепи.

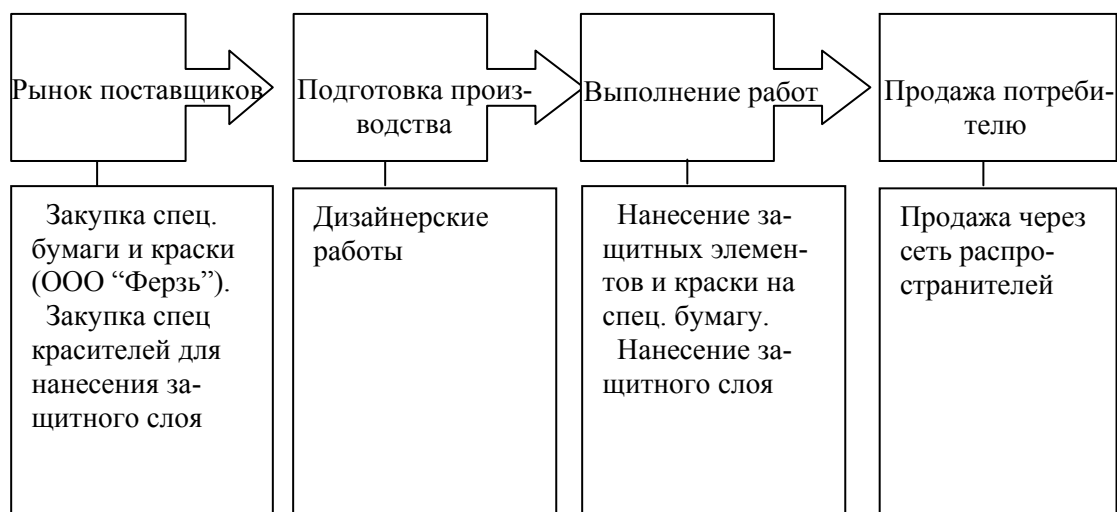


Рис.1 Цепочка создания стоимости: производство лотерейных билетов

Далее оценка жизнеспособности инвестиционного проекта производится с помощью модели пяти сил Портера [3]. Результаты анализа пяти сил Портера нанесены на лист анализа конкуренции (см. таблицу).

Лист анализа конкуренции

<b>Опасность появления новых фирм</b>	Высокая	Низкая	<b>Рыночная власть производителей</b>	Высокая	Низкая
Экономия на масштабе	X		Концентрация относительно отрасли клиентов	X	
Дифференцирование продуктов		X	Доступность продуктов заменителей	X	
Потребность в капитале	X		Важность клиента для производителя	X	
Стоимость переориентации	X		Дифференциация продуктов производителя	X	
Контроль каналов распределения		X	Стоимость переориентации клиента	X	
Собственные знания	X		Опасность прямого объединения производителями		X
Доступ к материалам		X			
Доступ к государственным субсидиям		X	<b>Интенсивность конкуренции</b>	Высокая	Низкая
			Количество конкурентов		X
<b>Рыночная власть клиентов</b>	Высокая	Низкая	Темп роста отрасли	X	
Ориентация клиента на соответствующего производителя		X	Неизменные затраты	X	
Объем производства		X	Затраты на складирование	X	
Дифференциация поставляемых продуктов		X	Дифференциация продукта	X	
Опасность обратного объединения клиентами	X		Стоимость переориентации		X
Знание клиентов о структуре затрат производителей	X		Барьер для входа	X	
Величина дохода клиентов		X	Стратегическое участие	X	
Экономия затрат на поставляемых продуктах		X			
Важность вклада производителей в качество конечного продукта покупателя		X	<b>Опасность продуктов заменителей</b>	Высокая	Низкая
Доля общих затрат клиента на продукцию производителя	X		Вероятность появления заменителя	X	

Основной задачей листа анализа конкурентов является определение влияния некоторых политических, экономических, социальных и технических параметров на пять сил Портера, то есть на опасность появления новых фирм на рынке, на рыночную власть поставщиков фирмы, на рыночную власть клиентов фирмы, на опасность появления продуктов-заменителей и на интенсивность конкурентной борьбы между фирмами.

Из листа анализа конкуренции следует, что влияние покупателей, а также интенсивность конкурентной борьбы достаточно высока в данной отрасли, а это, в свою очередь, предусматривает отложение данного проекта до “лучших времен” либо кардинальный его пересмотр в целом.

Проанализировав лотерейный рынок в Украине [4], можно сделать вывод, что фактически весь лотерейный бизнес в Украине контролируется компаниями частной формы собственности. Для рынка характерна олигополия (несколько основных операторов, контролирующих рынок с точки зрения вхождения новых участников). Таким образом, на этот рынок практически невозможно попасть, но так как исследуемая компания успешно вошла на этот рынок, главной задачей для нее является стремительное развитие собственного бизнеса по продаже мгновенных государственных лотерей в условиях жесткой конкуренции. Важным фактором также служит возможность доступа к рекламе в СМИ Украины как к основному средству продвижения лотереи.

По состоянию на 1997 г. на лотерейном рынке присутствовало пять игроков, зарегистрированных Министерством финансов: “Молодьспортлото” (“МСЛ”), “Украинская национальная лотерея” (“УНЛ”), “Телефортуна ЛТД”, “Патриот” и “Государственный Ощадный банк Украины”. 88,6% рынка принадлежали двум компаниям — “МСЛ” и “УНЛ”, остальные 11,4% разделили между собой “Телефортуна ЛТД”, “Патриот” и “Государственный Ощадный банк Украины”.

Результаты технико-экономического обоснования показывают, что для запуска и развития национального лотерейного проекта необходимо от 2 до 5 млн. долларов. При профессиональном подходе через полгода игра становится безубыточной, а окупаются все затраты примерно за 18 месяцев. Существует мнение, что объемы продаж напрямую зависят от телевизионных лотерейных трансляций [4]. Поэтому к участию в лотерейном бизнесе могут привлекаться владельцы телевизионных каналов.

Из общей оценки лотерейного проекта по продаже мгновенных государственных лотерейных билетов следует, что хотя он и приносит прибыль, но с точки зрения жизнеспособности он обречен на неудачу. Единственным выходом для рассматриваемой организации в данной ситуации будет найти себе более развитую компанию, способную инвестировать в данный проект значительные денежные ресурсы и обеспечить данному лотерейному проекту развитую сеть распространителей, а также найти внешнего поставщика более конкурентоспособных мгновенных лотерей.

**Состояние лотерейного проекта на сегодня.** Сегодня исследуемая компания является одним из четырех действующих операторов государственных лотерей Украины и свою деятельность по выпуску и проведению государственных лотерей осуществляет на основании выданной Министерством финансов Украины Лицензии №001980 с сроком действия до 2013 года. Следует указать, что количество и уровень деятельности операторов государственных лотерей в соответствии с Указом Президента Украины №813/2002 от 10 сентября 2002 г. “О некоторых мероприятиях по регулированию лотерейной деятельности” и действующей нор-

мативной базы на данное время чрезвычайно жестко регламентируется и контролируется государством. В числе других, упомянутый Указ Президента Украины предусматривает введение государственной монополии на лотерейную деятельность, в т.ч. устранение из соответствующего рынка структур, которые занимаются негосударственными лотереями.

Лотерейный проект существует свыше девяти лет на рынке государственных денежных мгновенных лотерей Украины. Значительно же улучшить свою деятельность и выйти из статуса убыточной компания смогла только начиная с сентября 2002 года, т.к. к числу ее основателей была привлечена крупная группа новых инвесторов, возглавляемая ЗАО “Украинские лотереи”, и налажено активное сотрудничество с крупным банком. В данное время компания является одним из наиболее динамично прогрессирующих операторов государственных лотерей Украины, который только за 2003 год семикратно увеличил объем реализации моментальных лотерей (750 % роста), достигнув при этом стабильных продаж около одного миллиона лотерейных билетов ежемесячно. Ежегодно прирост лотерейного проекта составляет в среднем 20%.

Исследуемая компания является действующим оператором государственных моментальных лотерей и постоянно работает над усовершенствованием и расширением номенклатуры своих продуктов. Так, на протяжении только 2003 года компания представила на рынке 7 новых видов современных лотерей.

Благодаря реализации новых подходов и тесному сотрудничеству со своим партнером компанией NPM Print (Беларусь, Минск) - производителем лотерейных продуктов и ассоциированным членом Европейской ассоциации лотерей, мгновенные лотереи приобрели более привлекательный вид и сегодня значительно отличаются от других лотерейных продуктов, представленных на украинском рынке. На сегодня компания имеет широкую номенклатуру лотерейных билетов в ценовом диапазоне от одной до пяти гривен и работает над тем, чтобы не реже двух раз в год внедрять на рынок новые лотереи. Реализация лотерейных билетов происходит через разветвленную сеть реализаторов и партнеров по всем регионам Украины, которая включает свыше 12 000 банковских отделений («Приватбанка», Сбербанка), около 16 000 региональных отделений Укрпочты и большое количество частных предпринимателей и юридических лиц. Компания имеет тесные партнерские отношения с рядом украинских рекламных агентств, компаний и средств массовой информации, в том числе с газетой “Комсомольская правда в Украине”, Украинским информационным агентством “УНІАН”, ТВ агентством “ОКНА”, компанией и FM радио “ДОВЕРИЕ”, рекламными агентствами “Интер 2000”, “Ферзь” и другими.

**Анализ полученных результатов.** Таким образом, из вышеприведенного практического применения разработанной методики оценки инвестиционных и коммерческих проектов (рис. 2) на примере реально существующего лотерейного проекта показано, как компания могла бы избежать убыточной деятельности в течении 5 лет (с 1997 по 2002г.), проведя оценку жизнеспособности проекта перед классическим технико-экономическим обоснованием, понеся при этом минимальные затраты времени и денег, связанные с оценкой жизнеспособности лотерейного проекта.

**Заключение.** Полезность применения рассматриваемой методики заключается в комплексности анализа инвестиционного и коммерческого проекта, возможности на первых этапах разработки проекта оценить его осуществимость в реально складывающихся экономических условиях, позволит не только реализо-



выводить новые проекты, но и доводить до логического завершения и ранее начатые, а также выявлять и постепенно исправлять допущенные ошибки на стадии реализации проекта. Методика заключается в последовательности применения известных методов и моделей.

Предложенный подход (рис. 2) прошел апробацию на Четвертой Всеукраинской научной конференции "Актуальные вопросы менеджмента в современных условиях" в г. Донецке. Практическая ценность результатов этой работы заключается как в комбинации методов анализа инвестиционного проекта, так и прежде всего в оценке эволюционной совместимости различных компонентов бизнеса (компании, рынка и продукта).

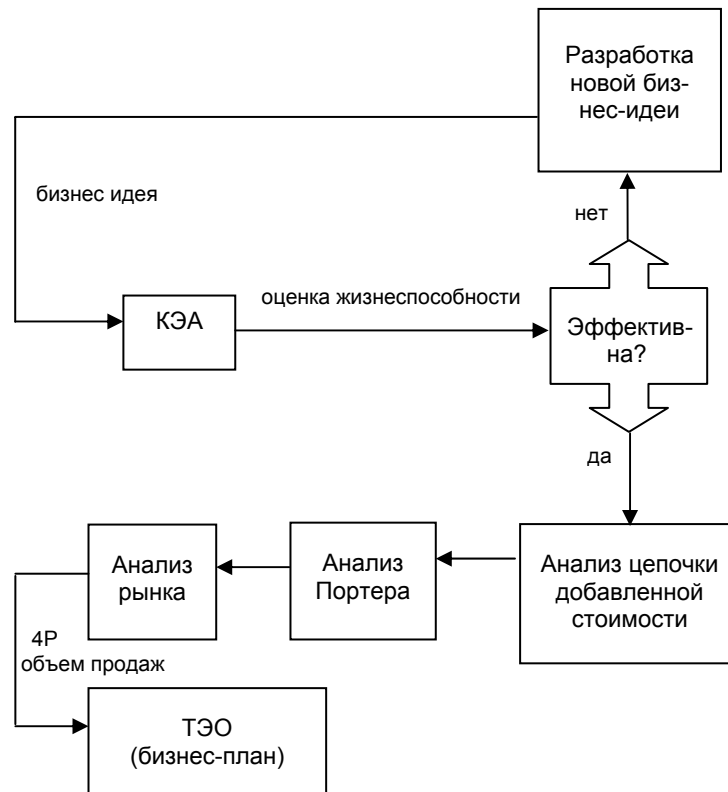


Рис.2 Предлагаемая схема проведения анализа эффективности инвестиционного проекта

### Список литературы

1. Шнейдер А., Кацман Я., Топчишвилли Г. Наука побеждать в инвестициях, менеджменте и маркетинге. – М.: ООО «Издательство АСТ», 2002. – 232с.
2. Управление проектами: Учебник для вузов / Ильин Н.И., Лукманова И.Г., Немчин А.М. и др.; под общ. ред. В.Д. Шапиро. – СПб.: «ДваТри», 1996. – 610 с.
3. Томпсон А.А., Стрикленд А. Дж. Стратегический менеджмент. Искусство разработки и реализации стратегии: Учебник для вузов / Пер. с англ. - М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1998. - 576 с.
4. Колтынюк Б.А. Инвестиционные проекты: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Изд-во Михайлова В.А., 2002. – 622 с.

## Метод определения влияния конструктивно - технологических параметров односрезного болтового соединения на распределение контактных давлений в зоне сопряжения его элементов

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*

При определении характеристик напряженно-деформированного состояния в элементах срезного болтового соединения должны учитываться особенности структуры нагружения и условия контактного взаимодействия болта с элементами соединения. Эти особенности связаны с наличием эксцентриситета передачи нагрузки элементами соединения, который приводит к возникновению в элементах этого соединения напряженного состояния моментной структуры и неравномерного распределения погонных сил взаимодействия по площади контакта болта со стенками отверстия.

В общем случае силовая связь (болт) в срезном соединении двух деталей может передавать усилие  $P$  и изгибающие моменты  $M$  (рис. 1).

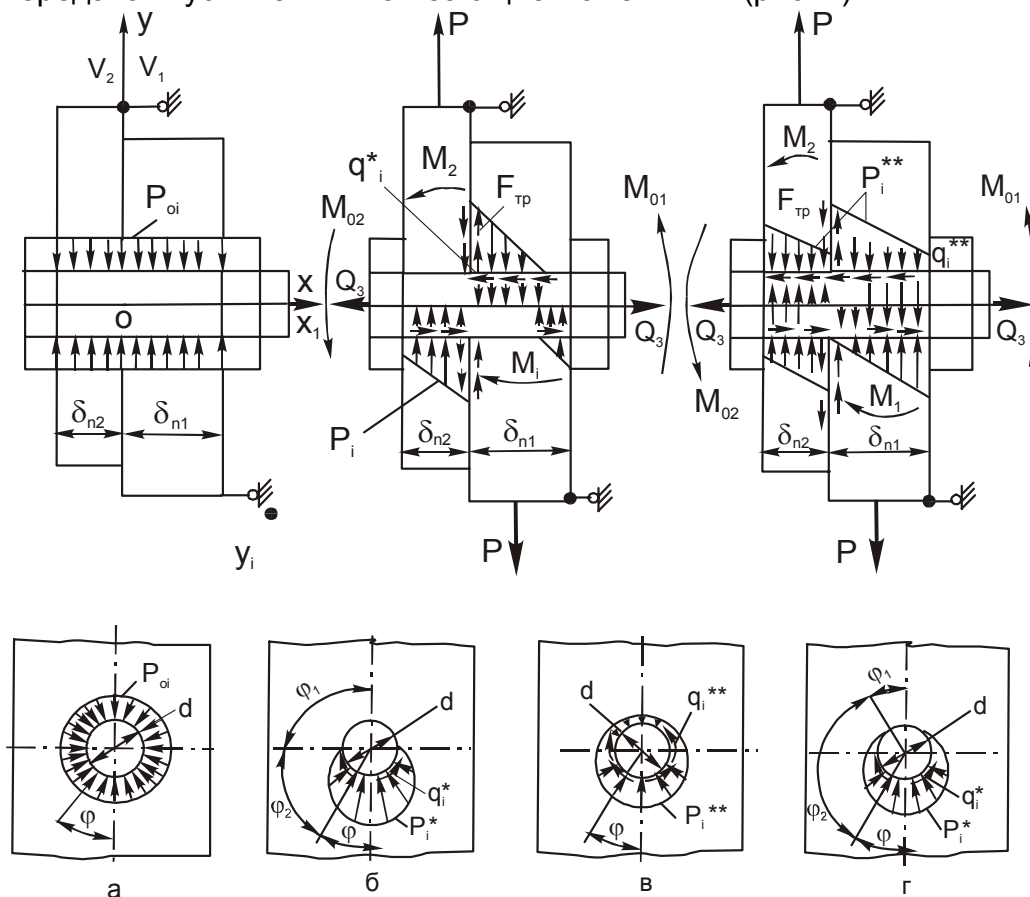


Рис. 1. Расчетная схема односрезного болтового соединения

При моделировании контактного взаимодействия пластин и болта в односрезном соединении пластины представлены в виде упругих оснований. В процессе работы болт нагружается как балка, работающая на изгиб и сдвиг, через упругое основание нормальной  $p_i(x)$  и касательной  $q_i(x)$  нагрузками, реактивными опорными моментами в сечениях по плоскостям контакта гайки и головки болта с соединяемыми пластинами. На болт и соединяемые пластины действует усилие затяжки болта  $Q_3$ .

В отличие от известных ранее из литературных источников [1, 2] в предлагаемой модели учтены нормальная  $p_{0i}$  и касательная  $q_{0i}$  (силы трения) нагрузки на болт, вызванные радиальным натягом и влияющие на характер его контактного взаимодействия.

В работе [3] поставленная задача решена только в пределах упругого взаимодействия болта с соединяемыми пластинами при условии, что контактные напряжения от натяга больше контактных напряжений от внешней нагрузки.

Целью данной статьи является разработка метода определения характеристик контактного взаимодействия болта с соединяемыми пластинами при упругопластических натягах, учитывающая возможный отрыв болта от стенки отверстия при больших внешних нагрузках и возникающий при этом контакт болта со стенкой отверстия не по всей длине окружности ( $0 \leq \varphi_1 < \frac{\pi}{2}$ , см. рис. 1, г).

Предложенная методика определения влияния конструктивно – технологических параметров односрезного болтового соединения на распределение контактных давлений в зоне сопряжения его элементов включает в себя:

1. Анализ физического взаимодействия элементов односрезного одноболтового соединения и выделение основных конструктивно – технологических факторов, определяющих его качество и усталостную долговечность, разработку расчетной схемы соединения с учетом контактного взаимодействия и истории нагружения.
2. Составление дифференциального уравнения, описывающего контактное взаимодействие болта с соединяемыми листами односрезного соединения.
3. Формулирование граничных условий для дифференциального уравнения упругой оси болта в зонах сопряжения гайки и головки болта с соединяемыми листами, и листов друг с другом.
4. Интегрирование дифференциального уравнения упругой оси болта с учетом граничных условий.
5. Итерационный поиск решения составленной краевой задачи изгиба упругой оси болта.
6. Определение величины контактных давлений в сопрягаемых зонах соединения.

