

**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 36**

**Харьков  
«ХАИ»  
2007**

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 № 1 от 19.09.2007 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. 36. - Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т "ХАИ", 2007. – 174 с.**

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.**

© Национальный аэрокосмический университет  
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2007

## Содержание

Т.А. Гамануха, А.Г. Гребеников, В.В. Тюрев. Метод определения геометрических параметров, обеспечивающих заданные летные характеристики дозвукового транспортного самолета	5
Б. В. Лупкин, С. Д. Младинов, А. И. Лагутин, В. А. Никитенко. Применение дробеударной обработки в авиационной промышленности	20
О. Г. Приймаков, Ю. О. Градиський, Г. О. Приймаков. Зносостійкість трибологічних систем типу "конструкційна сталь – кольоровий сплав"	29
А.Г. Гребеников, С.П. Светличный, В.А. Матвиенко, А. М. Гуменный. Метод анализа влияния последовательного применения раскатки и барьерного обжатия пластин с тремя отверстиями на характеристики локального НДС при растяжении	39
П. Ф. Поляков, А. В. Бородин, В. А. Палагин, В.А. Хорунжий, В.П. Поляков. Элементы и устройства функциональной микроэлектроники	49
Н. В. Нечипорук, С. А. Вамболь, Е. А. Полищук. Численное моделирование напряженно-деформируемого состояния в месте крепления пули в гильзе патрона	60
А. И. Гладышев. Численное моделирование обтекания вертолѐта одновинтовой схемы при его перемещении вправо	70
Е.И. Рыженко, А.Л. Ярмак. Анализ эффективности преодоления системы ПВО противника	79
М. В. Сливинский. Классификация технологических дефектов сотовых наполнителей из полимерных бумаг и пути ее реализации для повышения их качества	85
М. С. Мельников. Оценка технологичности деталей в САПР ТП	100
И. Б. Некрасов. Метод построения системных моделей мультипроекта инвестиционно-строительной корпорации	105
Ю. К. Чернышев. Имитационное моделирование 2D-фильтрации на основе событийного подхода	118
Д. В. Ландэ, В. Н. Фурашев. Моделирование электоральных процессов на основе концепции клеточных автоматов	123
И. В. Чумаченко, А. А. Лысенко. Позиционная игра преследования как модель конкуренции	129
Д. В. Божко, Е. А. Дружинин, О. К. Погудина. Модель формирования структуры технологической подготовки производства в проектах создания наукоемкой техники	135

А.Ф. Махмуд. Генераторы вихрей, оптимизация геометрических размеров	139
М. А. Латкин, А. В. Ефремова. Контроль изменения уровня рисков в ходе выполнения проекта	145
В.В. Баранник, С.В. Карпенко. Параллельная реализация трехмерного полиадического кодирования видеоданных	151
А. В. Бут, В. П. Мигаль, А. С. Фомин. Локальная неустойчивость диэлектрического отклика кристаллов CdZnTe	159
Рефераты	166
Требования к оформлению статей в тематический сборник научных трудов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» «Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии»	173

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

## **Метод определения геометрических параметров, обеспечивающих заданные летные характеристики дозвукового транспортного самолета**

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

Проектирование самолета, выбор его аэродинамической компоновки и конструктивно-силовой схемы являются чрезвычайно сложной комплексной проблемой. Результат решения этой проблемы существенно влияет на стоимость и эффективность самолета. По своему существу решаемая проблема требует системного подхода, который заключается в учете взаимной зависимости и существенного влияния решений частных вопросов на полученные результаты в целом [1 – 11].

Выбором рациональных геометрических параметров занимались многие исследователи, в том числе [1 – 6]. Однако отсутствуют работы, в которых комплексно исследовалось бы влияние отдельных геометрических параметров самолета на заданные летные характеристики.

Лётные характеристики самолёта определяются его массой, тягой двигателя и аэродинамическими характеристиками. Среди аэродинамических характеристик наиболее существенное влияние на лётные характеристики оказывают: максимальный коэффициент подъёмной силы; производная коэффициента подъёмной силы по углу атаки; коэффициент сопротивления при нулевой подъёмной силе; коэффициент индуктивного сопротивления; максимальное качество; производная коэффициента момента по коэффициенту подъёмной силы и другие характеристики.

Лобовое сопротивление самолета возникает в результате действия на каждый элемент обтекаемой поверхности касательных и нормальных составляющих аэродинамических сил. Сопротивление трения обусловлено вязкостью воздуха. Появление сопротивления сил давления зависит от различных факторов, изменяющих распределение давления на поверхности тела по сравнению с распределением давления в идеальной жидкости при безотрывном и стационарном обтекании безвихревым потоком.

Изменение картины давления на поверхности самолета, вызванное влиянием вязкости и вытесняющим действием пограничного слоя, характеризует сопротивление давления, которое вместе с сопротивлением трения определяет профильное сопротивление.

Профильное, волновое и индуктивное сопротивления относятся к составным частям лобового сопротивления.

В системе самолета появляется сопротивление интерференции от взаимодействия потоков, обтекающих элементы самолета в области их сочленения. В общем балансе сопротивления следует также учесть сопротивление от местных источников (сварочные и заклепочные швы, щели, антенну, трубки ПВД, узлы подвески, кронштейны и другие мелкие конструктивные надстройки, выступающие в поток).

Коэффициент лобового сопротивления самолета можно представить в следующем виде:

$$C_{x_a} = C_{x_0} + C_{x_i}, \quad (1)$$

где  $C_{x_0}$  – коэффициент лобового сопротивления при нулевой подъемной силе ( $C_{y_a} = 0$ ),  $C_{x_i}$  – коэффициент индуктивного сопротивления.