Прежде чем непосредственно перейти к рассмотрению методики расчета, примем ряд условных обозначений для величин, применяемых в ней:

$p_j$  - погонная нормальная нагрузка по линии контакта болта и соединяемых пластин, вызванная действием внешней нагрузки, приложенной к соединению;

$V_i$  - обмятие соединяемой пластины;  
 $\gamma_j$  - коэффициент жесткости материала соединяемой пластины;  
 $q_i$  - погонная касательная нагрузка по линии контакта болта и соединяемых пластин, вызванная действием внешней нагрузки;  
 $f_i$  - коэффициент трения между болтом и соединяемыми пластинами;  
 $d$  - диаметр болта;  
 $\underline{\psi}$  - величина радиального натяга;  
 $\overline{\psi}$  - величина относительного радиального натяга, выраженная в процентах к диаметру болта;  
 $p_i^*$  - контактное давление между болтом и стенкой отверстия в соединяемой пластине, вызванное действием внешней нагрузки на соединение при установке болта по скользящей посадке;  
 $q_i^*$  - силы трения между болтом и стенкой отверстия в пластине, вызванные действием контактных давлений ;  
 $p_{0i}$  - контактное давление между болтом и стенкой отверстия в соединяемой пластине, возникающее при установке болта с радиальным натягом;  
 $q_{0i}$  - силы трения между болтом и стенкой отверстия в пластине, вызванные действием контактных давлений  $p_{0i}$ ;  
 $p_i^{**}$  - контактное давление между болтом и стенкой отверстия в соединяемой пластине, вызванное действием внешней нагрузки на соединение при установке болта с радиальным натягом;  
 $q_i^{**}$  - силы трения между болтом и стенкой отверстия в пластине, вызванные действием контактных давлений  $p_i^{**}$  ;  
 $b$  - ширина пластины;  
 $E_1$  - модуль упругости материала болта;  
 $E_{2i}$  - модуль упругости материала соединяемой пластины;  
 $\mu_1$  - коэффициент поперечной деформации материала болта;  
 $y$  - функция, характеризующая прогиб оси болта;  
 $k$  - коэффициент, учитывающий влияние формы поперечного сечения болта на деформации сдвига;  
 $F_{i1}$  - площадь поперечного сечения болта;  
 $I_i$  - момент инерции поперечного сечения болта;  
 $\chi_i$  -  $E_1 \cdot I_i$  – изгибная жесткость элемента;  
 $G_1$  - модуль сдвига материала болта;  
 $Q_{bi}$  - поперечная сила в сечении болта;  
 $M_{bi}$  - изгибающий момент в сечении болта;  
 $\delta_{n1}, \delta_{n2}$  - толщины соединяемых пластин;  
 $Q_3$  - усилие затяжки болта;  
 $S_i$  - размер под ключ гайки или головки болта;  
 $F_{0B}$  - сила трения между соединяемыми пластинами;  
 $f$  - коэффициент трения между соединяемыми пластинами;

$P$  - внешняя нагрузка, действующая на соединение;  
 $k$  - коэффициент неравномерности погонной нормальной контактной нагрузки;  
 $v_c, v_{c\ddagger}$  - коэффициент неравномерности контактных давлений под гайкой и головкой болта соответственно;  
 $M_{0i}$  - опорный изгибающий момент в сечении по плоскости контакта гайки или головки болта с соединяемыми пластинами. В ненагруженном состоянии системы координат  $(X O Y)$ ,  $(X_1 O_1 V_1)$  и  $(X_2 O_2 V_2)$  совпадают. В нагруженном состоянии система координат  $(X_2 O_2 V_2)$  сдвигается относительно системы координат  $(X_1 O_1 V_1)$  на расстояние  $|v_1| + |v_2|$ . Система координат  $(X O Y)$ , связанная с болтом, относительно системы координат  $(X_1 O_1 V_1)$  поворачивается на угол  $\theta$  и перемещается на расстояние  $|v_1|$  (см. рис. 2).

В процессе нагружения соединения болт подвергается деформациям сдвига и изгиба, а также поворачивается относительно точки  $O$  как абсолютно жесткое тело. Пластины обминаются и сдвигаются одна относительно другой. Пусть функция  $V_i(x)$  характеризует обмятие пластины. Полагаем, что функция, описывающая прогиб оси болта  $y(x)$ , связана с обмятием материала пластин  $V(x)$  соотношением

$$y(x) = V(x) + \theta \cdot x + b_i, \quad (1)$$

где  $b_i$  - перемещение (смещение) пластины относительно болта как абсолютно жёсткого тела (рис. 2);  $\theta$  - угол поворота болта как абсолютно жёсткого тела вокруг точки  $O$ .

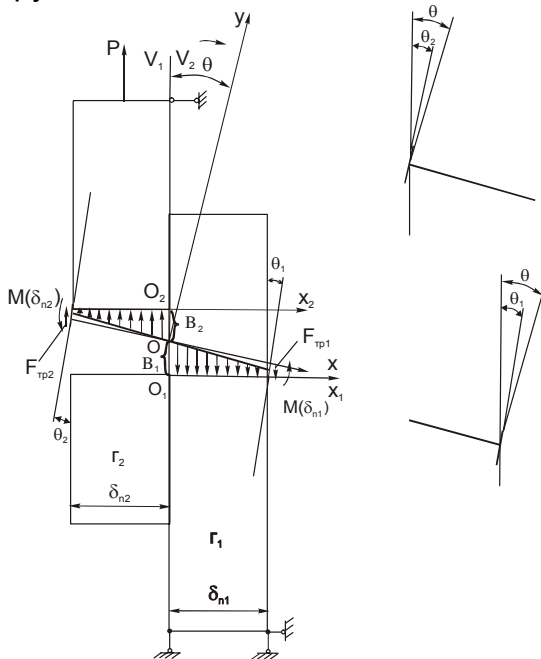


Рис. 2. Схема перемещения пластин и болта при нагружении односрезного соединения

Принято, что положительное перемещение направлено вдоль оси  $Y$ , а положительное направление угла поворота - против часовой стрелки. Внешние сосредоточенные силы и распределённая нагрузка, приложенная к болту, считаются положительными, если они направлены в сторону положительных ординат. Реакция основания считается положительной, если она направлена в сторону отрицательных ординат. Поперечная сила положительна, если она стремится повернуть болт по часовой стрелке. Изгибающий момент положителен, когда он стремится изогнуть болт выпуклостью в сторону отрицательных ординат.

Вторая производная от прогиба оси болта положительна, если ось болта изгибается выпуклостью в сторону отрицательных ординат.

Допустим, что в соединениях без радиального натяга контакт между пластинами и болтом происходит по половине его боковой поверхности  $\varphi_1 = \frac{\pi}{2}$  (см. рис. 1,б), а в соединениях с радиальным натягом - по всей боковой поверхности болта (см. рис. 1,в) или в пределах  $0 \leq \varphi_1 \leq \frac{\pi}{2}$  (см. рис. 1,г).

Погонные нормальная и касательная нагрузки, действующие на болт, определяются выражениями

$$p_i(x) = -\gamma_i \cdot d \cdot V_i(x); \quad q_i(x) = f_i \cdot p_i(x). \quad (2)$$

Считаем, что контактные давления, возникающие при взаимодействии болта с пластинами срезного соединения, распределены по поверхности контакта болта со стенкой отверстия [2]

$$p_i^*(x, \varphi) = p_i^*(x, 0) \cdot \cos \varphi \quad (3)$$

и связаны с погонной нормальной нагрузкой соотношением

$$p_i^*(x, \varphi) = \frac{4}{\pi \cdot d} \cdot p_i(x) \cdot \cos \varphi \quad (4)$$

Силы трения связаны с погонной касательной нагрузкой

$$q_i^*(x, \varphi) = \frac{4}{\pi \cdot d} \cdot q_i(x) \cdot \cos \varphi \quad (5)$$

В соединениях без радиального натяга контактные давления  $p_i^*$  и силы трения  $q_i^*$  действуют в интервале  $\varphi \in \left[-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}\right]$ .

В соединениях с радиальным натягом дополнительно к контактным давлениям и силам трения от внешней нагрузки появляются контактные давления и силы трения, вызванные натягом (см. рис. 1,а). Суммарные контактные давления и силы трения болта с пластинами (см. рис. 1,г) определяются выражениями

$$\begin{aligned} p_i^{**}(x, \varphi) &= p_i^*(x, \varphi) + p_{oi}; \\ q_i^{**}(x, \varphi) &= q_i^*(x, \varphi) + q_{oi}; \\ \varphi &\in [-\pi; \pi] \end{aligned} \quad (6)$$

Контактные давления  $p_{oi}$  и силы трения  $q_{oi}$ , возникающие при установке болта с радиальным натягом, рассчитываются по методике, приведенной в работе [1].

Чтобы перейти от контактных давлений к погонной контактной нагрузке, выразим погонные контактные нагрузки, вызванные радиальным натягом, через контактные давления на поверхности цилиндрической части болта.

С учётом (3), (4), (5) выражение (6) запишем в виде

$$p_i^{**}(x, \varphi_1) = \frac{4}{\pi \cdot d} \cdot p_i(x) \cdot \cos \varphi + \frac{A_i}{d}, \quad (7)$$

$$q_i^{**}(x, \varphi_1) = \frac{4}{\pi \cdot d} \cdot p_i(x) \cdot f_i \cdot \cos \varphi + f_i \cdot \frac{A_i}{d},$$

(8)

где  $A_i = P_{oi} \cdot d$ .

Составим для элемента болта бесконечно малой длины  $dx$ , нагруженного контактным давлением  $p_i^{**}$  и силами трения  $q_i^{**}$ , уравнения равновесия (рис. 3).

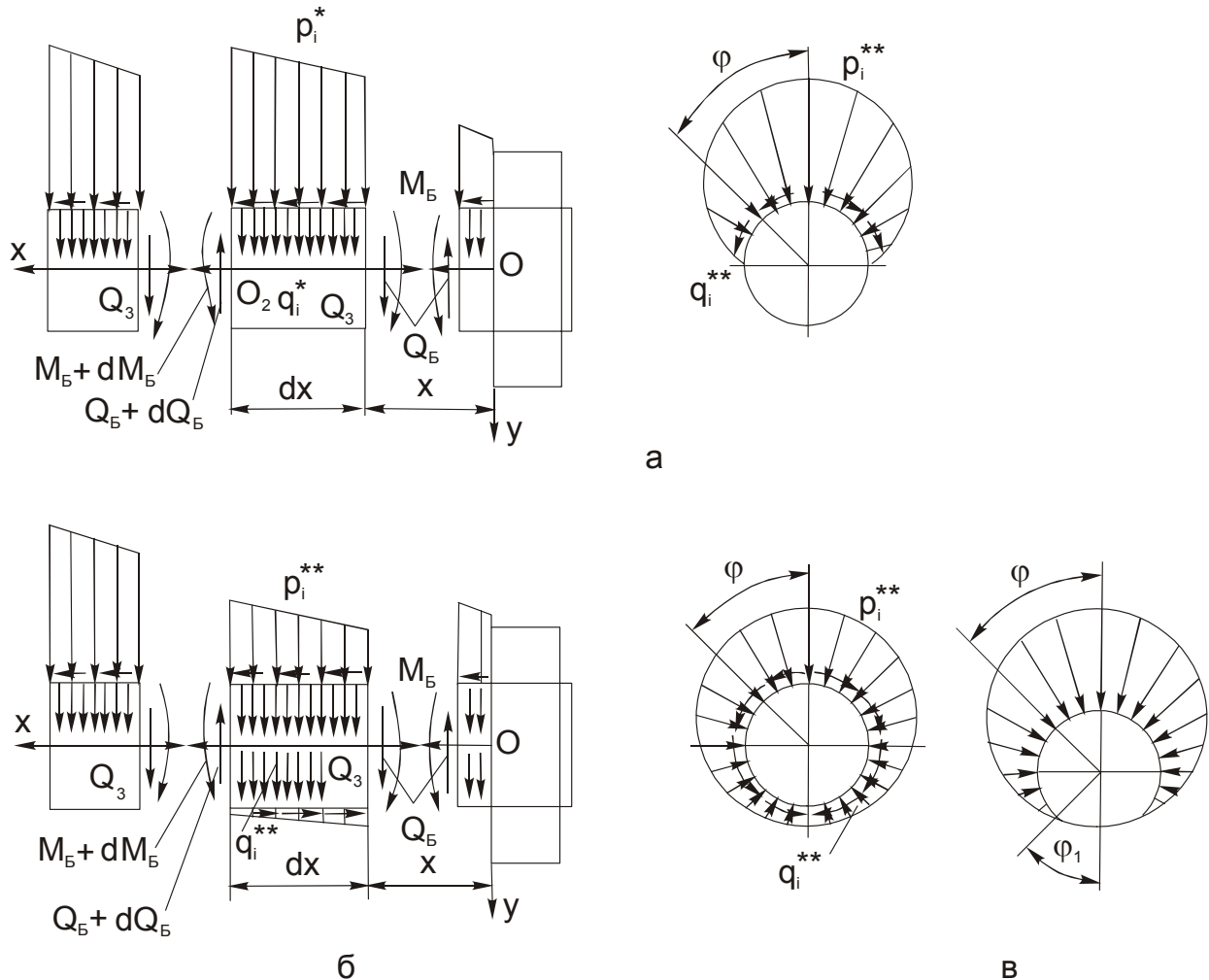


Рис. 3. Силы, действующие на элемент болта бесконечно малой длины  $dx$ , и возникающие при этом внутренние силовые факторы  $Q_B$  и  $M_B$  для случаев:  
 а) болт установлен без натяга; б, в - болт установлен с натягом

Спроектируем силы, действующие на элемент болта на ось  $y$ :

$$Q_A - Q_A - dQ_A + 2 \cdot \left[ \int_0^{\varphi_2} \left( \tilde{p}_i(x, \varphi) \cdot \cos \varphi \cdot \frac{d}{2} \right) d\varphi + \int_0^{\varphi_2} \left( \tilde{q}_i(x, \varphi) \cdot \sin \varphi \cdot \frac{d}{2} \right) d\varphi \right] dx = 0; (9)$$

$$\tilde{p}_i(x, \varphi) = \begin{cases} p_i^*(x, \varphi), \psi = 0, \\ p_i^{**}(x, \varphi), \psi > 0; \end{cases} \quad \tilde{q}_i(x, \varphi) = \begin{cases} q_i^*(x, \varphi), \psi = 0, \\ q_i^{**}(x, \varphi), \psi > 0; \end{cases} \quad \varphi_2 = \begin{cases} \frac{\pi}{2}, \psi = 0, \\ \frac{\pi}{2} \leq \varphi_2 \leq \pi, \psi > 0; \end{cases}$$

$$\varphi_2 = \pi - \varphi_1.$$

Составим уравнение суммы моментов для элемента болта относительно точки  $O_1$ :

$$M_B + dM_B - M_B + Q_3 dy - Q_B dx + 2 \cdot \left[ \int_0^{\varphi_2} \left( \tilde{q}_i(x, \varphi) \cdot \frac{d^2}{4} \cdot \cos \varphi \right) d\varphi \right] dx = 0. \quad (10)$$

После подстановки выражений (7) и (8) в уравнения (9) и (10) и выполнив математические преобразования получаем условия, связывающие внутренние силовые факторы поперечную силу  $Q_3$  и изгибающий момент  $M_3$  с погонными нагрузками  $p_i(x), q_i(x)$  и погонной нагрузкой от действия радиального натяга:

$$\frac{dQ_B}{dx} = -[k_1(x) + k_2(x)] \cdot \alpha(x) \cdot V_i(x) + NZ \cdot \beta(x) \cdot A_i, \\ \frac{dM_B}{dx} = Q_B + [k_1(x) + k_2(x)] \cdot \alpha_1(x) \cdot f d \cdot V_i(x) \cdot NZ - \beta_1(x) \cdot f d \cdot A_i + \frac{dy}{dx} \cdot Q_3, \quad (11)$$

$$\text{где } \hat{e}_1(\delta) = \begin{cases} \gamma_1 d, x \in \tilde{A}_1, \\ 0, \delta \in G \setminus \tilde{A}_1; \end{cases} \quad \hat{e}_2(\delta) = \begin{cases} \gamma_2 d, x \in \tilde{A}_2, \\ 0, \delta \in G \setminus \tilde{A}_2. \end{cases}$$

Если соединение листов из одинакового материала ВТ6, то  $k_1(x) = k_2(x) = \gamma d$ . Выражения несколько упростятся и примут вид:

$$\frac{dQ_A}{dx} = -\gamma d \cdot \alpha(x) \cdot V_i(x) + NZ \cdot \beta(x) \cdot A_i; \\ \frac{dM_A}{dx} = Q_A + \gamma d^2 \cdot \alpha_1(x) \cdot f \cdot V_i(x) \cdot NZ - \beta_1(x) \cdot f d A + \frac{dy(x)}{dx} Q_\varphi, \quad (12)$$

$$\text{где } \alpha(x) = 2 - \frac{1}{\pi} (\sin 2\varphi_1 + 2\varphi_1 - 2f \cdot \sin^2 \varphi_1); \quad NZ = \begin{cases} -1, V(x) > 0. \\ 1, V(x) < 0; \end{cases}$$

$$\beta(x) = \sin \varphi_1 + f(1 + \cos \varphi_1); \quad \beta_1 = 1 - \frac{\sin \varphi_1}{2}; \quad \alpha_1 = \frac{1}{\pi} \left( \frac{\sin 2\varphi_1}{2} + \varphi_1 \right); \quad \varphi_1 = \pi - \varphi_2,$$

Деформации изгиба и сдвига болта связаны с внутренними силовыми факторами  $M_3$  и  $Q_3$  известной дифференциальной связью [5]



$$\frac{d^2y(x)}{dx^2} = \frac{M_3}{E_1 \cdot J_i} - \frac{k}{G_1 \cdot F_i} \cdot \frac{dQ_3}{dx}. \quad (13)$$

После двукратного дифференцирования выражения (13) имеем

$$E_1 J_i \frac{d^4y(x)}{dx^4} = \frac{d^2M_3}{dx^2} - k \cdot \frac{E_1 \cdot l_i}{G_1 \cdot F_i} \cdot \frac{d^3Q_3}{dx^3}. \quad (14)$$

Выражения для  $\frac{d^2M_3}{dx^2}$  и  $\frac{d^3Q_3}{dx^3}$  получаем после подстановки выражений (1) и (2) в зависимость (12) и дифференцирования:

$$\begin{aligned} \frac{d^2M_3}{dx^2} &= \frac{d^2y(x)}{dx^2} \cdot Q_3 - \alpha(x) \cdot \gamma \cdot dV(x) + [\alpha_1(x)fd^2V(x)]' \cdot NZ - \beta_1'(x)fd \cdot A \cdot NZ; \\ \frac{d^3Q_3}{dx^3} &= -[\alpha(x) \cdot \gamma dV(x)]'' + \beta''(x) \cdot NZ \cdot A. \end{aligned} \quad (15)$$

Обозначим  $\chi = E_1 \cdot l_1 = E_1 \cdot l_2$ ;  $k_i = \gamma_i d$ ;  $k_{TI} = f_i \cdot d$ ;  $k_c = \frac{k \cdot EI}{G_1 F}$ .

Тогда дифференциальное уравнение упругой линии болта (14) с учётом деформаций сдвига, влияния сил трения и радиального натяга после подстановки (15) в (14) и преобразований примет вид

$$\begin{aligned} \chi y^{IV} - [k_c \alpha(x) k_i + Q_3] \cdot y'' - [2k_c k_i \alpha'(x) + \alpha_1(x) k_i k_{TI} \cdot NZ] y' + \\ + [\alpha(x) k_i - \alpha_1'(x) k_{TI} k_i \cdot NZ - k_c k_i \alpha''(x)] y = A \cdot NZ [\beta(x) - \beta''(x) k_c - \beta_1'(x) k_{TI}] + \\ + \{ [2k_c k_i \alpha'(x) + \alpha_1(x) k_i k_{TI} \cdot NZ] - [\alpha(x) k_i - \alpha_1'(x) k_{TI} k_i \cdot NZ - \\ - k_c k_i \alpha''(x)] x \} \cdot \theta - [\alpha(x) k_i - \alpha_1'(x) k_i - \alpha_1'(x) \cdot k_{TI} k_i \cdot NZ - k_c k_i - \alpha''(x)] \cdot \hat{a}. \end{aligned} \quad (16)$$

Обозначим

$$\begin{aligned} a_{2i} &= \begin{cases} -[k_c \alpha(x) k_i + Q_3], & x \in \tilde{A}_i, \\ 0, & x \in (G \setminus \tilde{A}_i); \end{cases} \\ a_{1i} &= \begin{cases} -[2k_c k_i \alpha'(x) + \alpha_1(x) k_i k_{TI} \cdot NZ], & x \in \tilde{A}_i, \\ 0, & x \in (G \setminus \tilde{A}_i); \end{cases} \\ a_{0i} &= \begin{cases} \alpha'(x) k_i - \alpha_1'(x) k_{TI} k_i \cdot NZ - k_c k_i \alpha''(x), & x \in \tilde{A}_i, \\ 0, & x \in (G \setminus \tilde{A}_i); \end{cases} \\ b_{0i} &= \begin{cases} NZ[\beta(x) - \beta''(x) k_c - \beta_1'(x) k_{TI}], & x \in \tilde{A}_i, \\ 0, & x \in (G \setminus \tilde{A}_i); \end{cases} \\ l=1,2; \quad v &= \begin{cases} \hat{a}_1, \quad \tilde{\theta} \in \tilde{A}_1, \\ \hat{a}_2, \quad x \in \tilde{A}_2. \end{cases} \end{aligned}$$

С учетом принятых обозначений дифференциальное уравнение (16) примет вид

$$\chi y'' + a_{2i} y'' + a_{1i} y' + a_{0i} y = \hat{a}_{0i} \cdot \hat{A} - (a_{1i} + a_{0i} X) \cdot \theta - a_{0i} \cdot \hat{a}. \quad (17)$$

Произвольные постоянные ( $\theta$  и  $v$ ) в дифференциальном уравнении (17) определяются из граничных условий на концах болта. Будем считать, что головка болта расположена со стороны элемента 2, а гайка - со стороны элемента 1.

Рассмотрим более подробно граничные условия в сечениях, по которым происходит контакт гайки и головки болта с соединяемыми пластинами. Система координат ( $X_1 O_1 V_1$ ) (см. рис. 2) жестко связана с пластиной 1. В процессе деформирования она неподвижна. Система координат ( $XOY$ ) связана с болтом и перемещается с ним как с абсолютно жестким телом. В этой системе координат записывается дифференциальное уравнение изгиба упругой оси болта и определяются величины прогибов болта. Система координат ( $X_2 O_2 V_2$ ) жестко связана с пластиной 2. В процессе деформирования она сдвигается относительно системы координат ( $X_1 O_1 V_1$ ) на величину  $v_1 + |v_2|$ .

Величины обмятий пластин в контактной зоне по стенке отверстия, прогибов болта и погонной контактной нагрузки в рассматриваемых системах координат будут иметь следующее соответствие знаков:

в системе координат ( $X_1 O_1 V_1$ )  $x \in \tilde{A}_1$   $V_1 = \hat{a}_1 + \theta x + y$ ;  $V_1 > 0$ ;  $p(x) < 0$ ;  $y < 0$ ;  $NZ = -1$ ;  $v_1 > 0$ ;  $\theta < 0$ .

В системе координат ( $X_2 O_2 V_2$ )  $x \in \tilde{A}_2$   $V_2 = \hat{a}_2 + \theta x + y$ ;  $V_2 < 0$ ;  $p(x) > 0$ ;  $y > 0$ ;  $NZ = 1$ ;  $v_1 < 0$ ;  $\theta < 0$ .

При повороте по часовой стрелке угол поворота болта как абсолютно жесткого тела в системах координат ( $X_1 O_1 V_1$ ) и ( $X_2 O_2 V_2$ ) считаем отрицательным:  $\theta < 0$ . Граничные условия на концах болта в системе координат ( $XOY$ ) для углов поворота – будут иметь вид:

$\theta_1 = \theta$  - абсолютно жесткая связь головки и тела болта;

$\theta_1 = 0$  - абсолютно податливая связь головки и тела болта (заклепка).

Для болта с реальной жесткостью связи головки болта или гайки с телом болта:

$y'(\delta_{n1}) = -(\theta + \theta_1)$  - со стороны гайки;

$y'(\delta_{n2}) = -(\theta + \theta_2)$  - со стороны головки болта.

$$\theta_1 = M_{01}(k_{11} + k_{22}) + \frac{NZkQ_3f}{G_1F};$$

$$\theta_2 = -M_{02}k_{12} - \frac{NZkQ_3f}{G_1F};$$

$$Q_{A1}(\delta_{n1}) = F_{0E1} - \frac{Q_3y(\delta_{n1})}{\delta_{n1}}; \quad Q_{A2}(-\delta_{n2}) = F_{0E2} - \frac{Q_3y(\delta_{n2})}{\delta_{n2}}; \quad (18)$$

$$I_{A1}(\delta_{n1}) = M_{01}; \quad I_{A2}(-\delta_{n2}) = M_{02}.$$

Опорные моменты головки болта и гайки связаны с углами поворота болта в этих сечениях зависимостями

$$M_{01} = \frac{-\theta - y'(\delta_{n1}) - \frac{NZ \cdot k \cdot fQ_3}{G_1F}}{k_{11} + k_{22}}; \quad M_{02} = \frac{\theta - y'(\delta_{n2}) - \frac{NZ \cdot k \cdot fQ_3}{G_1F}}{k_{12}}, \quad (19)$$

где  $k_{11}$ ,  $k_{12}$  – коэффициенты податливости углового защемления краев болта, зависящие от геометрических размеров гайки и головки болта и от жесткости материала пластин в контактной зоне под гайкой и головкой болта.

$K_{22}$  – коэффициент податливости углового защемления болта, определяющийся податливостью резьбовой пары «болт – гайка»; - методика его определения приведена в работе [3];

$$k_{ii} = \frac{16 \cdot \omega_1}{\gamma(S_i^4 - d^4)}, \quad \omega_1 = \begin{cases} 2; & Q_3 = 0; \\ 1; & Q_3 > 0. \end{cases} \quad (20)$$

Будем учитывать влияние обмятия материала листов в контактной паре, сдвиг материала болта на  $y'(\delta_{ni})$  и податливость в резьбовой паре «болт – гайка»:

$$y'(-\delta_{n2}) = -\theta + \frac{NZ \cdot k \cdot fQ_3}{G_1 F} + \frac{16\omega_1 M_B(-\delta_{n2})}{\gamma(S_i^4 - d^4)}. \quad (21)$$

Из формулы (13) получим после преобразований выражение для  $M_B(x)$ :

$$M_B(x) = \chi y'' + k_c [-\theta x \alpha(x) k_i - \hat{a} \alpha(x) k_i + A \cdot NZ \beta(x)],$$

где  $v = \begin{cases} \hat{a}_1, & x \in \tilde{A}_1, \\ \hat{a}_2, & \delta \in \tilde{A}_2. \end{cases} \quad (22)$

Тогда  $y''(\delta_{n1})$  определится по формуле

$$y''(\delta_{n1}) = -\theta \cdot \left[ \frac{1}{\chi(k_{11} + k_{22})} - k_{c1} \delta_{n1} \alpha(\delta_{n1}) \cdot k_1 \right] - \frac{y'(\delta_{n1})}{\chi(k_{11} + k_{22})} - \frac{NZ k_{c1} Q_3 f}{\chi(k_{11} + k_{22})} + \quad (23)$$

$$+ k_{c1} y(-\delta_{n1}) \cdot \alpha(\delta_{n1}) \cdot \alpha(\delta_{n1}) \cdot k_1 + \hat{a}_1 \alpha(\delta_{n1}) k_1 k_{c1} - A \cdot NZ \beta(\delta_{n1}) k_{c1},$$

$$\text{èèè } y''(-\delta_{n2}) = \theta \left[ \frac{1}{\chi k_{12}} - k_{c1} \delta_{n2} \alpha(-\delta_{n2}) \cdot k_2 \right] + \frac{y'(-\delta_{n2})}{\chi k_{12}} - \frac{NZ k_{c1} f Q_3}{\chi k_{12}} +$$

$$+ k_{c1} y(-\delta_{n2}) \cdot \alpha(-\delta_{n2}) \cdot k_2 + \hat{a}_2 \alpha(-\delta_{n2}) k_{c1} k_2 - A \cdot NZ \cdot \beta(-\delta_{n2}) k_{c1},$$

где  $k_{c1} = k_c / \lambda$

Из уравнения (12) найдем выражение для  $Q_B(x)$ :

$$Q_A = \chi y''' + A [k_c NZ \beta'(x) + k_{\delta i} \beta_1(x) + k_c \{-\theta k_i [\alpha(\chi)x]' - k_i [\alpha(x)y]' - \hat{a} \alpha'(x) k_i\} - NZ k_{T1} \alpha_1(x) [-k_i \theta x + k_i y + k_i \hat{a}] - Q_3 \theta]. \quad (24)$$

Подставим (24) в формулу (18) и проведем преобразования. Тогда выражения для  $y'''(\delta_{n1})$  и  $y'''(-\delta_{n2})$  будут иметь вид

$$y'''(\delta_{n1}) = \frac{NZ f Q_3}{\chi} - A \cdot [k_{c1} NZ \cdot \beta'(\delta_{n1}) + \frac{k_{T1} \beta_1(\delta_{n1})}{\chi}] + \theta \{ k_{c1} k_1 \cdot [\alpha'(\delta_{n1}) \delta_{n1} + \alpha(\delta_{n1})] + \quad (25)$$

$$+ \frac{NZ \cdot k_{T1} \alpha_1(\delta_{n1}) k_1 \delta_{n1}}{\chi} + \frac{Q_3}{\chi} \} + y'(\delta_{n1}) [k_{c1} k_1 \alpha(\delta_{n1})] + y(S_{n1}) \times [k_{c1} k_1 \alpha'(\delta_{n1}) +$$

$$+ \frac{NZ \cdot k_{T1} \alpha_1(\delta_{n1}) k_1}{\chi} - \frac{Q_3}{\chi \delta_{n1}}] + v_1 [\alpha'(\delta_{n1}) k_1 k_{c1} + \frac{NZ \cdot k_{T1} \alpha_1(\delta_{n1}) k_1}{\chi}];$$

$$\begin{aligned}
y'''(-\delta_{n2}) = & \frac{NZfQ_3}{\chi} - A \cdot [k_{c1}NZ \cdot \beta'(-\delta_{n2}) + \frac{k_{T2}\beta_1(-\delta_{n2})}{\chi}] + \theta \times \\
& \times \left\{ k_{c1}k_2[\alpha(-\delta_{n2}) - \alpha'(-\delta_{n2}) \cdot \delta_{n2}] - \frac{NZ \cdot k_{T2}\alpha_1(-\delta_{n2})k_2\delta_{n2} + Q_3}{\chi} \right\} + \\
& + y'(-\delta_{n2}) \cdot k_{c1}k_2\alpha(-\delta_{n2}) + y(-\delta_{n2}) \left[ k_{c1}k_2\alpha'(-\delta_{n2}) + \frac{NZ \cdot k_{T2}\alpha_1(-\delta_{n2})k_2}{\chi} - \right. \\
& \left. - \frac{Q_3}{\chi\delta_{n2}} \right] + B_2 \left[ \alpha'(-\delta_{n2}) \cdot k_2k_{c1} + \frac{NZ \cdot k_{T2}\alpha_1(-\delta_{n2})k_2}{\chi} \right].
\end{aligned}$$

Дифференциальное уравнение упругой оси болта, описывающее взаимодействие болта и соединяемых элементов односреznego соединения из разного материала, по всей длине болта будет иметь вид

$$Ly = (\chi y''')'' + \tilde{a}_2 y'' + \tilde{a}_1 y' + \tilde{a}_0 y = \hat{a}_0 A - (\tilde{a}_1 + \tilde{a}_0 x) \cdot \theta - \tilde{a}_0 \hat{a}, \quad (26)$$

$$\text{где } \tilde{a}_2 = \begin{cases} -[k_c k_1 \alpha(x) + Q_3], & x \in \tilde{A}_1, \\ -[k_c k_2 \alpha(x) + Q_3], & x \in \tilde{A}_2, \\ 0, & x \in (G \setminus \tilde{A}_1 \cup \tilde{A}_2), \quad \tilde{A}_1 \cap \tilde{A}_2 = 0; \end{cases}$$

$$\tilde{a}_1 = \begin{cases} -2k_c k_1 \alpha'(x) - k_1 k_{T1} NZ \alpha_1(x), & x \in \tilde{A}_1, \\ -2k_c k_2 \alpha'(x) - k_2 k_{T2} NZ \alpha_1(x), & x \in \tilde{A}_2, \\ 0, & x \in (G \setminus \tilde{A}_1 \cup \tilde{A}_2), \quad \tilde{A}_1 \cap \tilde{A}_2 = 0; \end{cases}$$

$$\tilde{a}_0 = \begin{cases} k_1 \alpha(x) - k_1 k_{T1} NZ \alpha_1(x) - k_c k_1 \alpha''(x), & x \in \tilde{A}_1, \\ k_2 \alpha(x) - k_2 k_{T2} NZ \alpha_1(x) - k_c k_2 \alpha''(x), & x \in \tilde{A}_2, \\ 0, & x \in (G \setminus \tilde{A}_1 \cup \tilde{A}_2), \quad \tilde{A}_1 \cap \tilde{A}_2 = 0; \end{cases}$$

$$\tilde{a}_0 = \begin{cases} [\beta(x) - k_c \beta''(x) - k_{T1} \beta_1'(x)] \cdot NZ, & x \in \tilde{A}_1, \\ [\beta(x) - k_c \beta''(x) - k_{T2} \beta_1'(x)] \cdot NZ, & x \in \tilde{A}_2, \\ 0, & x \in (G \setminus \tilde{A}_1 \cup \tilde{A}_2), \quad \tilde{A}_1 \cap \tilde{A}_2 = 0; \end{cases}$$

$$\hat{a} = \begin{cases} \hat{a}_1, & x \in \tilde{A}_1, \\ \hat{a}_2, & x \in \tilde{A}_2, \\ 0, & x \in (G \setminus \tilde{A}_1 \cup \tilde{A}_2), \quad \tilde{A}_1 \cup \tilde{A}_2 = 0; \end{cases}$$

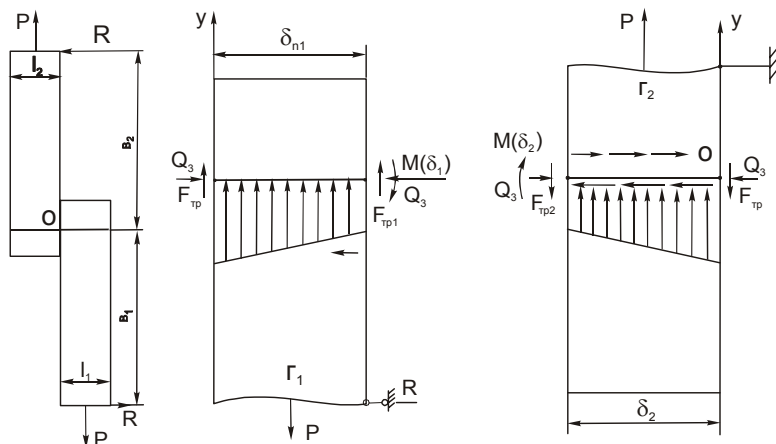


Рис. 4. Расчетная схема для определения const  $B_1, B_2$

Константы  $v_1, v_2, \theta$  в уравнении (26) определяем из условия равновесия элементов 1 и 2 (рис. 4). Для элемента 1 сумма проекций сил на ось  $OY \sum F_Y = 0$ :

$$-\int_{\tilde{A}_1} k_1 V(x) \alpha(x) dx + NZ \int_{\tilde{A}_1} A \cdot \beta(x) dx = -(P + NZ \cdot F_{\dot{O}E1} - F_{\dot{O}E}) \quad (27)$$

После подстановки (1) в (27) получим

$$\hat{a}_1 = -\frac{\int_{\tilde{A}_1} k_1 \alpha(x) y dx}{\int_{\tilde{A}_1} k_1 \alpha(x) dx} - \theta \frac{\int_{\tilde{A}_1} k_1 \alpha(x) \lambda dx}{\int_{\tilde{A}_1} k_1 \alpha(x) dx} + NZ \frac{\int_{\tilde{A}_1} A \cdot \beta(x) dx}{\int_{\tilde{A}_1} k \alpha(x) dx} + \frac{P + NZ \cdot F_{\dot{O}E1} - F_{\dot{O}E}}{\int_{\tilde{A}_1} k_1 \alpha(x) dx} \quad (28)$$

Для элемента 2 использование уравнения  $\sum F_Y = 0$  дало выражения, определяющие величину  $v_2$ :

$$-\int_{\tilde{A}_2} k_2 V(x) \alpha(x) dx + NZ \int_{\tilde{A}_2} A \cdot \beta(x) dx = P - F_{\dot{O}E2} NZ - F_{\dot{O}E}, \quad (29)$$

$$\hat{a}_2 = -\frac{\int_{\tilde{A}_2} k_2 \alpha(x) y dx}{\int_{\tilde{A}_2} k_2 \alpha(x) dx} - \theta \frac{\int_{\tilde{A}_2} k_2 \alpha(x) x dx}{\int_{\tilde{A}_2} k_2 \alpha(x) dx} + NZ \frac{\int_{\tilde{A}_2} A \cdot \beta(x) dx}{\int_{\tilde{A}_2} k_2 \alpha(x) dx} - \frac{P - NZ \cdot F_{\dot{O}E2} - F_{\dot{O}E}}{\int_{\tilde{A}_1} k_2 \alpha(x) dx} \quad (30)$$

Запишем уравнение суммы моментов для болта относительно точки  $O \sum M_0 = 0$ :

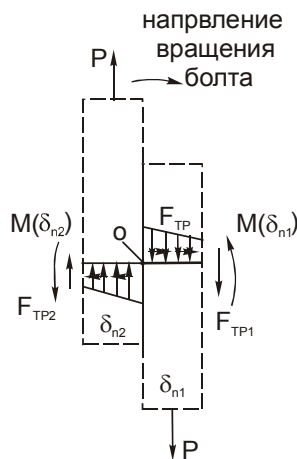


Рис. 5. Расчетная схема для определения  $\text{const } \theta$

$$\int_{\tilde{A}_1} dM_{\tilde{A}} + \int_{\tilde{A}_2} dM_{\tilde{A}} + M(\delta_{n2}) + M = 0 \quad (31)$$

где  $\int_{\tilde{A}_1} dM_{\tilde{A}}, \int_{\tilde{A}_2} dM_{\tilde{A}}$  - моменты, действующие на болт от погонных контактных сил;

$M(\delta_{n1}), M(\delta_{n2})$  - опорные моменты под гайкой и головкой болта;  $M$  - момент, действующий на болт из-за эксцентриситета при передаче нагрузки [9].

Подставив в (31) выражения для  $\frac{dQ_{\tilde{A}}}{dx}$  и  $\frac{dM_{\tilde{A}}}{dx}$  с учетом правила знаков, получим

$$\begin{aligned}
 & - \int_{\tilde{A}_1} k_1 \alpha(x) V x \cdot dx + \int_{\tilde{A}_1} NZ \cdot A \beta(x) x dx - \int_{\tilde{A}_1} k_1 \alpha_1(x) k_{T1} NZ \cdot V dx + \int_{\tilde{A}_1} \beta_1(x) A k_{T1} dx - \\
 & - \int_{\tilde{A}_1} Q_3 \theta dx + \int_{\tilde{A}_2} k_2 \alpha(x) V \cdot x dx - \int_{\tilde{A}_2} NZ A \beta(x) x dx + \int_{\tilde{A}_2} k_2 \alpha_1(x) k_{T2} NZ V dx - \\
 & - \int_{\tilde{A}_2} \beta_1(x) A k_{T2} dx - \int_{\tilde{A}_2} Q_3 \theta dx + F_{TP1} \delta_{n1} NZ + M(\delta_{n1}) - F_{TP2} \delta_{n2} NZ - M(\delta_{n2}) + M = 0. \quad (32)
 \end{aligned}$$

Учитывая формулу (1) и что  $\tilde{A}_1 \in [0; \delta_{n1}]$   $\tilde{A}_2 \in [-\delta_{n2}; 0]$ ,

$$\begin{aligned}
 & - \int_0^{\delta_{n1}} k_1 \alpha(x) \theta x^2 dx - \int_0^{\delta_{n1}} k_1 \alpha(x) \hat{a}_1 x dx - \int_0^{\delta_{n1}} k_1 \alpha(x) y x dx + \int_0^{\delta_{n1}} NZ A \beta(x) x dx - \\
 & - \int_0^{\delta_{n1}} k_1 \alpha_1(x) k_{T1} NZ \theta x dx - \int_0^{\delta_{n1}} k_1 \alpha_1(x) \hat{a}_1 dx - \int_0^{\delta_{n1}} k_1 \alpha_1(x) k_{T1} NZ y dx + \\
 & + \int_0^{\delta_{n1}} \beta_1(x) A \cdot k_{T1} dx - \int_0^{\delta_{n1}} Q_3 \theta dx + \int_0^{-\delta_{n2}} k_2 \alpha(x) \cdot \theta x^2 dx + \int_0^{-\delta_{n2}} k_2 \alpha(x) \cdot \hat{a}_2 x dx + \\
 & + \int_0^{-\delta_{n2}} k_2 \alpha(x) y x dx - \int_0^{-\delta_{n2}} A \cdot \beta(x) NZ x dx + \int_0^{\delta_{n2}} k_2 \alpha_1(x) k_{T2} NZ \theta x dx + \\
 & + \int_0^{-\delta_{n2}} k_2 \alpha_1(x) k_{T2} NZ \hat{a}_2 dx + \int_0^{\delta_{n2}} k_2 \alpha_1(x) k_{T2} NZ y dx - \int_0^{\delta_{n2}} \beta_1 A k_{T2} dx - \int_0^{\delta_{n2}} Q_3 \theta dx + \\
 & + F_{TP1} \delta_{n1} NZ + M(\delta_{n1}) - F_{TP2} \delta_{n2} NZ - M(\delta_{n2}) + M = 0. \quad (33)
 \end{aligned}$$

После преобразований получим формулы для определения  $v_1, v_2, \theta$ :

$$\begin{aligned}
 v_1 &= c_7 + c_8 - c_3 \theta; \\
 v_2 &= c_{11} + c_{12} - c_{13} \theta; \\
 \theta &= \theta_0 + \theta_y;
 \end{aligned} \quad (34)$$

$$\theta_0 = \frac{c_5 c_8 - c_{10} - c_{12} c_{51}}{1 + c_3 c_5 + c_{13} c_{51}}; \quad \theta_y = \frac{c_5 c_7 + c_9 + c_{91} - c_{15} - c_{11} c_{51}}{1 + c_3 c_5 + c_{19} c_{51}},$$

где

$$\begin{aligned}
 c_1 &= - \int_0^{\delta_{n1}} k_1 \alpha(x) x^2 dx - \int_0^{\delta_{n1}} k_1 \alpha_1(x) k_{T1} NZ x dx + \int_0^{-\delta_{n2}} k_2 \alpha(x) x^2 dx + \\
 & + \int_0^{\delta_{n2}} k_2 \alpha_1(x) k_{T2} NZ x dx - Q_3 (\delta_{n1} + \delta_{n2}) - \frac{1}{k_{11}} - \frac{1}{k_{11} + k_{22}}; \\
 c_5 &= \left[ \int_0^{\delta_{n1}} k_1 \alpha(x) x dx + \int_0^{\delta_{n1}} k_1 \alpha_1(x) k_{T1} NZ dx \right] / c_1; \quad (35)
 \end{aligned}$$

$$c_{51} = \left[ \int_0^{-\delta_{n2}} k_2 \alpha(x) x dx + \int_0^{-\delta_{n2}} k_2 \alpha_1(x) k_{T2} NZ dx \right] / \tilde{n}_1;$$

$$c = \int_0^{\delta_{n1}} k_1 \alpha(x) dx; \quad c_6 = \int_0^{-\delta_{n2}} k_2 \alpha(x) dx; \quad c_7 = -\frac{\int_0^{\delta_{n1}} k_1 y \alpha(x) dx}{c};$$

$$\tilde{n}_3 = \left( \int_0^{\delta_{n1}} k_1 \alpha(x) x dx \right) / c; \quad c_8 = [P - F_{TP} + NZ \int_0^{\delta_{n1}} A \cdot \beta(x) dx] / c;$$

$$c_{11} = -\left[ \int_0^{-\delta_{n2}} k_2 \alpha(x) y dx \right] / \tilde{n}_6; \quad c_{12} = [NZ \int_0^{-\delta_{n2}} A \beta(x) dx - P + F_{TP} - F_{TP2} \cdot NZ] / c_6;$$

$$\tilde{n}_{13} = -\left[ \int_0^{-\delta_{n2}} k_2 \alpha(x) x dx \right] / \tilde{n}_6; \quad c_9 = \left[ \int_0^{\delta_{n1}} k_1 \alpha(x) y x dx + \int_0^{\delta_{n2}} k_1 \alpha_1(x) k_{T1} NZ y dx \right] / \tilde{n}_1;$$

$$c_{91} = \left[ -\int_0^{-\delta_{n2}} k_2 \alpha(x) y x dx - \int_0^{-\delta_{n2}} k_2 \alpha_1(x) k_{T2} NZ y dx \right] / \tilde{n}_1;$$

$$c_{10} = \left[ -M + \frac{F_{TP2} \cdot NZ k_c / \chi}{k_{11}} - \frac{F_{TP1} \cdot NZ k_c / \chi}{k_{11} + k_{22}} + F_{TP1} \delta_{n1} NZ - F_{TP2} \delta_{n2} NZ + \int_0^{\delta_{n1}} \beta_1(x) A k_{T1} dx + \right.$$

$$\left. + \int_0^{\delta_{n1}} A \cdot \beta(x) x NZ dx - \int_0^{-\delta_{n2}} A \cdot \beta(x) x NZ dx - \int_0^{-\delta_{n2}} \beta_1(x) A k_{T2} dx \right] / \tilde{n}_1;$$

$$\tilde{n}_{15} = -\frac{y'(-\delta_{n2})}{k_{11} \cdot c_1} - \frac{y'(\delta_{n1})}{(k_{11} + k_{22}) \cdot c_1};$$

Подставив в формулы (18) и (19) для граничных условий выражения (21), (22), (23), (25), (34), получим:

$$y'(\delta_{n1}), \quad y'(-\delta_{n2}), \quad Q_{\hat{A}}(\delta_{n1}), \quad Q_{\hat{A}}(-\delta_{n2}), \quad M_{\hat{A}}(\delta_{n1}), \quad M_{\hat{A}}(\delta_{n2}), \quad \theta, \hat{a}_1, \hat{a}_2;$$

$$\begin{aligned} \chi y''(\delta_{n1}) = & -\theta_0 \left[ \frac{1}{k_{11} + k_{22}} - k_c \delta_{n1} \alpha(\delta_{n1}) \cdot k_1 \right] - \frac{y'(\delta_{n1})}{k_{11} + k_{22}} - \frac{NZ k_c Q_3 f}{k_{11} + k_{22}} + \\ & + k_c y(\delta_{n1}) \alpha(\delta_{n1}) k_1 + \alpha(\delta_{n1}) \cdot k_1 k_c (c_8 + c_3 \theta_0) + \alpha(\delta_{n1}) k_1 k_c (c_7 - c_3 \theta_y) - \\ & - A \cdot NZ \beta(\delta_{n1}) \cdot k_c - \theta_y \left[ \frac{1}{k_{11} + k_{22}} - k_c \delta_{n1} \alpha(\delta_{n1}) \cdot k_1; \right. \end{aligned} \quad (36)$$

$$\begin{aligned} \chi y''(-\delta_{n2}) = & \theta_0 \left[ \frac{1}{k_{11}} - k_c \delta_{n2} \alpha(-\delta_{n2}) \cdot k_2 \right] + \theta_y \left[ \frac{1}{k_{11}} - \right. \\ & \left. - k_c \delta_{n2} \alpha(-\delta_{n2}) k_2 \right] + \frac{y'(-\delta_{n2})}{k_{11}} - \frac{NZ k_c f Q_3}{k_{11}} + k_c y(-\delta_{n2}) \cdot \alpha(-\delta_{n2}) k_2 + \alpha(-\delta_{n2}) \times \\ & \times k_c k_2 (c_{12} + c_{13} \theta) + \alpha(-\delta_{n2}) k_c k_2 (c_{11} + c_{13} \theta_y) - ANZ \beta(-\delta_{n2}) k_c; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\chi y'''(\delta_{n1}) = & NZQ_3 f - A[k_c NZ\beta'(\delta_{n1}) + k_{T1}\beta_1(\delta_{n1})] + \theta_0 \{k_c k_1 \times [\alpha'(\delta_{n1})\delta_{n1} + \alpha(\delta_{n1})] + \\
& + NZk_{T1}\alpha_1(\delta_{n1})k_1\delta_{n1} + Q_3\} + \theta_y \{k_c k_1 \times [\alpha'(\delta_{n1})\delta_{n1} + \alpha(\delta_{n1})] + NZk_{T1}\alpha_1(\delta_{n1})k_1\delta_{n1} + Q_3\} + \\
& + y'(\delta_{n1}) \times [k_c k_1 \alpha(\delta_{n1})] + y(\delta_{n1}) [k_c k_1 \alpha'(\delta_{n1}) + NZk_{T1}\alpha_1(\delta_{n1}) \cdot k_1 - \frac{Q_3}{\delta_{n1}}] + [\alpha'(\delta_{n1})k_1 k_c + \\
& + NZk_{T1}\alpha_1(\delta_{n1})k_1](c_8 - c_3\theta_0) + [\alpha'(\delta_{n1})k_1 k_c + NZk_{T1} \times \alpha_1(\delta_{n1})k_1] \cdot (c_7 - c_3\theta_y); \quad (37)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\chi y'''(-\delta_{n2}) = & NZfQ_3 - A[k_c NZ\beta'(-\delta_{n2}) + k_{T2}\beta_1(-\delta_{n2})] + \theta_0 \{k_c k_2 [-\alpha'(-\delta_{n2})\delta_{n2} + \\
& + \alpha(-\delta_{n2})] - NZk_{T2}\alpha_1(-\delta_{n2})k_2\delta_{n2} + Q_3\} + \theta_y \{k_c k_2 [\alpha(-\delta_{n2}) - \alpha'(-\delta_{n2})\delta_{n2}] - \\
& - NZk_{T2}\alpha_1(-\delta_{n2})k_2\delta_{n2} + Q_3\} + y'(-\delta_{n2}) k_c k_2 \alpha(-\delta_{n2}) + y(-\delta_{n2}) [k_c k_2 \alpha'(-\delta_{n2}) + \\
& + NZk_{T2}\alpha_1(-\delta_{n2})k_2 - \frac{Q_3}{\delta_{n2}}] + [\alpha'(-\delta_{n2})k_2 k_c + NZk_{T2}\alpha_1(-\delta_{n2})k_2](c_{12} + c_{13}\theta_0) + \\
& + [\alpha'(-\delta_{n2})k_2 k_c + NZk_{T2}\alpha_1(-\delta_{n2})k_2](c_{11} + c_{13}\theta_y)
\end{aligned}$$

Для решения поставленной краевой задачи об изгибе болта в односрезном соединении воспользуемся методом, предложенным в работах [7,8]. Запишем скалярное произведение в пространстве  $L_2(\epsilon)$  функций, принимающих действительные значения. Под область определения  $D_L$  оператора  $L$  понимаем функции, удовлетворяющие граничным условиям и имеющие необходимые непрерывные производные. Пусть  $U, V \in D_L$ . Тогда

$$\begin{aligned}
(L_{U,V}) = & \int_G L_U V dx = \int_G (\chi U''') V dx + \int_G \hat{a}_2 U'' V dx + \int_G \hat{a}_1 U' V dx - \int_G \hat{a}_0 U V dx = \int_G A \hat{a}_0 V dx - \\
& - \int_G (\hat{a}_1 + \hat{a}_0 x) \theta V dx - \int_G \hat{a} V dx; \quad G \in [-\delta_{n2}, \delta_{n1}]. \quad (38)
\end{aligned}$$

Подставим в (38) выражение (34) для  $\theta_1, v_1$  и  $v_2$ :

$$\begin{aligned}
& \int_G (\chi U''') V dx + \int_G \hat{a}_2 U'' V dx + \int_G \hat{a}_1 U' V dx + \int_G \hat{a}_0 U V dx + \theta_y [\int_G \hat{a}_1 V dx + \int_G \hat{a}_0 x V dx] + \\
& + (c_7 - c_3\theta_y) \int_0^{\delta_{n1}} a_{o1} V dx + (c_{11} + c_{13}\theta_y) \int_{-\delta_{n2}}^0 a_{o2} V dx = \int_G A \hat{a}_0 V dx - \theta_0 \int_G \hat{a}_2 x V dx - \\
& - (c_8 - c_3\theta_0) \int_0^{\delta_{n1}} a_{o1} V dx - (c_{12} + c_{13}\theta_0) \int_{-\delta_{n2}}^0 a_{o2} V dx. \quad (39)
\end{aligned}$$

Согласно общей теории напряженно-деформированного состояния узлов, разработанной в работе [8], решение задачи об изгибе упругой оси болта в односрезном соединении сводится к задаче о построении элемента энергетического пространства, реализующего минимум соответствующего функционала. Ее решение согласно процессу Ритца ищем в виде линейной комбинации  $n$  координатных элементов с некоторыми численными коэффициентами  $a_i$ .

$$U_n = \sum_{i=1}^n a_i \eta_i \quad (40)$$



Коэффициенты находим, решая систему линейных алгебраических уравнений

$$\sum_{k=1}^n [\eta_k, \eta_i] \mathbf{a}_k = (f_c, \eta_i), \quad i = 1, \dots, n \quad (41)$$

Введем в уравнение (39) граничные условия (36) и (37). Для этого первый интеграл в выражении (38) возьмем по частям:

$$\int_{-\delta_{n2}}^{\delta_{n1}} (\chi U'')'' V dx = [\chi U''(\delta_{n1})]' V(\delta_{n1}) - [\chi U''(-\delta_{n2})]' V(-\delta_{n2}) - [\chi U''(\delta_{n1}) V'(\delta_{n1})] + \\ + [\chi U''(-\delta_{n2})] V(-\delta_{n2}) + \int_G \chi U'' V'' dx.$$

Тогда уравнение (39) примет вид

$$\begin{aligned} & \left\{ \theta_y \{k_c k_1 [\alpha'(\delta_{n1}) \delta_{n1} + \alpha(\delta_{n1})] + NZk_{T1} \alpha_1(\delta_{n1}) k_1 \delta_{n1} + Q_3\} + U'(\delta_{n1}) k_c k_1 \alpha(\delta_{n1}) + \right. \\ & + U(\delta_{n1}) [k_c k_1 \alpha'(\delta_{n1}) + NZk_{T1} \alpha_1(\delta_{n1}) k_1 - Q_3 / \delta_{n1}] + [\alpha'(\delta_{n1}) k_1 k_c + \\ & + NZk_{T1} \alpha_1(\delta_{n1}) k_1] (c_7 - c_3 \theta_y) \left. \right\} V(\delta_{n1}) - \left\{ \theta_y \{k_c k_2 [\alpha(-\delta_{n2}) - \alpha'(-\delta_{n2}) \delta_{n2}] - \right. \\ & - NZk_{T2} \alpha(-\delta_{n2}) k_2 \delta_{n2} + Q_3\} + U'(-\delta_{n2}) k_c k_2 \alpha(-\delta_{n2}) + U(-\delta_{n2}) [k_c k_2 \alpha'(-\delta_{n2}) + \\ & + NZk_{T2} \alpha(-\delta_{n2}) k_2 + \frac{Q_3}{\delta_{n2}}] + \alpha'(-\delta_{n2}) k_2 k_c + NZk_{T2} \alpha_1(-\delta_{n2}) k_2 (c_{11} + c_{13} \theta_y) \left. \right\} V(-\delta_{n2}) - \\ & \left\{ -\theta_y \left[ \frac{1}{k_{11} + k_{22}} - k_c \delta_{n1} \alpha(\delta_{n1}) k_1 \right] - \frac{U'(\delta_{n1})}{k_{11} + k_{22}} + k_c U(\delta_{n1}) \alpha(\delta_{n1}) k_1 + \alpha(\delta_{n1}) k_1 k_c (c_7 - c_3 \theta_y) \right\} \\ & V'(\delta_{n1}) + \left\{ \theta_y \left[ \frac{1}{k_{11}} - k_c \delta_{n2} \alpha(-\delta_{n2}) k_2 \right] + \frac{U'(-\delta_{n2})}{k_{11}} + k_c U(-\delta_{n2}) \alpha(-\delta_{n2}) k_2 + \right. \\ & \left. \alpha(-\delta_{n2}) k_c k_2 (c_{11} + c_{13} \theta_y) \right\} V'(-\delta_{n2}) + \int_{-\delta_{n2}}^{\delta_{n1}} \chi U'' V'' dx + \int_G \hat{a}_2 U'' V + \int_G \hat{a}_1 U' V dx + \\ & \int_G \hat{a}_0 U V dx + \theta_y \int_G \hat{a}_1 V dx + \theta_y \int_G \hat{a}_0 V x dx + (c_7 - c_3 \theta_y) \int_0^{\delta_{n1}} \hat{a}_{01} V dx + (c_{11} + c_{13} \theta_y) \\ & \int_0^{-\delta_{n2}} \hat{a}_2 V dx = -\left\{ \theta_0 \{k_c k_1 [\alpha'(\delta_{n1}) \delta_{n1} + \alpha(\delta_{n1})] + NZk_{T1} \alpha_1(\delta_{n1}) k_1 \delta_{n1} + Q_3\} + NZQ_3 f - \right. \\ & - A [k_c NZ \beta'(\delta_{n1}) + k_{T1} \beta_1(\delta_{n1}) + [\alpha'(\delta_{n1}) k_1 k_c + NZk_{T1} \alpha_1(\delta_{n1}) k_1] (c_8 - c_3 \theta_0)] \left. \right\} V(\delta_{n1}) + \\ & + \left\{ \theta_0 \{k_c k_2 [-\alpha'(-\delta_{n2}) \delta_{n2} + \alpha(-\delta_{n2})] - NZk_{T2} \alpha_1(-\delta_{n2}) k_2 \delta_{n2} + Q_3\} + NZQ_3 f - \right. \\ & - A [k_c NZ \beta'(-\delta_{n2}) + k_{T2} \beta_2(-\delta_{n2})] + [\alpha'(-\delta_{n2}) k_2 k_c + NZk_{T2} \alpha_1(-\delta_{n2}) k_2] (c_{12} + c_{13} \theta_0) \left. \right\} \\ & V(-\delta_{n2}) + \left\{ -\theta_0 \left[ \frac{1}{k_{11} + k_{22}} - k_c \delta_{n1} \alpha(\delta_{n1}) k_1 \right] - \frac{NZk_c Q_3 f}{k_{11} + k_{22}} + \alpha(\delta_{n1}) k_1 k_c (c_8 - c_3 \theta_0) - \right. \\ & - ANZ \beta(\delta_{n1}) k_c \left. \right\} V'(\delta_{n1}) - \left\{ \theta_0 \left[ \frac{1}{k_{11}} - k_c \delta_{n2} \alpha(-\delta_{n2}) k_2 \right] - \frac{NZk_c Q_3 f}{k_{11}} + \alpha(-\delta_{n2}) k_c k_2 (c_{12} + c_{13} \theta_0) - \right. \\ & - ANZ \beta(-\delta_{n2}) k_c \left. \right\} V'(-\delta_{n2}) + \int_G \hat{b}_0 A V dx - \theta_0 \int_G \hat{a}_1 V dx - \theta_0 \int_G \hat{a}_0 x V dx - \\ & - (c_8 - c_3 \theta_0) \int_0^{\delta_{n1}} \hat{a}_{01} V dx - (c_{12} + c_{13} \theta_0) \int_{-\delta_{n2}}^0 \hat{a}_{02} V dx \quad (42) \end{aligned}$$

Тогда значения коэффициентов системы алгебраических уравнений (41) можно вычислить по формуле

$$\begin{aligned}
[\eta_k, \eta_i] = & \left\{ \theta_y(\eta_k) \left[ k_c k_1 [\alpha'(\delta_{n1}) \delta_{n1} + \alpha(\delta_{n1})] + NZk_{T1} \alpha_1(\delta_{n1}) k_1 \delta_{n1} + Q_3 \right] + \right. \\
& + \eta_k'(\delta_{n1}) k_c k_1 \alpha(\delta_{n1}) + \eta_k(\delta_{n1}) [k_c k_1 \alpha'(\delta_{n1}) + NZk_{T1} \alpha_1(\delta_{n1}) k_1 - \frac{Q_3}{\delta_{n1}}] + \\
& + [\alpha'(\delta_{n1}) k_1 k_c + NZk_{T1} \alpha_1(\delta_{n1}) k_1] [c_7(\eta_k) - c_3 \theta_y(\eta_k)] \eta_i(\delta_{n1}) - \\
& - \left\{ \theta_y(\eta_k) \left[ k_c k_2 [\alpha(-\delta_{n2}) - \alpha'(-\delta_{n2}) \delta_{n2}] - NZk_{T2} \alpha(-\delta_{n2}) k_1 \delta_{n2} + Q_3 \right] + \right. \\
& + \eta_k'(-\delta_{n2}) k_c k_1 \alpha(\delta_{n1}) + \eta_k(-\delta_{n2}) [k_c k_2 \alpha'(-\delta_{n2}) + NZk_{T2} \alpha(-\delta_{n2}) k_2 + \\
& + \frac{Q_3}{\delta_{n2}}] + [\alpha'(-\delta_{n2}) k_2 k_c + NZk_{T2} \alpha_1(-\delta_{n2}) k_2] (c_{11}(\eta_k) + c_{13} \theta_y(\eta_k)) \eta_i(-\delta_{n2}) - \\
& - \left\{ \theta_y(\eta_k) \left[ \frac{1}{k_{11} + k_{22}} - k_c \delta_{n1} \alpha(\delta_{n1}) k_1 \right] - \frac{\eta_k'(\delta_{n1})}{k_{11} + k_{22}} + k_c \eta_k(\delta_{n1}) \alpha(\delta_{n1}) k_1 + \right. \\
& + \alpha(\delta_{n1}) k_1 k_c [c_7(\eta_k) - c_3 \theta_y(\eta_k)] \eta_i'(\delta_{n1}) + \left. \theta_y(\eta_k) \left[ \frac{1}{k_{11}} - k_c \delta_{n2} \alpha(-\delta_{n2}) k_2 \right] + \right. \\
& + \frac{\eta_k'(-\delta_{n2})}{k_{11}} + k_c k_2 \alpha(-\delta_{n2}) \eta_k(-\delta_{n2}) + \alpha(-\delta_{n2}) k_c k_2 [c_{11}(\eta_k) + \\
& c_{13} \theta_y(\eta_k)] \eta_i'(-\delta_{n2}) + \int_{-\delta_{n2}}^{\delta_{n1}} \chi \eta_k'' \eta_i'' dx + \int_G \hat{a}_2 \eta_k'' \eta_i + \int_G \hat{a}_1 \eta_k' \eta_i dx + \int_G \hat{a}_0 \eta_k \eta_i dx + \\
& + \theta_y(\eta_k) \int_G \hat{a}_1 \eta_i dx + \theta_y(\eta_k) \int_G \hat{a}_0 \eta_i x dx + [c_7(\eta_k) - c_3 \theta_y(\eta_k)] \int_0^{\delta_{n1}} \hat{a}_{01} \eta_i dx + [c_{11}(\eta_k) + \\
& + c_{13} \theta_y(\eta_k)] \int_{-\delta_{n2}}^0 \hat{a}_2 \eta_i dx. \tag{43}
\end{aligned}$$

Правые части уравнений (41) определяются выражением

$$\begin{aligned}
(f_c, \eta_i) = & - \left\{ \theta_0 \left[ k_c k_1 [\alpha'(\delta_{n1}) \delta_{n1} + \alpha(\delta_{n1})] + NZk_{T1} \alpha_1(\delta_{n1}) k_1 \delta_{n1} + \right. \right. \\
& + Q_3 \left. \right\} + NZQ_3 f - A [k_c NZ \beta'(\delta_{n1}) + k_{T1} \beta_1(\delta_{n1})] + [\alpha'(\delta_{n1}) k_1 k_c + \\
& + NZk_{T1} \alpha_1(\delta_{n1}) k_1] (c_8 - c_3 \theta) \eta_i(\delta_{n1}) + \left\{ \theta_0 \left[ k_c k_2 [-\alpha'(-\delta_{n2}) \delta_{n2} + \alpha(-\delta_{n2})] - \right. \right. \\
& - NZk_{T2} k_2 \delta_{n2} \alpha_1(-\delta_{n2}) + Q_3 \left. \right\} + NZQ_3 f - A [k_c NZ \beta'(-\delta_{n2}) + k_{T2} \beta_2(-\delta_{n2})] + \\
& + [\alpha'(-\delta_{n2}) k_2 k_c + NZk_{T2} k_2 \alpha_1(-\delta_{n2})] (c_{12} + c_{13} \theta_0) \eta_i(-\delta_{n2}) + \\
& + \left\{ -\theta_0 \left[ \frac{1}{k_{11} + k_{22}} - k_c \delta_{n1} \alpha(\delta_{n1}) k_1 \right] - \frac{NZk_c Q_3 f}{k_{11} + k_{22}} + \alpha(\delta_{n1}) k_1 k_c (c_8 - c_3 \theta_0) - \right. \\
& - ANZ \beta(\delta_{n1}) k_c \left. \right\} \eta_i'(\delta_{n1}) - \left\{ \theta_0 \left[ \frac{1}{k_{11}} - k_c \delta_{n2} \alpha(-\delta_{n2}) k_2 \right] - \frac{NZk_c Q_3 f}{k_{11}} + \right. \\
& \left. \alpha(-\delta_{n2}) k_c k_2 (c_{12} + c_{13} \theta_0) - ANZ \beta(-\delta_{n2}) k_c \right\} \eta_i'(-\delta_{n2}) + \int_G \hat{B}_0 A \eta_i dx - \\
& - \theta_0 \int_G \hat{a}_1 \eta_i dx - \theta_0 \int_G \hat{a}_0 x \eta_i dx - (c_8 - c_3 \theta_0) \int_0^{\delta_{n1}} \hat{a}_{01} \eta_i dx - (c_{12} + c_{13} \theta_0) \int_{-\delta_{n2}}^0 \hat{a}_{02} \eta_i dx. \tag{44}
\end{aligned}$$

Последовательность координатных функций  $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$  (40) должна удовлетворять следующим условиям: все ее элементы должны принадлежать пространству  $H_L$ , удовлетворять граничному условию  $y|_{x=0} = 0$ ; при любом  $l$  элементы  $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$  линейно независимы. Последовательность  $\sin \frac{\pi x}{l}, \sin \frac{2\pi x}{l}, \dots, \sin \frac{n\pi x}{l}$  удовлетворяет этому условию.

Поставленная задача об определении погонных нагрузок на болт в односрезном соединении с радиальным натягом решается методом итераций, т. к. зона контакта болта со стенкой отверстия в пластинах может изменяться по длине болта в зависимости от величины нагрузки, передаваемой болтом.

Предлагается следующий итерационный алгоритм решения краевой задачи.

1. Формируем исходные данные к задаче.
2. Задаем контактные условия (12) болта со стенкой отверстия, характерные при установке болта без радиального натяга:

$$\varphi_{10} = \frac{\pi}{2}; \alpha = 1 + \frac{2f}{\pi}; \beta = 1 + f; \alpha_1 = \frac{1}{2}; \beta_1 = \frac{1}{2}.$$

3. Определяем постоянные (35)  $C_1, C_2, \dots, C_{15}$ .
4. Формируем и решаем систему уравнений (41).
5. Определяем условия контакта в первом приближении  $\varphi_{11} = f(V_1)$ .

По формулам (12) рассчитываем.

6. Повторяем вычисления, начиная с пункта 3. В последующих приближениях полагаем

$$\varphi_{1,n+1}(x) = (1 - \chi)\varphi_{1,n}(x) + \chi\varphi(V_n(x)), \quad (45)$$

где  $0 < \chi \leq 1$  – параметр, обеспечивающий и регулирующий сходность итерационного процесса.

Вычислительный процесс повторяем, пока не выполнится условие

$$\frac{|\varphi_{1,n+1}(x) - \varphi_{1,n}(x)|_{x=0}}{\varphi_{1,n}(x)} < \varepsilon \quad (46)$$

6. Определяем погонные контактные нагрузки, действующие на болт  $P_l(x)$ . Коэффициенты неравномерности погонных нормальных контактных нагрузок по оси болта определим по формуле

$$k_{\theta i} = \frac{P_l(x)\delta_{ni}}{P}, \quad (47)$$

где  $l$  – номер соединяемой пластины.

Коэффициенты неравномерности контактных давлений под головкой болта и гайкой:

$$V_{\Gamma} = \frac{\sigma_{3 \text{ неравн}} + \sigma_{\text{к изг}}}{\sigma_{3 \text{ равн}}}; \quad (48)$$

$$V_{\Gamma 6} = 1 + \frac{\sigma_{\text{к изг}}}{\sigma_{3 \text{ равн}}},$$

где  $\sigma_{\text{к изг}}$  – контактные напряжения при изгибе болта, возникающие под головкой болта и гайкой;

$\sigma_{3 \text{ неравн}}$  – напряжения под гайкой, возникающие при затяжке болта;

$\sigma_{3 \text{ равн}}$  – условно равномерно распределенные напряжения, возникающие под гайкой или головкой болта, возникающие при его затяжке.

По предложенному алгоритму составлена программа расчета на ЭВМ величины контактных давлений и погонных контактных нагрузок между болтом и пластинами односрезного соединения. В качестве примера применения предложенного метода определения влияния конструктивно–технологических параметров односрезного болтового соединения на распределение контактных давлений в зоне сопряжения его элементов рассмотрено соединение, выполненное из титанового сплава ВТ6.

На рис. 4 – 9 показано влияние радиального натяга на коэффициенты неравномерности погонной нормальной контактной нагрузки по длине болта в односрезных соединениях из титанового сплава ВТ6.

На рис. 6 – 18 показаны результаты расчета коэффициента  $K_{\theta 1}$ , а на рис. 20 – 23 -  $v_e$ ,  $v_{e6}$  в зависимости от силы затяжки болта, отношения геометрических параметров  $\delta_n / d$  и  $\delta_{n1} / \delta_{n2}$ . Графики зависимостей, изображенные на рис. 6 и 7, позволяют оценить влияние усилия затяжки болта на неравномерность погонной контактной нагрузки по длине болта. При увеличении усилия осевой затяжки от  $Q_3 = 0$  до  $Q_3 = 25$  Кн величина коэффициента  $K_{\theta 1}$  уменьшается почти в 4 раза. Это объясняется уменьшением нагрузки, передаваемой болтом, равной  $P_6 = P - F_{\text{ТР}}$ . Если в формуле (47) в знаменатель подставить  $P_6$ , то величина усилия практически не будет влиять на  $K_{\theta 1}$ , но величина нормальной погонной контактной нагрузки будет уменьшаться с увеличением усилия затяжки болта, как это и представлено на рис. 6, 7. На рис. 8, 9 показано влияние отношения толщины соединяемых пластин к диаметру болта на коэффициенты неравномерности нормальной погонной контактной нагрузки по длине болта. Значения величин усилия затяжки болтов взяты равными  $Q_3 = 0$  или в соответствии с рекомендуемыми ОСТ1 00017 - 77 для данного диаметра болта. При изменении величины  $\delta_n / d$  от 0,5 до 3  $K_{\theta 1}$  увеличиваются в пределах от 1,0 до 3,8 для болтов из стали 30 ХГСА, т. е. в 2,6 – 2,8 раза для каждого из рассмотренных диаметров болтов. Для болтов из титанового сплава ВТ6  $K_{\theta 1}$  увеличивается в диапазоне от 1,2 до 4,2, т. е. в 3,3 раза для каждого из рассматриваемых диаметров болтов  $d = 6; 8; 10$  мм. Влияние соотношения толщин соединяемых пластин на величину коэффициента  $K_{\theta 1}$  показано на рис. 10 – 18.

Для соединений из сплава ВТ6 с болтом из титанового сплава ВТ6 возрастание  $\delta_{n1} / \delta_{n2}$  от 1 до 4 для болтов  $d = 10; 8; 6$  мм приводит к увеличению значений  $K_{\theta 1}$  от 1,1 ...1,7 до 4,8 ...6,9 (рис. 10 – 12). Если оставлять неизменной толщину первой пластины  $\delta_{n1} = 16$  мм и уменьшать толщину второй, то  $K_{\theta 1}$  достигает максимального значения  $K_{\theta 1} = 4$  при  $\delta_{n1} / \delta_{n2} = 2,5$ . Величина  $K_{\theta 2} \rightarrow 1$ . Для

соединений из сплава ВТ6 с болтом из стали 30ХГСА при фиксированной толщине второй пластины  $\delta_{n2} = 5$  мм увеличение толщины первой пластины в 4 раза для диаметров болтов  $d = 10; 8; 6$  мм вызывает увеличение  $k_{\theta 1}$  от 1,1 ... 1,5 до 4,0...5,7 (рис.14 – 16). Значение коэффициента  $k_{\theta 2}$  практически не изменяется.

Влияние усилия затяжки болта на коэффициенты неравномерности контактных давлений под гайкой и головкой болта показано на рис. 17, 18. Рассмотрено два варианта соединений. В первом варианте  $\delta_{n2} = 4$  мм,  $\delta_{n1} = 4; 8; 12; 16$  мм, во втором -  $\delta_{n1} = 16$  мм,  $\delta_{n2} = 4; 8; 12; 16$  мм. Видно, что с увеличением усилия затяжки от 0 до 25 кН, которое соответствует значению усилия затяжки для болтов  $d = 8$  мм, в соответствии с ОСТ1 00017 – 77,  $v_{Г} - 1,5; v_{Г6} - 1,2$  при значении внешней нагрузки  $P = 10$  кН (см. рис.17). Увеличение внешней нагрузки в 3 раза до  $P = 30$  кН дало значения коэффициентов неравномерности под гайкой и головкой болта  $v_{Г6} = 1,5 - 2,5$ ,  $v_{Г} = 1 - 1,9$  при  $Q_3 = 25$  кН. Применение усилий затяжки болтов меньшей величины или ослабление ее в процессе эксплуатации соединения может привести к значительному увеличению коэффициентов неравномерности контактных давлений под гайкой и головкой болта.

На рис. 19 – 22 показано влияние отношения  $\delta_n / d$  и диаметра болта на коэффициенты неравномерности контактных давлений и максимальные контактные давления под гайкой и головкой болта в односрезном соединении из титанового сплава ВТ6. Увеличение отношения  $\delta_n / d$  от 0,5 до 2,5 вызывает незначительное уменьшение  $v_{Г}$  и  $v_{Г6}$  на 5...10%. Изменение отношения  $\delta_{n1} / \delta_{n2}$  от 1 до 8 почти не повлияло на величину  $v_{\theta}$  и  $v_{\theta 6}$  (рис. 23).

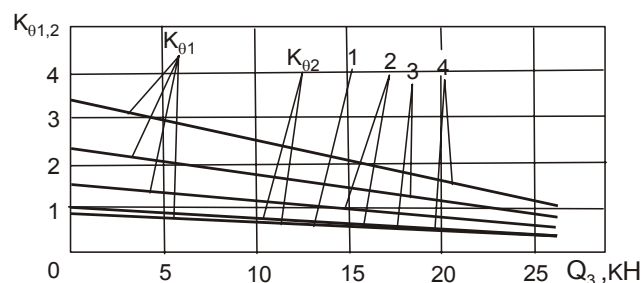


Рис. 6. Влияние усилия затяжки на коэффициенты неравномерности нормальной погонной контактной нагрузки по длине болта в односрезном соединении  $\delta_{n1} \geq \delta_{n2} = 4$  мм:  
 1 -  $\delta_{n1} = 4$  мм; 2 -  $\delta_{n1} = 8$  мм;  
 3 -  $\delta_{n1} = 12$  мм; 4 -  $\delta_{n1} = 16$  мм;  $P = 10$  кН;  
 $f_{1,2} = 0,25; \gamma_{1,2} = 13,5 \frac{\text{кН}}{\text{мм}^3}; E_1 = 210$  ГПа;

$$E_{21} = E_{22} = 120 \text{ ГПа}; \delta_{n2} = 4 \text{ мм}; \bar{\Psi} = 0; \\ d = 8 \text{ мм}$$

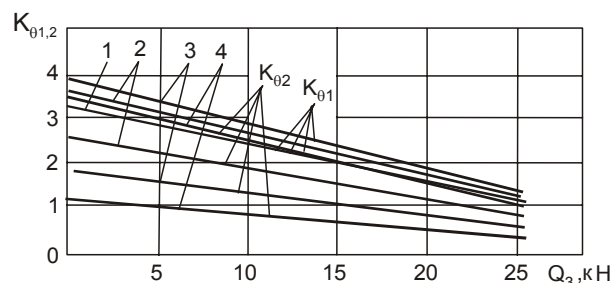


Рис. 7. Влияние усилия затяжки на коэффициенты неравномерности нормальной погонной контактной нагрузки по длине болта в односрезном соединении  $\delta_{n2} \leq \delta_{n1} = 16$  мм:  
 1 -  $\delta_{n2} = 16$  мм; 2 -  $\delta_{n2} = 12$  мм;  
 3 -  $\delta_{n2} = 8$  мм; 4 -  $\delta_{n2} = 4$  мм;  $P = 10$  кН;  
 $f_{1,2} = 0,25; \gamma_{1,2} = 13,5 \frac{\text{кН}}{\text{мм}^3}; E_1 = 210$  ГПа;

$$E_{21} = E_{22} = 120 \text{ ГПа}; \delta_{n1} = 16 \text{ мм}; \bar{\Psi} = 0; \\ d = 8 \text{ мм}$$

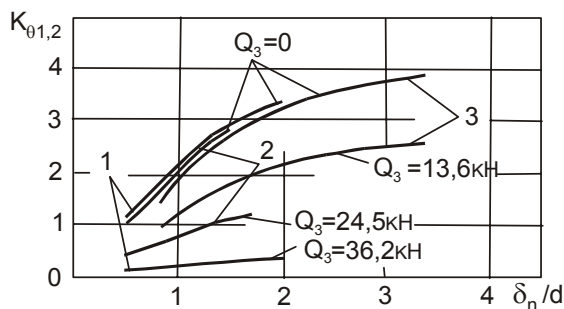


Рис. 8. Влияние отношения  $\delta_n/d$  на коэффициенты неравномерности нормальной погонной контактной нагрузки по длине болта в односрезном соединении с болтом из стали

30 XГСА:

1 –  $d = 10$  мм; 2 –  $d = 8$  мм;

3 –  $d = 6$  мм;  $P = 10$  кН;  $f_{1,2} = 0,25$ ;

$\gamma_{1,2} = 13,5 \frac{\text{кН}}{\text{мм}^3}$ ;  $E_1 = 210$  ГПа;  $E_{21} = E_{22} =$

$= 120$  ГПа;  $\bar{\psi} = 0$ ;

$\delta_{n1} = \delta_{n2} = \delta_n$ ;  $K_{Q1} = K_{Q2}$ ;  $M_{01} = M_{02}$

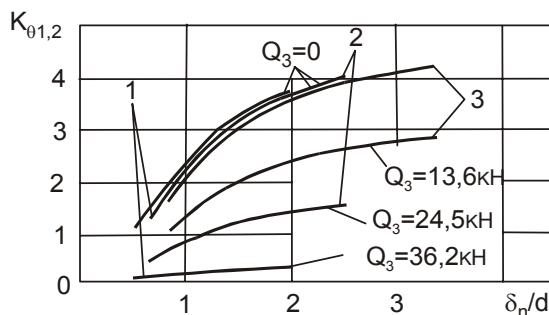


Рис. 9. Влияние отношения  $\delta_n/d$  на коэффициенты неравномерности нормальной погонной контактной нагрузки по длине болта в односрезном соединении с болтом из титанового сплава VT16:

1 –  $d = 10$  мм; 2 –  $d = 8$  мм;

3 –  $d = 6$  мм;  $P = 10$  кН;  $f_{1,2} = 0,25$ ;

$\gamma_{1,2} = 13,5 \frac{\text{кН}}{\text{мм}^3}$ ;  $E_1 = 115$  ГПа;

$E_{21} = E_{22} = 120$  ГПа;  $\delta_{n1} = \delta_{n2} = \delta_n$ ;

$K_{Q1} = K_{Q2}$ ;  $M_{01} = M_{02}$ ;  $\bar{\psi} = 0$

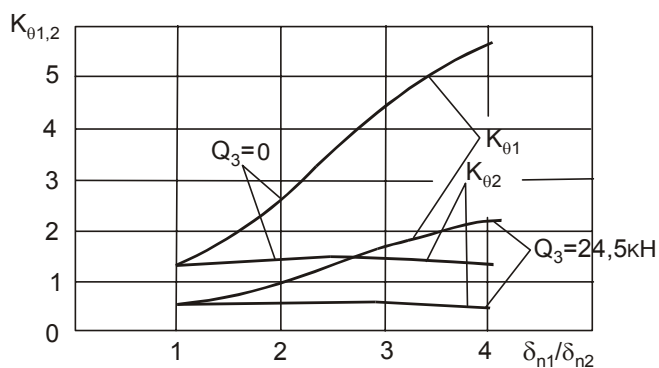


Рис. 10. Влияние отношения  $\delta_{n1}/\delta_{n2}$  на коэффициенты неравномерности нормальной погонной контактной нагрузки по длине болта в односрезном соединении с болтом из титанового сплава VT 16 диаметром 8 мм:

$P = 10$  кН;  $f_{1,2} = 0,25$ ;  $\gamma_{1,2} = 13,5 \frac{\text{кН}}{\text{мм}^3}$ ;

$E_1 = 115$  ГПа;  $E_{21} = E_{22} = 120$  ГПа;  $\delta_{n2} = 5$  мм;

$\bar{\psi} = 0$ ;  $d = 8$  мм

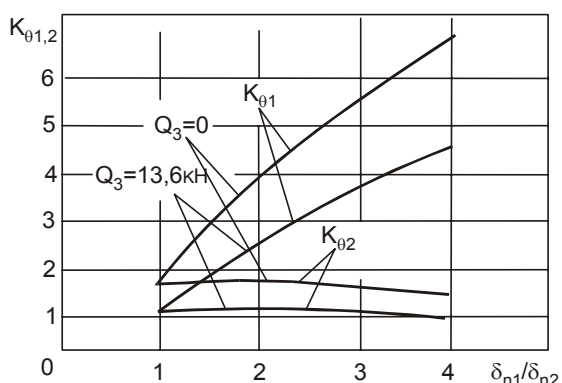


Рис.11. Влияние отношения  $\delta_{n1}/\delta_{n2}$  на коэффициенты неравномерности нормальной погонной контактной нагрузки по длине болта в односрезном соединении с болтом из титанового сплава VT 16 диаметром 6 мм:

$P = 10$  кН;  $f_{1,2} = 0,25$ ;  $\gamma_{1,2} = 13,5 \frac{\text{кН}}{\text{мм}^3}$ ;

$E_1 = 115$  ГПа;  $E_{21} = E_{22} = 120$  ГПа;

$\delta_{n2} = 5$  мм;  $\bar{\psi} = 0$ ;  $d = 6$  мм

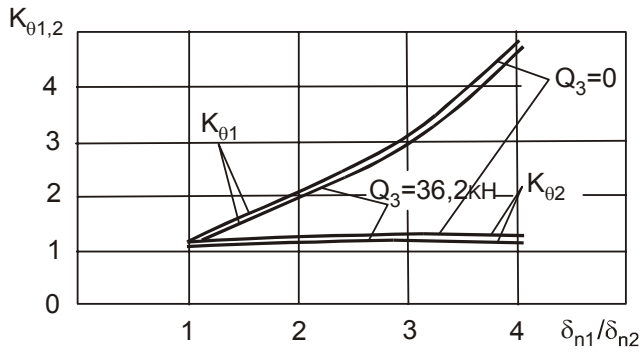


Рис. 12. Влияние отношения  $\delta_{n1}/\delta_{n2}$  на коэффициенты неравномерности нормальной погонной контактной нагрузки по длине болта в односрезном соединении с болтом из титанового сплава BT16 диаметром 10 мм:

$$P=10 \text{ кН}; f_{1,2} = 0,25; \gamma_{1,2} = 13,5 \frac{\text{кН}}{\text{мм}^3};$$

$$E_1=115 \text{ ГПа}; E_{21}=E_{22}=120 \text{ ГПа};$$

$$\delta_{n2}= 5 \text{ мм}; \bar{\Psi} = 0; d = 10 \text{ мм}$$

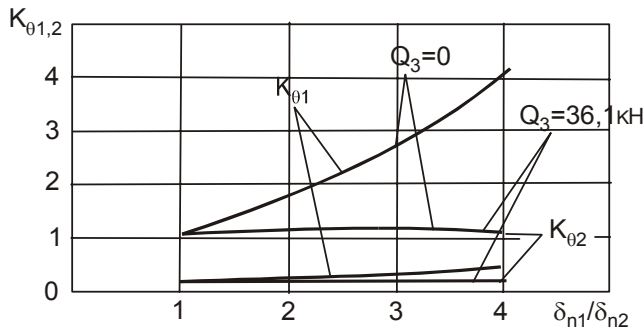


Рис. 14. Влияние отношения  $\delta_{n1}/\delta_{n2}$  на коэффициенты неравномерности нормальной погонной контактной нагрузки по длине болта в односрезном соединении с болтом из стали 30XГСА диаметром 10 мм:

$$P=10 \text{ кН}; f_{1,2} = 0,25;$$

$$\gamma_{1,2} = 13,5 \frac{\text{кН}}{\text{мм}^3}; E_1=210 \text{ ГПа}; E_{21}=E_{22} =$$

$$=120 \text{ ГПа}; \delta_{n2} = 5 \text{ мм}; \bar{\Psi} = 0; d = 10 \text{ мм}$$

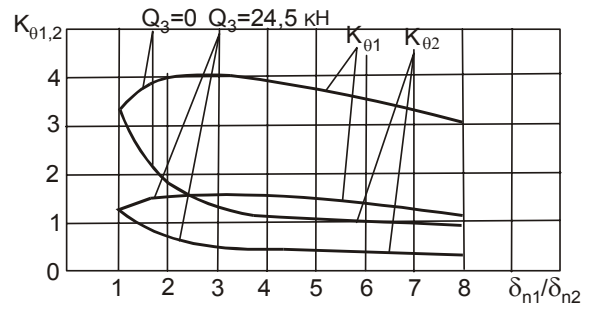


Рис. 13. Влияние отношения  $\delta_{n1}/\delta_{n2}$  на коэффициенты неравномерности нормальной погонной контактной нагрузки по длине болта в односрезном соединении с болтом из стали 30XГСА диаметром 8 мм:

$$P=10 \text{ кН}; f_{1,2} = 0,25; \gamma_{1,2} = 13,5 \frac{\text{кН}}{\text{мм}^3};$$

$$E_1=210 \text{ ГПа}; E_{21}=E_{22}=120 \text{ ГПа};$$

$$\delta_{n1} = 16 \text{ мм}; \bar{\Psi} = 0; d = 8 \text{ мм}$$

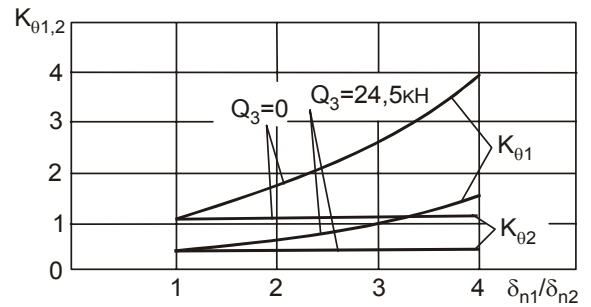


Рис. 15. Влияние отношения  $\delta_{n1}/\delta_{n2}$  на коэффициенты неравномерности нормальной погонной контактной нагрузки по длине болта в односрезном соединении с болтом из стали 30XГСА диаметром 8 мм:

$$P=10 \text{ кН}; f_{1,2} = 0,25; \gamma_{1,2} = 13,5 \frac{\text{кН}}{\text{мм}^3};$$

$$E_1=210 \text{ ГПа}; E_{21}=E_{22}=120 \text{ ГПа};$$

$$\delta_{n2} = 4 \text{ мм}; \bar{\Psi} = 0; d = 8 \text{ мм}$$

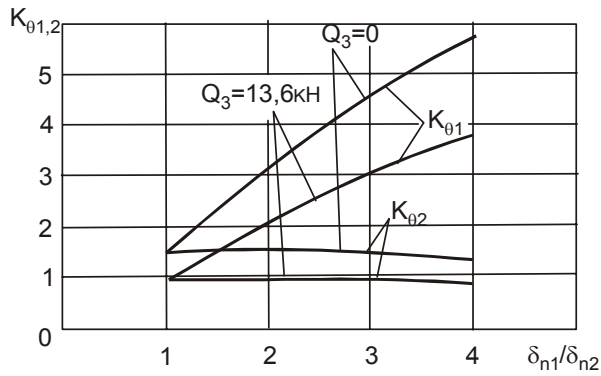
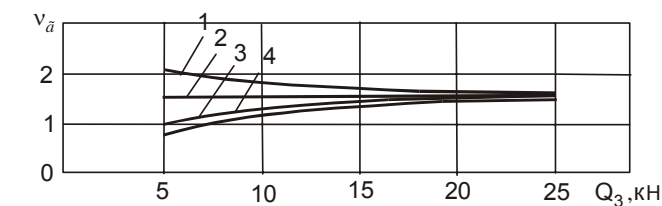


Рис. 16. Влияние отношения  $\delta_{n1}/\delta_{n2}$  на опорные моменты и коэффициенты неравномерности нормальной погонной контактной нагрузки по длине болта в односрезном соединении с болтом из стали 30ХГСА диаметром 6 мм:

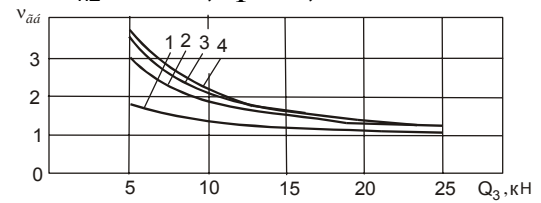
$$P=10 \text{ кН}; f_{1,2} = 0,25; \gamma_{1,2} = 13,5 \frac{\text{кН}}{\text{мм}^3};$$

$$E_1=210 \text{ ГПа}; E_{21}=E_{22}=120 \text{ ГПа};$$

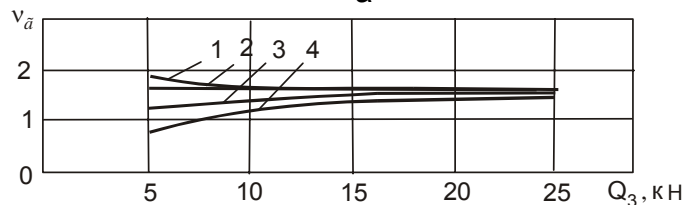
$$\delta_{n2} = 5 \text{ мм}; \bar{\psi} = 0; d = 6 \text{ мм}$$



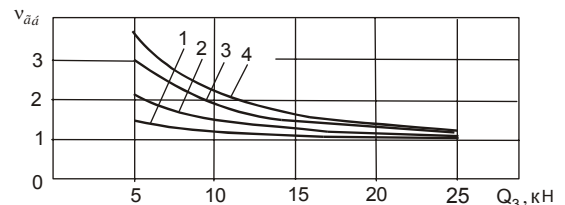
а



б



в



г

Рис. 17. Влияние усилия затяжки на коэффициенты неравномерности контактных давлений под гайкой и головкой болта:

а, б –  $\delta_{n2}=4$  мм; 1 –  $\delta_{n1}=4$  мм; 2 –  $\delta_{n1}=8$  мм; 3 –  $\delta_{n1}=12$  мм; 4 –  $\delta_{n1}=16$  мм;

в, г –  $\delta_{n1}=16$  мм; 1 –  $\delta_{n2}=16$  мм; 2 –  $\delta_{n2}=12$  мм; 3 –  $\delta_{n2}=8$  мм; 4 –  $\delta_{n2}=4$  мм;  $P=10$  кН;

$f_{1,2} = 0,25; \gamma_{1,2} = 13,5 \frac{\text{кН}}{\text{мм}^3}; E_1=210 \text{ ГПа}; E_{21}=E_{22}=120 \text{ ГПа}; \bar{\psi} = 0; d = 8 \text{ мм}$

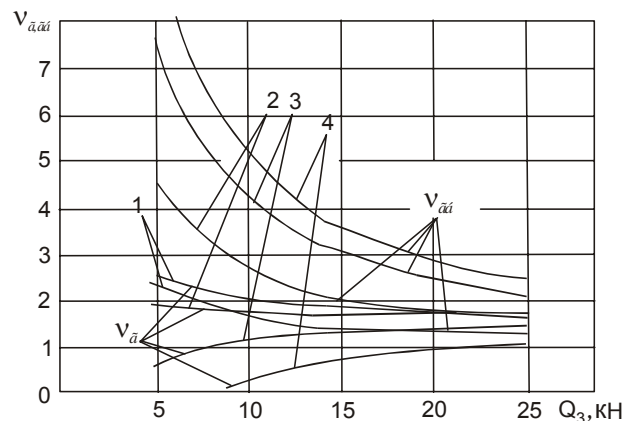
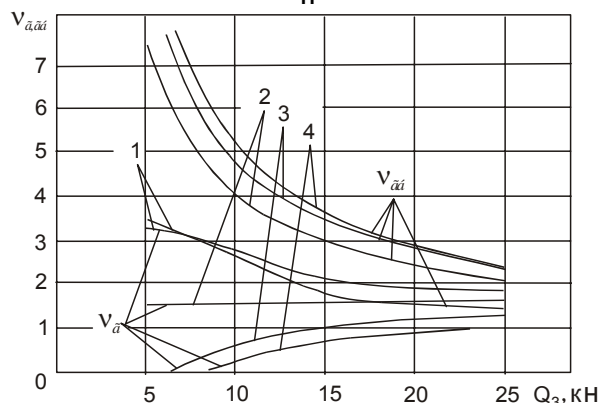


Рис. 18. Влияние усилия затяжки на коэффициенты неравномерности контактных давлений под гайкой и головкой болта:

а –  $\delta_{n2}=4$  мм; 1 –  $\delta_{n1}=4$  мм; 2 –  $\delta_{n1}=8$  мм; 3 –  $\delta_{n1}=12$  мм; 4 –  $\delta_{n1}=16$  мм;

б –  $\delta_{n1}=16$  мм; 1 –  $\delta_{n2}=16$  мм; 2 –  $\delta_{n2}=12$  мм; 3 –  $\delta_{n2}=8$  мм; 4 –  $\delta_{n2}=4$  мм;  $P=30$  кН;

$f_{1,2} = 0,25; \gamma_{1,2} = 13,5 \frac{\text{кН}}{\text{мм}^3}; E_1=210 \text{ ГПа}; E_{21}=E_{22}=120 \text{ ГПа}; \bar{\psi} = 0; d = 8 \text{ мм}$



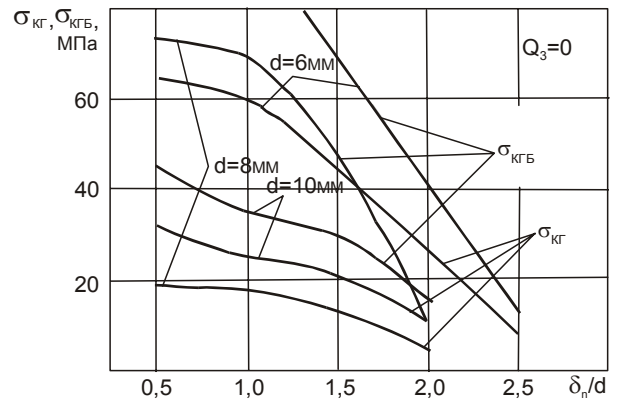
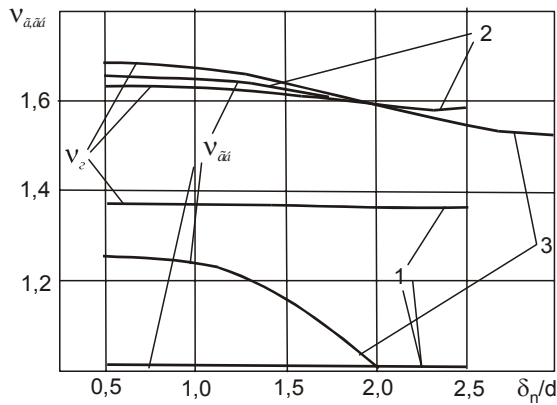


Рис. 19. Влияние отношения  $\delta_n/d$  на коэффициенты неравномерности контактных давлений и максимальные контактные давления под гайкой и головкой болта в односрезном болтовом соединении с болтом из стали 30ХГСА:

1 –  $d = 10$  мм;  $Q_3 = 36,2$  кН; 2 –  $d = 8$  мм;  $Q_3 = 24,5$  кН; 3 –  $d = 6$  мм;  $Q_3 = 13,6$  кН;  
 $P = 10$  кН;  $f_{1,2} = 0,25$ ;  $\gamma_{1,2} = 13,5 \frac{\text{кН}}{\text{мм}^3}$ ;  $E_1 = 210$  ГПа;  $E_{21} = E_{22} = 120$  ГПа;  $\delta_{n1} = \delta_{n2} = \delta_n$

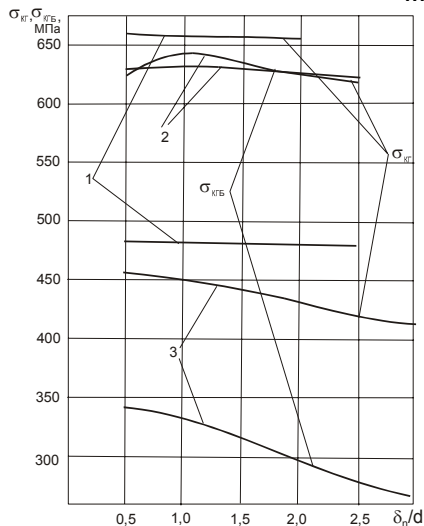


Рис. 20. Влияние отношения  $\delta_n/d$  на максимальные контактные давления под гайкой и головкой болта в односрезном болтовом соединении с болтом из стали 30ХГСА:

1 –  $d = 10$  мм;  $Q_3 = 36,2$  кН; 2 –  $d = 8$  мм;  $Q_3 = 24,5$  кН; 3 –  $d = 6$  мм;  $Q_3 = 13,6$  кН;  
 $P = 10$  кН;  $f_{1,2} = 0,25$ ;  $\gamma_{1,2} = 13,5 \frac{\text{кН}}{\text{мм}^3}$ ;  
 $E_1 = 210$  ГПа;  $E_{21} = E_{22} = 120$  ГПа;  
 $\delta_{n1} = \delta_{n2} = \delta_n$

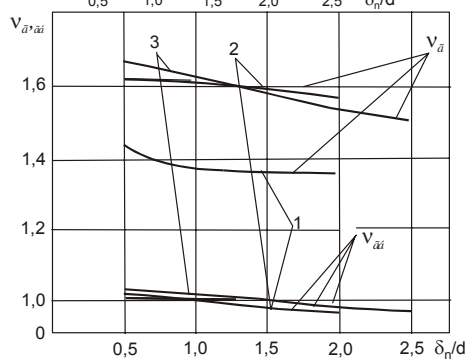
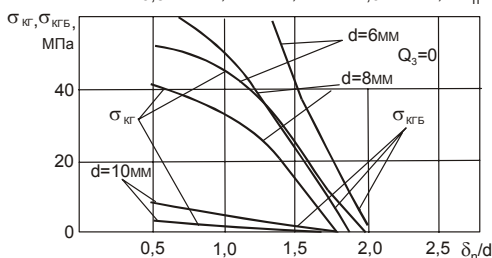


Рис. 21. Влияние отношения  $\delta_n/d$  на коэффициенты неравномерности контактных давлений под гайкой и головкой болта и максимальные контактные давления в односрезном болтовом соединении с болтом из титанового сплава BT16:

1 –  $d = 10$  мм;  $Q_3 = 36,2$  кН;  
 2 –  $d = 8$  мм;  $Q_3 = 24,5$  кН; 3 –  $d = 6$  мм;  $Q_3 = 13,6$  кН;  $P = 10$  кН;  $f_{1,2} = 0,25$ ;  
 $\gamma_{1,2} = 13,5 \frac{\text{кН}}{\text{мм}^3}$ ;  $E_1 = 115$  ГПа;  
 $E_{21} = E_{22} = 120$  ГПа;  $\delta_{n1} = \delta_{n2} = \delta_n$



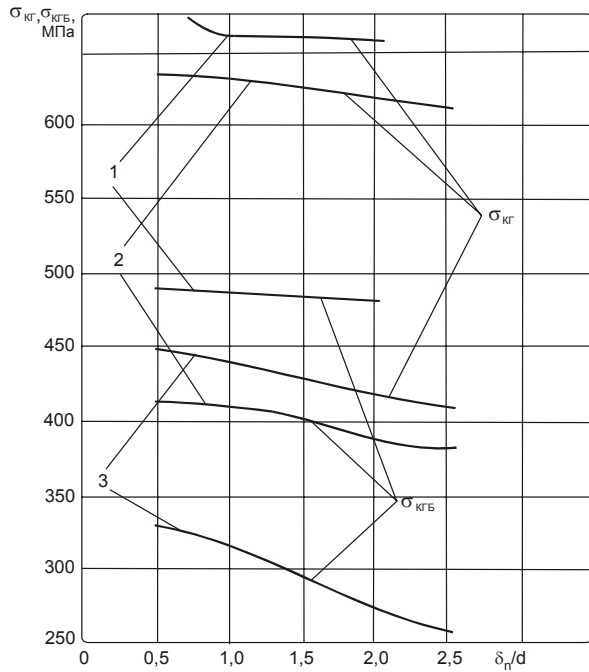


Рис. 22. Влияние отношения  $\delta_n/d$  на максимальные контактные давления под гайкой и головкой болта в односрезном болтовом соединении с болтом из титанового сплава ВТ16:

1 – d = 10 мм;  $Q_3 = 36,2$  кН; 2 – d = 8 мм;

$Q_3 = 24,5$  кН; 3 – d = 6 мм;  $Q_3 = 13,6$  кН;

$P = 10$  кН;  $f_{1,2} = 0,25$ ;  $\gamma_{1,2} = 13,5 \frac{\text{кН}}{\text{мм}^3}$ ;

$E_1 = 115$  ГПа;  $E_{21} = E_{22} = 120$  ГПа;

$$\delta_{n1} = \delta_{n2} = \delta_n$$

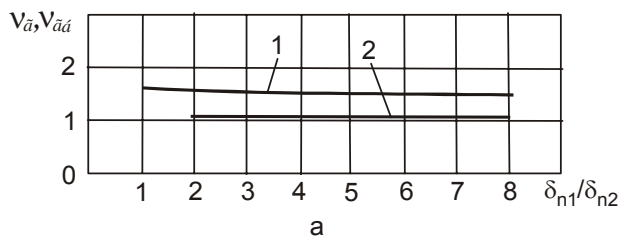
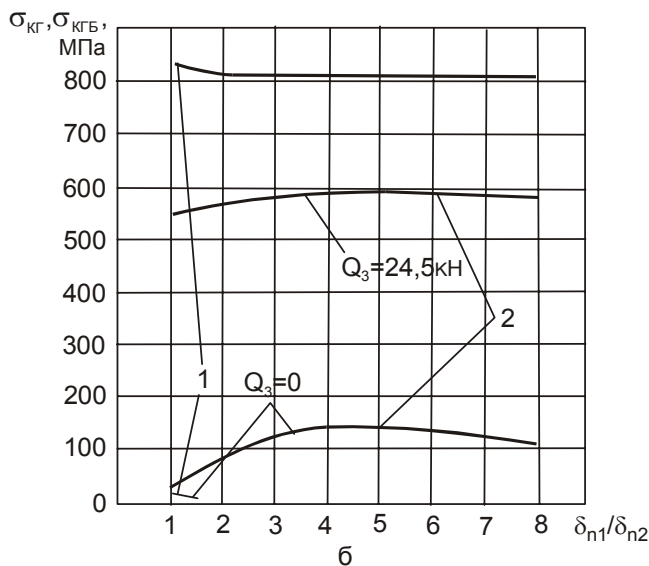


Рис. 23. Влияние отношения  $\delta_{n1}/\delta_{n2}$  на коэффициенты неравномерности контактных давлений и на максимальные контактные давления под гайкой и головкой болта в односрезном соединении с болтом из титанового сплава ВТ16 диаметром 8 мм: 1 – гайка; 2 – головка болта;

$P = 10$  кН;  $f_{1,2} = 0,25$ ;  $\gamma_{1,2} = 13,5 \frac{\text{кН}}{\text{мм}^3}$ ;

$E_1 = 115$  ГПа;  $E_{21} = E_{22} = 120$  ГПа;

$$\delta_{n2} = 5 \text{ мм}; \bar{\Psi} = 0$$



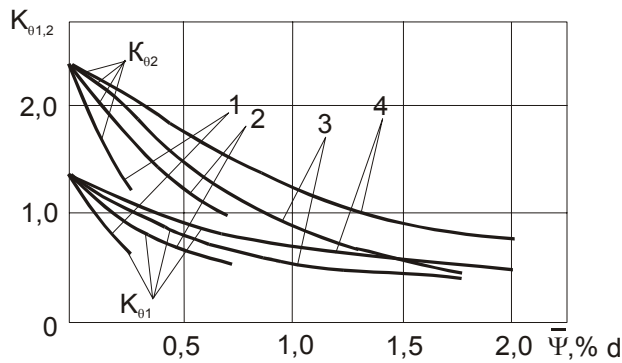


Рис. 24. Влияние радиального натяга на коэффициенты неравномерности погонной нормальной контактной нагрузки по длине болта в односрезном соединении без затяжки при соотношении толщин пластин  $\delta_{n2} = 2 \delta_{n1}$ : 1 –  $P = 10$  кН; 2 –  $P = 20$  кН; 3 –  $P = 30$  кН; 4 –  $P = 40$  кН;  $Q_3 = 0$ ;  $f_{1,2} = 0,21$ ;  $d = 8$  мм;  $\gamma_{1,2} = 13,5 \frac{\text{кН}}{\text{мм}^3}$ ;  $E_1 = 210$  ГПа;  $E_{21} = E_{22} = 120$  ГПа;  $\delta_{n1} = 5$  мм;  $\delta_{n2} = 10$  мм;

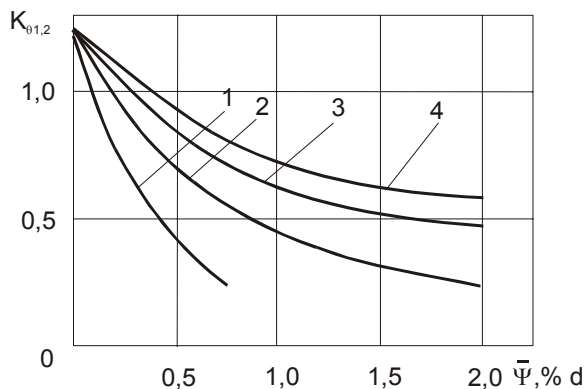


Рис. 26. Влияние радиального натяга на коэффициенты неравномерности погонной нормальной контактной нагрузки по длине болта в односрезном соединении без затяжки и с равными толщинами пластин: 1 –  $P = 10$  кН; 2 –  $P = 20$  кН; 3 –  $P = 30$  кН; 4 –  $P = 40$  кН;  $Q_3 = 0$ ;  $f_{1,2} = 0,21$ ;  $d = 8$  мм;  $\gamma_{1,2} = 13,5 \frac{\text{кН}}{\text{мм}^3}$ ;  $E_1 = 210$  ГПа;  $E_{21} = E_{22} = 120$  ГПа;  $\delta_{n1} = \delta_{n2} = 5$  мм;  $K_{\theta 1} = K_{\theta 2}$ ;

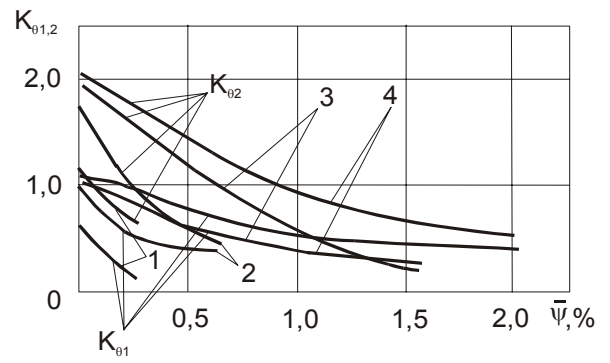


Рис. 25. Влияние радиального натяга на коэффициенты неравномерности погонной нормальной контактной нагрузки по длине болта в односрезном соединении при усилии затяжки болта 25 кН и соотношении толщин пластин  $\delta_{n2} = 2 \delta_{n1}$ : 1 –  $P = 10$  кН; 2 –  $P = 20$  кН; 3 –  $P = 30$  кН; 4 –  $P = 40$  кН;  $Q_3 = 0,25$  кН;  $f_{1,2} = 0,21$ ;  $d = 8$  мм;  $\gamma_{1,2} = 13,5 \frac{\text{кН}}{\text{мм}^3}$ ;  $E_1 = 210$  ГПа;  $E_{21} = E_{22} = 120$  ГПа;  $\delta_{n1} = 5$  мм;  $\delta_{n2} = 10$  мм;

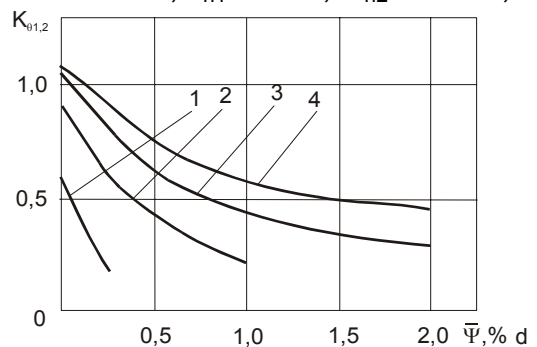


Рис. 27. Влияние радиального натяга на коэффициенты неравномерности погонной нормальной контактной нагрузки на болт в односрезном соединении при усилии затяжки болта 25 кН и равных толщинах пластин  $\delta_{n1} = \delta_{n2}$ : 1 –  $P = 10$  кН; 2 –  $P = 20$  кН; 3 –  $P = 30$  кН; 4 –  $P = 40$  кН;  $Q_3 = 25$  кН;  $f_{1,2} = 0,21$ ;  $d = 8$  мм;  $\gamma_{1,2} = 13,5 \frac{\text{кН}}{\text{мм}^3}$ ;  $E_1 = 210$  ГПа;  $E_{21} = E_{22} = 120$  ГПа;  $\delta_{n1} = \delta_{n2} = 5$  мм;  $K_{\theta 1} = K_{\theta 2}$ ;

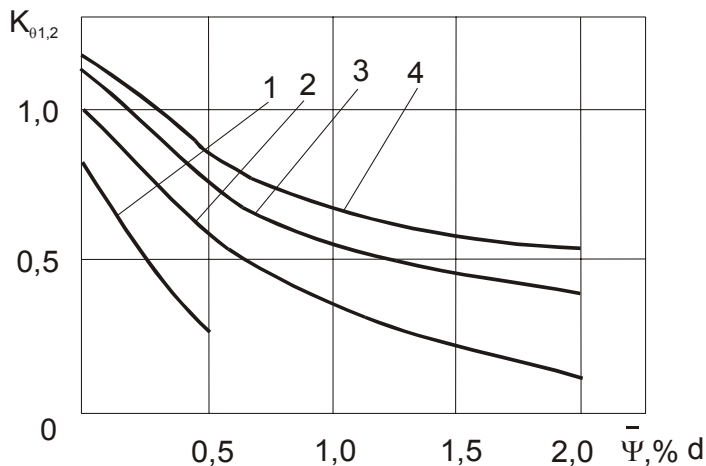


Рис. 28. Влияние радиального натяга на коэффициенты неравномерности погонной нормальной контактной нагрузки по длине болта в односрезном соединении при усилии затяжки болта

10 кН и равных толщинах пластин

$$\delta_{n1} = \delta_{n2};$$

1 – P=10 кН; 2 – P=20 кН;

3 – P=30 кН; 4 – P=40 кН; Q<sub>3</sub>=10 кН;

$$f_{1,2} = 0,21; d = 8 \text{ мм}; \gamma_{1,2} = 13,5 \frac{\text{кН}}{\text{мм}^3};$$

$$E_1 = 210 \text{ ГПа}; E_{21} = E_{22} = 120 \text{ ГПа};$$

$$\delta_{n1} = \delta_{n2} = 5 \text{ мм}; K_{01} = K_{02}$$

Повышение радиального натяга от  $\bar{\Psi} = 0$  до  $\bar{\Psi} = 1,5\% d$  в односрезном соединении из сплава ВТ6 и болтом из стали 30 ХГСА приводит к уменьшению величины  $K_0$  на 50...80%. Это явление объясняется изменением характера передачи нагрузки болтом с одной соединяемой пластиной на другую. В соединении без радиального натяга усилие P с пластины на пластину передается посредством нормальной контактной нагрузки P(x). В соединениях с радиальным натягом существенное значение при передаче нагрузки имеют силы трения между телом болта и стенкой отверстия q(x), посредством которых значительная часть нагрузки передается с одной пластины на другую. При больших значениях радиального натяга  $\bar{\Psi} > 0,5\% d$  и эксплуатационных уровнях внешней нагрузки  $P < 10 - 12 \text{ кН}$  ( $P < 0,3 P_p$ ) вся нагрузка на силовую точку соединения (болт) может передаваться силами трения, возникающими от действия нормальной контактной нагрузки между стенкой отверстия и болтом, вызванной радиальным натягом. Болт при этом практически не поворачивается и не изгибается.

### Выводы

1. Разработан метод определения влияния конструктивно-технологических параметров односрезного болтового соединения на распределение контактных давлений в зоне сопряжения его элементов.
2. Отношение толщины соединяемого пакета к диаметру болта существенно влияет на величину коэффициента неравномерности погонной нормальной контактной нагрузки. Рекомендуется применять в соединениях соотношение толщины пакета и диаметра болта  $\delta_1 + \delta_2 \leq 2d$ , при этом обеспечивается величина  $K_0 < 2$ .

3. В односрезных соединениях пластин из сплава ВТ6 различной толщины  $\frac{\delta_{n1}}{\delta_{n2}} > 1$  увеличение толщины  $\delta_{n1}$  от  $\delta_{n1}=\delta_{n2}$  до  $\delta_{n1}=4 \delta_{n2}$  приводит к увеличению  $k_{\theta 1}$  до значений  $k_{\theta 1}=4,8...6,8$  для болтов из титанового сплава ВТ16 и до значений  $k_{\theta 1}=4,0...5,8$  для болтов из стали 30ХГСА.
4. Применение радиального натяга  $\Psi = 0,5...1,5\%$  позволяет снизить величину коэффициентов неравномерности погонной нормальной контактной нагрузки в 2...3 раза.
5. Разработанный метод определения влияния конструктивно–технологических параметров и полученные результаты расчетов необходимы для проектирования односрезных соединений из титанового сплава ВТ6 с учетом заданного ресурса.

### Список литературы

1. Баранов П. П. Расчет на прочность болтов в односрезных соединениях // Вестник машиностроения. - 1976. - № 5. - С. 45 - 49.
2. Галкин С. И. Взаимодействие болта с элементами односрезного соединения//Труды ЦАГИ. - Вып. 2018. - Изд. отдел ЦАГИ, 1979.
3. Гребеников А. Г., Клименко В. Н., Ефремов А. Ю. Методика определения коэффициентов неравномерности контактных давлений между элементами односрезного болтового соединения с радиальным и осевым натягом // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – Х.: Харьк. авиац. ин-т. 1998. - Вып. 13. - С. 134 - 159.
4. Клименко В. Н. Методика определения усилий, необходимых для установки болтов с радиальным натягом в пакет из титанового сплава //Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: НАКУ»ХАИ». – 2005. – Вып. 27. – С. 78 – 94.
5. Биргер А. И., Иосилевич Г. Б. Резьбовые соединения. - М.: Машиностроение, 1973. - 256 с.
6. Баранов П. П. Распределение изгибающего момента по виткам резьбы соединения болт – гайка //Расчеты на прочность. - М.: Машиностроение. – 1978. – Вып. 19. – С. 80 – 92.
7. Рябков В. И., Меньшиков В. В. Метод определения упругой оси составного стержня при симметричном поперечном нагружении // Вопросы механики деформируемого твердого тела. – Х.: Харьк. авиац. ин –т.– 1983. - Вып. 4. – С. 120 – 125.
8. Рябков В. И., Меньшиков В. В. К вопросу разработки общей теории напряженно – деформированного состояния узлов // Вопросы механики деформируемого твердого тела. – Х.: Харьк. авиац.ин –т.– 1983. - Вып. 4. – С. 125 – 132.
9. Гребеников А. Г., Клименко В. Н., Трубаев С. В. Оценка изгибных напряжений в накладках односрезного соединения //Вопросы механики деформируемого твердого тела. – Х.: Харьк. авиац. ин-т. 1982. - Вып. 3. – С. 78 – 85.

## Рефераты

УДК 629.7.01

Метод определения характеристик общего напряжённо-деформированного состояния отсека фюзеляжа самолёта методом конечных элементов / А. Г. Гребеников, Ю. Н. Геремес, П. О. Науменко, С. П. Светличный // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 33. – С. 5 – 15.

Разработан метод определения характеристик общего НДС отсека фюзеляжа самолёта методом конечных элементов. Метод апробирован при расчёте НДС отсека фюзеляжа гражданского самолёта. Получены значения напряжений и перемещений в данной конструкции фюзеляжа.

Ил.15. Библиогр.: 4 назв.

Розроблено метод визначення загального НДС відсіка фюзеляжу літака методом скінченних елементів. Метод апробовано при розрахунку НДС відсіку фюзеляжу цивільного літака. Отримано значення напружень і переміщень в даній конструкції фюзеляжу.

Іл.15. Бібліогр.: 4 назви

УДК 681.3

Щодо створення типової інформаційно-аналітичної системи підготовки прийняття рішень в органах державної влади/ В.М. Фурашев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 33. – С. 16 – 20.

Тезове визначення основних підходів до створення, використання та розвитку автоматизованих систем інформаційно-аналітичної підтримки процедур прийняття рішень в органах державної влади.

Іл.1. Бібліогр.: 3 назви

Тезисное определение основных подходов к разработке, использованию и развитию автоматизированных систем информационно-аналитической поддержки процедур принятия решения в органах государственной власти.

Іл.1.Бібліогр.: 3 назв.

УДК 629.735.33.018.7.016

Компьютерная поддержка процесса определения летно-технических характеристик самолета. Часть 5. / А. Н. Нарожный // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 33. – С. 21 – 29.

Приведены результаты исследований влияния отклонений проектной информации от реальных характеристик самолета на практическое использование выводов анализа, предшествующего определению ЛТХ. Отклонения моделируются деформированием поверхностей  $C_y(\alpha, M)$  и  $C_x(C_y, M)$ .

Ил. 6. Табл. 4. Библиогр.: 5 назв.

Наведено результати досліджень впливу відхилень проектної інформації від реальних характеристик літака на практичне використання висновків аналізу, який передусє визначенню ЛТХ. Відхилення моделюються деформуванням поверхонь  $C_y(\alpha, M)$  і  $C_x(C_y, M)$ .

Іл. 6. Табл.4. Бібліогр.: 5 назв

#### УДК 539.375

Вплив корозійного пошкодження на величину коефіцієнта інтенсивності напружень і граничний стан елемента конструкції / Т.В. Доник // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 33. – С. 30 – 35.

Розглянуто задачу про напружений стан прямокутної пластинки, яка ослаблена корозійним пошкодженням і тріщиною. Досліджено вплив глибини корозійного пошкодження на величину коефіцієнта інтенсивності напруження та на граничний стан пластинки

Ил. 4. Табл. 3. Библиогр.: 7 назв

Рассмотрена задача о напряженном состоянии прямоугольной пластинки, которая ослаблена коррозионным повреждением и трещиной. Исследовано влияние глубины коррозионного повреждения на коэффициент интенсивности напряжения и на предельное состояние пластинки.

Ил. 4. Табл. 3. Библиогр.: 7 назв.

#### УДК 629.7.05

Математическое моделирование при создании комплексов бортового оборудования самолета / А.В. Наумов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 33. – С. 3 – 39.

Статья посвящена вопросам создания перспективной авионики, требующей новых подходов к проектированию интегрированных комплексов бортового оборудования самолетов, прежде всего, на основе математических методов и использования математических моделей, описывающих достаточно полно комплексы оборудования.

Библиогр.: 5 назв.

Стаття присвячена питанням створення перспективної авіоніки, яка потребує нових підходів до створення інтегрованих комплексів бортового обладнання літаків, передусім, на основі математичних методів і використання математичних моделей, котрі в достатній мірі описують комплекси обладнання.

Бібліогр.: 5 назв

#### УДК 533.68

Влияние удлинения крыла на аэродинамические характеристики дозвукового транспортного самолёта в крейсерском режиме полёта / Н.С. Быцко, Т.А. Гамануха, А.Г. Гребеников, В.В. Тюрёв // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 33 – С. 40 – 52.

Исследовано влияние величины удлинения крыла транспортного самолета на его аэродинамические характеристики.

Предложена методика расчета аэродинамических характеристик самолёта в процессе проектирования.

Ил. 9. Библиогр.: 8 назв.

Досліджено вплив величини подовження крила транспортного літака на його аеродинамічні характеристики.

Запропоновано методику розрахунку аеродинамічних характеристик літака в процесі проектування.

Ил. 9. Библиогр.: 6 назв

УДК 519.673:533.6.011

Сравнение моделирования сверхзвукового течения в расширяющейся трубе с использованием метода конечных элементов и с совместным применением БА-модели и модели «твердых» сфер /С.С. Левин, Ю.К. Чернышев// Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 33. – С. 53 – 56.

Приведена постановка задачи моделирования сверхзвукового газодинамического течения в расширяющейся трубе как для метода конечных элементов, так и для моделирования предлагаемым методом. Рассмотрены вопросы стабилизации решения по давлению и по температуре для МКЭ. Проведено сравнение результатов распределений полей числа Маха, полученных обоими способами. Представлена оценка соответствия результатов по длине свободного пробега частицы газа.

Ил. 4. Библиогр.: 10 назв.

Наведено постановку задачі моделювання надзвукової газодинамічної течії в трубі, що розширюється, як для метода скінченних елементів, так і для моделювання пропонуваним методом. Розглянуті питання стабілізації рішення щодо тиску і температури для МКЕ. Проведено порівняння результатів розподілів полів числа Маха отриманих обома способами. Подано оцінку відповідності результатів стосовно довжини вільного пробігу частинки газу.

Іл.: 4. Бібліогр.: 10 назв

УДК 621.311.24

Построение аэродинамических и энергетических характеристик турбины ветроэнергетической установки горизонтально-осевого типа / Д.В. Легошин, А.И. Яковлев, М.А. Затучная // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 33. – С. 57 – 61.

Разработан метод построения аэродинамических и энергетических характеристик регулирования турбины ветроэнергетической установки. Данные характеристики представляют собой функциональную зависимость угла поворота лопастей от изменения скорости ветра при условии сохранения постоянства частоты вращения.

Ил. 4. Библиогр.: 4 назв.

Розроблено метод побудови аеродинамічних і енергетичних характеристик регулювання турбіни вітроенергетичної установки. Ці характеристики є функціональною залежністю кута повороту лопатей від зміни швидкості вітру за умови збереження незмінною частоти обертання.

Іл. 4. Бібліогр.: 4 назви

УДК 533.6.01

Расчёт обтекания тел вращения гиперзвуковым воздушным потоком / В.Н. Шкурко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 33. – С. 62 – 65.

Исследован ряд моделей тел вращения с различными характеристиками. Разработаны компьютерные программы расчета. Получены результаты для широкого диапазона высот и скоростей полета. Определены аэродинамические силы, действующие на тело, и интегральные коэффициенты, созданы математические модели обтекания различных тел вращения с механизацией в гиперзвуковых потоках.

Ил. 4. Библиогр.: 4 назв.



Досліджено ряд моделей тіл обертання з різними характеристиками. Розроблено комп'ютерні програми розрахунку. Отримано результати для широкого діапазону висот і швидкостей польоту. Визначено аеродинамічні сили, що діють на тіло, і інтегральні коефіцієнти, створени математичні моделі обтікання різних тіл обертання з механізацією в гіперзвукових потоках.

Іл. 4. Бібліогр.: 4 назви

УДК 620.179(031)

Оптимизация вихретоковых преобразователей / Н.Д Кошевой, М.В. Цеховской, В.А. Дергачев, А.Н. Кухар // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 33. – С. 66 – 69.

Получены математические модели вихретоковых преобразователей. Намечены пути улучшения их технико-экономических показателей. Определены рациональные конструктивные параметры вихретокового преобразователя.

Библиогр.: 5 назв.

Отримано математичні моделі вихрострумів перетворювачів. Накреслено шляхи покращання їх техніко-економічних показників. Визначено раціональні конструктивні параметри вихрострумів перетворювача.

Бібліогр.: 5 назв

УДК 621.327

Рекуррентное двухпризнаковое двоичное полиадическое кодирование / В.В. Баранник, А.К. Юдин // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 33. – С. 70 – 74.

Изложено рекуррентное двухпризнаковое кодирование двоичных полиадических чисел, основанное на выявленной зависимости между весовыми коэффициентами и значениями двух предыдущих элементов. Определено выражение для оценки количества операций на рекуррентное кодирование.

Библиогр.: 5 назв.

Викладено рекурентне двохознакове кодування двійкових поліадичних чисел, основане на виявленні залежності між ваговими коефіцієнтами та значеннями двох попередніх елементів. Визначено вираз для оцінки кількості операцій на рекурентне кодування.

Бібліогр.: 5 назв

УДК 658.562.012.7:621

Управление качеством производственных процессов в проектах создания высокотехнологичной техники / Д.В. Божко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 33. – С. 75 – 82.

Показаны особенности анализа качества производственных процессов и их влияние на качество выпускаемой продукции на основных этапах жизненного цикла технологической подготовки производства. Предложены классификация процессов, структурная схема и предпочтительные области использования методов их анализа. На примере производственной системы листоштамповочного производства показано влияние технологических погрешностей на точность изделий.

Іл. 3. Бібліогр.: 5 назв.

Наведено особливості аналізу якості виробничих процесів і їх вплив на якість продукції. Запропоновано класифікацію процесів, структурну схему і методи їх аналізу. На прикладі виробничої системи листоштампувального виробництва показано вплив технологічних похибок на точність виробів.

Іл. 3. Бібліогр.: 5 назв

УДК 519.6

Имитационное моделирование потока объектов с учетом поля предпочтительных направлений / М.А. Слепичева, Ю.К. Чернышев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 33. – С. 83 – 88.

Предложена системно-алгоритмическая имитационная модель эволюции коллективов однотипных объектов. Приведены результаты расчетов предельных количеств пассажиров метро при заданных геометрических размерах перрона. Для обеспечения направленного движения предложено построение векторного поля предпочтительных направлений.

Іл. 4. Библиогр.: 8 назв.

Запропоновано системно-алгоритмічну імітаційну модель еволюції колективів об'єктів єдиного типу. Наведено результати обчислення граничних кількостей пасажирів метро при заданих геометричних розмірах перону. Для забезпечення спрямованого пересування запропоновано побудову векторного поля напрямків, які є переважними.

Іл. 4. Бібліогр.: 8 назв

УДК 621.327

Обоснование выбора дискретного преобразования Уолша для сжатия изображений / В.В. Баранник, А.А. Красноручкий, Н.Ф. Сидоренко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 33. – С. 89 – 93.

Приведено обоснование выбора двумерного ортогонального преобразования Уолша в системах сжатия, обеспечивающее снижение времени обработки. Разработана информационная модель трансформант ортогонального преобразования, позволяющая оценить количество информации в трансформантах преобразования, и обосновано, что для слабокоррелированных изображений количество информации в трансформантах преобразования Уолша меньше количества информации в трансформантах преобразования Хаара.

Библиогр.: 4 назв.

Наведено обґрунтування вибору двомірного ортогонального перетворення Уолша в системах тиску, що забезпечує зменшення часу обробки. Розроблено інформаційну модель трансформант ортогонального перетворення, яка дозволяє оцінити кількість інформації в трансформантах перетворення, і обґрунтовано, що для слабокорельованих зображень кількість інформації в трансформантах перетворення Уолша менша від кількості інформації в трансформантах перетворення Хаара.

Бібліогр.: 4 назви

УДК 681.3:519.6

Эмпирический метод анализа алгоритмов поиска / В.П. Зинченко, С.В. Зинченко, М.Д. Гераимчук, И.П. Муха, В.В. Борисов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 33. – С. 94 – 103.

Выполнен анализ алгоритмов поиска и предложен эмпирический метод оценки их эффективности с точки зрения максимально быстрого доступа к информации в ранее созданных базах данных.

Ил. 9. Библиогр.: 17 назв.

Виконано аналіз алгоритмів пошуку та запропоновано емпіричний метод оцінки їх ефективності з точки зору максимально швидкого доступу до інформації в базах даних, які були створені раніше.

Іл. 9. Бібліогр.: 17 назв

УДК 528.2:629.78

Двойная дифференциальная коррекция кодовых псевдодальностей, их разностей по навигационным космическим аппаратам в региональной системе координатно-временного обеспечения потребителей / Э.Н. Хомяков, А.И. Горб, Е.Э. Наумова, В.Н. Медведев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 33. – С. 104 – 115.

Рассмотрена структура спутниковой региональной системы координатно-временного обеспечения потребителей, изложена сущность двойной дифференциальной коррекции кодовых псевдодальностей и их разностей по навигационным космическим аппаратам (НКА), а также приведены соображения по методике оценки эффективности коррекции кодовых псевдодальностей, их разностей по НКА. Представлены результаты имитационного моделирования региональной системы применительно к Харьковской области.

Ил. 1. Табл.10. Библиогр.: 5 назв.

Розглянуто структуру супутникової регіональної системи координатно-часового забезпечення споживачів, викладено суть подвійної диференціальної корекції кодових псевдовідстаней та їх різниць за навігаційними космічними апаратами (НКА), а також наведено міркування стосовно методики оцінки ефективності корекції кодових псевдовідстаней, їх різниць за НКА. Подано результати імітаційного моделювання регіональної системи стосовно до Харківської області.

Іл. 1. Табл.10. Бібліогр.: 5 назв

УДК 004.415.5+53.081

Обоснование выбора системы единиц физических величин для независимой верификации при сертификации программного обеспечения / Б.М. Конорев, В.Л. Петрик // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 33. – С. 116 –120.

Рассмотрено влияние статистических характеристик систем единиц физических величин на достоверность и ресурсоемкость семантической независимой верификации программного обеспечения, основанный на анализе размерностей программных переменных. Оцениваются известные системы единиц СИ, СГС, МКГСС. Показано, что наибольшую достоверность обеспечивает СИ, а минимальную потребность в ресурсах – СГС.

Ил. 3. Библиогр.: 5 назв.

Розглянуто вплив статистичних характеристик систем одиниць фізичних типів на достовірність і ресурсоемкість семантичної незалежної верифікації програмного забезпечення, основаної на аналізі розмірностей програмних змінних. Оцінюються відомі системи одиниць СІ, СГС, МКГСС. Показано, що найбільшу достовірність забезпечує СІ, а мінімальну ресурсну потрібність – СГС.

Іл. 3. Бібліогр.: 5 назв

УДК 681.2.002:536.2:536.42

Автоматизированное извлечение конструкторско–технологических знаний / М.В Лапа // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 33. – С. 121 – 126.

Рассмотрена разработка новых методов и алгоритмов автоматизированного извлечения конструкторско-технологических знаний, формирования нечетких экспертных правил с использованием справочных баз данных предприятия, архива техпроцессов.

Іл. 3. Библиогр.: 7 назв.

Розглянуто розробку нових методів та алгоритмів автоматизованого здобуття конструкторсько-технологічних знань, формування нечітких експертних правил з використанням довідкових баз даних підприємства, архіва техпроцесів.

Іл. 3. Бібліогр.: 7 назв

УДК 626/628:528.574

Автоматизация процесса распознавания видов загрязнений для космического мониторинга морских акваторий / В.А. Слободян // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 33. – С. 127 – 131.

Предложена методика космического мониторинга морских акваторий, которая включает в себя разработку программного обеспечения в целях автоматизации процесса. Выделены основные дешифровочные признаки, по которым определяются основные виды загрязнений.

Іл. 6. Библиогр.: 7 назв.

Запропоновано методику космічного моніторингу морських акваторій, що містить у собі розробку програмного забезпечення з метою автоматизації процесу. Виділено основні дешифрувальні ознаки, за якими визначаються основні види забруднень.

Іл. 4. Бібліогр.: 7 назв

УДК 519.6

Алгоритмическая модель для решения задачи поиска оптимальной стратегии реконструкции сахарного завода // И.В. Кононенко, Н.В. Шатохина// Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 33. – С. 132 – 136.

Проведен анализ методик расчета выхода сахара, полученного в процессе переработки свекловичной стружки. Предложен подход, позволяющий формализовать проблему учета неопределенности качества свеклы, поступающей на сахарные заводы. Разработана и реализована алгоритмическая модель для расчета производительности технологического процесса получения продуктов сахарного производства. Приведены результаты расчетов при различных значениях параметров модели.

Іл. 2. Библиогр.: 5 назв.

Проведено аналіз методик розрахунку виходу цукру, отриманого в процесі переробки бурякової стружки. Запропоновано підхід, що дозволяє формалізувати проблему урахування невизначеності якості буряка, який надходить на цукрові заводи. Розроблено та реалізовано алгоритмічну модель для розрахунку продуктивності технологічного процесу отримання продуктів цукрового виробництва. Наведено результати розрахунків при різних значеннях параметрів моделі.

Іл. 2. Бібліогр.: 5 назв

УДК 658.512

Система управления экономическими рисками в процессе инвестиционной деятельности / А. Г. Осиевский, Е. В. Макарова // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 33. – С. 137 – 143.

Раскрыта сущность экономического риска, рассмотрены основные методы управления риском. Предложены основные принципы управления риском, а также разработана обобщенная схема процесса управления риском в процессе инвестиционной деятельности, основанная на диалоговых человеко-машинных процедурах.

Іл. 6. Библиогр.: 6 назв.

Розкрито сутність економічного ризику, розглянуто основні методи управління ризиком. Запропоновано основні принципи управління ризиком, а також розроблено узагальнену схему процесу управління ризиком у процесі інвестиційної діяльності, що базується на діалогових людино-машинних процедурах.

Іл. 4. Бібліогр.: 6 назв

УДК 504.3+528.87+304.45

Методика мониторинга техногенного загрязнения осаждения пыли в окрестностях крупных городов Украины в ArcGis 9.1/ Д.Л. Крета // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 33. – С. 144 – 153.

Предложена методика мониторинга загрязнения приземного слоя атмосферы, основанная на тематической обработке космических снимков местности с устойчивым снежным покровом. Рассмотрены основные этапы процесса автоматизации дешифрирования снимков по средствам геоинформационной платформы ArcGis9.1.

Іл. 15. Библиогр.: 3 назв.

Запропоновано методику моніторингу забруднення приземного шару атмосфери, основу на тематичній обробці космічних знімків місцевості зі стійким сніговим покривом. Розглянуто основні етапи процесу автоматизації дешифрування знімків засобами геоінформаційної платформи ArcGis9.1.

Іл. 15. Бібліогр.: 3 назви

УДК 528.8+632.15+332.37:334.012.12

Использование современных компьютерных технологий при создании информационно-аналитической системы НКАУ / Г.Я. Красовский, Т.А. Ключко, М.В. Оксененко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 33. – С. 154 – 156.

Рассмотрены практические аспекты синтеза информационно-аналитической системы Национального космического агентства Украины. В системе обрабатываются как схемно-технические решения, так и технология решения тематических задач мониторинга окружающей среды. Обработка космических снимков производится при помощи ERDAS Imagine. Результат определяется как тематическая карта в формате ArcGIS, которая имеет набор слоев определенного картографического уровня и масштаба и хранится в базе данных.

Розглянуто практичні аспекти синтезу Інформаційно-аналітичної системи Національного космічного агентства України. У системі відпрацьовуються як схемно-технічні рішення, так і технологія розв'язання тематичних задач моніторингу навколишнього середовища. Обробка космічних знімків здійснюється за допомогою ERDAS Imagine. Результат визначається як тематична карта у форматі ArcGIS, що має набір шарів певного картографічного рівня і масштабу і зберігається в базі даних.

УДК 658.012.23+658.114.5

Системный анализ функций управления корпорацией / И.Б. Некрасов, А.Д. Болгаров // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 33. – С. 157 – 164.

Проведен системный анализ системы управления корпорацией, анализ современных проблем при менеджменте корпораций, функциональный анализ системы управления. Определен базис для метода совершенствования системы управления путем организации информационных потоков, обеспечивающих горизонтальные и вертикальные связи системы, не нарушая основных принципов рационального управления, необходимых для эффективного функционирования корпорации.

Ил. 2. Табл. 1. Библиогр.: 12 назв.

Проведено системний аналіз системи управління корпорацією, аналіз сучасних проблем при менеджменті корпорацій, функціональний аналіз системи управління. Визначено базис для методу вдосконалення системи управління шляхом організації інформаційних потоків, які забезпечують горизонтальні та вертикальні зв'язки системи, не порушуючи основних принципів раціонального управління, необхідних для ефективного функціонування корпорації.

Іл. 2. Табл. 1. Бібліогр.: 12 назв

УДК 519.252

Анализ эффективности ремонтного производства / С.В. Валеишо, Н.И. Баранова // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 33. – С. 165 – 171.

Рассмотрены методы оценки эффективности ремонтного хозяйства: определение абсолютной экономической эффективности вспомогательных производств, использование обобщающего показателя при оценке эффективности ремонтного хозяйства, оценка эффективности ремонтного хозяйства путём определения уровня общих расходов. Проанализированы преимущества и недостатки различных обобщающих показателей. Разработана наиболее приемлемая методика оценки эффективности ремонтного хозяйства.

Библиогр.: 4 назв.

Розглянуто методи оцінки ефективності ремонтного господарства: визначення абсолютної економічної ефективності допоміжних виробництв, використання узагальнюючого показника при оцінці ефективності ремонтного господарства, оцінка ефективності ремонтного господарства шляхом визначення рівня загальних витрат. Проаналізовано переваги та недоліки різних узагальнюючих показників. Розроблена найбільш прийнятну методику оцінки ефективності ремонтного господарства.

Бібліогр.: 4 назви

УДК 519.252

Подход к оценке жизнеспособности проекта: экспериментальная проверка на примере лотерейного проекта / В.С. Исаков, Ю.С. Выходец // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 33. – С. 172 – 177.

Рассмотрена определенная последовательность методов в качестве единой методики оценки жизнеспособности проекта: квантово-экономический анализ, анализ цепочки добавленной стоимости, модель пяти сил Портера, а также анализ рынка в целях определения наиболее удачных стратегий маркетинг тіх. Произведена оценка жизнеспособности реально существующего лотерейного проекта в начале его внедрения и спустя 9 лет после его воплощения в жизнь. Приведен алгоритм проведения полного экономического анализа эффективности инвестиционного проекта.

Ил. 2. Табл.1. Библиогр.:4 назв.

Розглянуто певну послідовність методів як єдину методику оцінки життєздатності проекту: квантово-економічний аналіз, аналіз ланцюжка доданої вартості, модель п'яти сил Портера, а також аналіз ринку з метою визначення найбільш удалих стратегій маркетингу тіх. Зроблено оцінку життєздатності реально існуючого лотерейного проекту на початку його впровадження і через 9 років після його втілення в життя. Наведено алгоритм проведення повного економічного аналізу ефективності інвестиційного проекту.

Іл. 2. Табл. 1. Бібліогр.: 4 назви

УДК 624.078.1-2:539.43

Методика определения влияния конструктивно – технологических параметров односрезного соединения на распределение контактных давлений в зоне сопряжения его элементов /В.Н. Клименко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. – С. 178 – 205.

Разработана методика определения влияния конструктивно – технологических параметров односрезного соединения на распределение контактных давлений в зоне сопряжения его элементов. Исследовано влияние геометрических параметров соединения, радиального натяга и осевой затяжки болта на величину коэффициентов неравномерности контактных давлений. Для односрезных соединений из титанового сплава ВТ6 приведены результаты расчетов коэффициентов неравномерности контактных давлений по толщине пакета, под гайкой и головкой болта.

Ил. 28. Библиогр.: 9 назв.

Розроблено методику визначення впливу конструктивно – технологічних параметрів односрізного з'єднання на розподіл контактних тисків в зоні сполучення його елементів. Досліджено вплив геометричних параметрів з'єднання, радіального натягу і осьової затяжки болта на величину коефіцієнтів нерівномірності контактних тисків. Для односрізних з'єднань з титанового сплаву ВТ6 наведено результати розрахунків коефіцієнтів нерівномірності контактних тисків по товщині пакету, під гайкою і головою болта.

Іл. 28. Бібліогр.: 9 назв

## **Требования к оформлению статей в тематический сборник научных трудов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» «Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии»**

Уважаемые авторы публикаций!

К опубликованию в сборнике принимаются научные статьи, ранее не публиковавшиеся, посвященные вопросам и проблемам открытых информационных и компьютерных интегрированных технологий.

Согласно Постановлению ВАК Украины от 15.01.2003 г. № 7-05/1 "Про підвищення вимог до фахових видань, внесених до переліку ВАК України" текст статьи должен содержать следующие необходимые элементы:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами;
- анализ исследований и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор;
- выделение не решенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается данная статья;
- формулировка целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов;
- выводы по данному исследованию и перспективы дальнейших исследований в данном направлении.

Статья, не соответствующая требованиям ВАК Украины, к публикации не принимается.

Статья должна быть отредактирована литературным редактором и сверстана автором таким образом, чтобы все страницы были полностью заполнены текстом (в т.ч. последняя страница). Не принимается статья, содержащая неполные страницы.

Статья должна быть полностью подготовлена с помощью редактора MS Word 95, 97 или 2000. Рисунки и фотографии размещаются в тексте статьи, при этом рисунки должны быть сгруппированы и "привязаны" к тексту.

Требования к оформлению следующие:

- 1) параметры страницы: формат А4, верхнее поле - 2,5 см, нижнее - 3 см, левое - 2,5 см, правое - 2 см, от края до нижнего колонтитула - 2 см;
- 2) номер страницы: внизу, от центра, шрифт Arial (размер 12);
- 3) УДК: в левом верхнем углу страницы, шрифт Arial, 12;
- 4) инициалы и фамилии авторов: шрифт Arial, размер 12, в верхнем правом углу;
- 5) название статьи: шрифт Times New Roman, жирный, размер 16, выравнивание – по центру;
- 6) организация: шрифт Arial, курсив, размер 12;



- 7) между названием статьи, авторами, организацией и текстом статьи - один пустой абзац (размер 12);
- 8) текст статьи: шрифт Arial, обычный, размер 12; интервал - **одинарный**, перед абзацем и после него - 0 пт, отступ первой строки - 1,25 см, выравнивание - по ширине;
- 9) внешний вид графиков, таблиц, формул - по усмотрению авторов, но использовать шрифты размером не менее 8;
- 10) подписи под рисунками располагать по центру страницы; перед рисунком и после его наименования (или подрисуночной подписи) оставить пробел в одну строку.

Физические величины должны приводиться в единицах системы СИ.

В конце статьи необходимо привести список использованных источников (заголовок печатается отдельной строкой посередине, шрифт Arial, 12). Литературные источники должны быть пронумерованы в соответствии с порядком ссылок на них в тексте. Ссылка на источник дается в квадратных скобках. Список литературы приводится в конце статьи библиографическим списком источников на языке оригинала в соответствии с ГОСТ 7.1.-84.

Одновременно со статьей в редакцию предъявляются:

- экспертное заключение организации, в которой работает автор, о возможности опубликования статьи в открытой печати;
- рецензия на статью от ведущего специалиста;
- реферат на русском и украинском языках, содержащий краткое содержание статьи (объем не более семи строк одним абзацем).

Статья и реферат подаются в редакцию в виде файлов на дискете 3,5" (1,44 Мбайт) и в распечатанном виде на бумаге формата А4 (210x297).

Решение о публикации статьи принимает редколлегия.

Принятая к публикации распечатанная рукопись статьи автору не возвращается.

Научное издание

**ОТКРЫТЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ  
ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**Выпуск 33**

**Редакторы: Л.А. Кузьменко, Т.Г. Кардаш**

**Компьютерная верстка: Н. В. Ефремова**

**Подписано в печать 21.12.2006. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бум. офсетная.**

**Усл. печ. л. 12,1. Уч.-изд. л. 13,56. Т. 300 экз. Заказ**

---

**Национальный аэрокосмический университет  
им. Н.Е. Жуковского**

**«Харьковский авиационный институт»**

**61070, Харьков-70, ул. Чкалова, 17**

**<http://www.khai.edu>**

---

**Отпечатано в типографии ХГАПШ  
г. Харьков-23, ул. Сумская, 134, т. 707-87-60**