Первое слагаемое в формуле (1) определяется суммой составляющих

$$C_{x_0} = C_{x_p} + C_{x_e} + \sum \Delta C_x, \quad (2)$$

где  $C_{x_p}$  и  $C_{x_e}$  – коэффициент профильного и волнового сопротивлений,  $\Delta C_x$  – коэффициенты сопротивлений от различных местных источников.

При дозвуковых скоростях полета ( $M_\infty > M_*$ ) волновое сопротивление отсутствует и  $C_{x_e} = 0$ . Следует отметить, что  $M_*$  существенно уменьшается с увеличением коэффициента  $C_{y_a}$ .

Профильное сопротивление самолета находят как сумму сопротивлений изолированных его частей с учетом интерференции между ними.

Расчетная формула для коэффициента профильного сопротивления имеет вид

$$C_{x_p} = C_{x_{рф}} \bar{S}_\phi + k_T^* C_{x_{рк}} \bar{S}_k + k_T C_{x_{рз.о}} \bar{S}_{з.о} + C_{x_{рв.о}} \bar{S}_{в.о} + \\ + n k_{з.д} C_{x_{рз.д}} \bar{S}_{з.д} + k_T^* \Delta C_{x_{рк(\phi)}} \bar{S}_k + k_T \Delta C_{x_{рз.о(\phi)}} \bar{S}_{з.о}. \quad (3)$$

Здесь  $C_{x_{рф}}$ ,  $C_{x_{рк}}$ ,  $C_{x_{рз.о}}$ ,  $C_{x_{рв.о}}$ ,  $C_{x_{рз.д}}$  – коэффициенты профильного сопротивления изолированных фюзеляжа, крыла, горизонтального оперения, вертикального оперения, gondoly двигателя;  $\Delta C_{x_{рк(\phi)}}$  и  $\Delta C_{x_{рз.о(\phi)}}$  – коэффициенты дополнительного профильного сопротивления, обусловленного интерференцией крыла и горизонтального оперения с фюзеляжем;  $k_{з.д}$  – коэффициент интерференции gondoly двигателя с фюзеляжем или крылом;  $n$  – число gondol;  $k_T^*$  и  $k_T$  – коэффициенты торможения потока перед крылом и горизонтальным оперением;  $\bar{S}_\phi$ ,  $\bar{S}_k$ ,  $\bar{S}_{з.о}$ ,  $\bar{S}_{в.о}$ ,  $\bar{S}_{з.д}$  – отношения площадей миделя фюзеляжа, изолированного крыла, горизонтального оперения, миделя gondoly двигателя к характерной площади  $S$ .

При необходимости в формулу (3) включают сопротивления внешних подвесок (топливных баков, контейнеров и т.п.).

Для осуществления горизонтального полета и различных маневров самолет должен обладать необходимой величиной подъемной силы. В общем случае подъемная сила создается крылом, фюзеляжем, горизонтальным оперением, силовой установкой и другими элементами, входящими в аэродинамическую компоновку самолета. Следует отметить неравноценный вклад составных частей самолета в суммарную подъемную силу.

Подъемная сила самолета с крылом большого удлинения и с отношением диаметра (ширины) фюзеляжа к размаху крыла ( $\sigma_{кр} \leq 0,20 \dots 0,25$ ) определяется в основном подъемной силой изолированного крыла с подфюзеляжной частью. При этом предполагают, что в подъемной силе, приходящейся на подфюзеляжную часть, косвенно учитывают вклад от других элементов самолета.

С уменьшением удлинения крыла и увеличением параметра  $\sigma_{кр}$  становится существенным влияние фюзеляжа и его интерференции с крылом. Увеличение геометрических размеров горизонтального оперения приводит к необходимости учета подъемной силы оперения в общей подъемной силе самолета.

Характерной особенностью несущих поверхностей малого удлинения и удлиненных фюзеляжей является нелинейная зависимость коэффициента подъемной силы от углов атаки. Нелинейные эффекты становятся существенными на самолетах с крылом  $\lambda_{к} \leq 2,5 \dots 3,0$ .

Влияние изолированной силовой установки на аэродинамическую подъемную силу обычно мало. Однако подъемная сила может быть значительно повышена за счет обдува поверхности крыла или других элементов струей от воздушного винта или реактивного двигателя.

Как и другие аэродинамические характеристики, подъемная сила самолета определяется суммой подъемных сил изолированных частей с учетом их взаимного влияния. При этом для расчета летных характеристик самолета, в частности характеристик устойчивости и управляемости, целесообразно подъемную силу горизонтального оперения выделить отдельным слагаемым.

Таким образом, в диапазоне летных углов атаки, исключая область вблизи максимальной подъемной силы, коэффициент подъемной силы самолета можно представить в следующем виде:

$$C_{y_a} = C_{y_{аб.г.о}} + C_{y_{аг.о}} = C_{y_a}^{\alpha} (\alpha - \alpha_0) + \Delta C_{y_a}, \quad (13)$$

где  $C_{y_{аб.г.о}}$  относится к характеристике самолета без горизонтального оперения,  $C_{y_{аг.о}}$  является параметром горизонтального оперения.

Первое слагаемое в последнем равенстве (13) определяет линейную часть подъемной силы, второе  $\Delta C_{y_a}$  – нелинейную добавку. Для самолета с крылом  $\lambda_{к} > 3,0 \dots 3,5$  следует принять  $\Delta C_{y_a} = 0$ .

Считается, что подъемная сила самолета создается крылом, фюзеляжем, горизонтальным оперением, гондолами двигателей. Учет дополнительных конструктивных элементов рассматривают отдельно.

Подъемную силу фюзеляжа вычисляют суммой подъемных сил носовой, цилиндрической и кормовой частей:

$$C_{y_{аф}}^{\alpha} = C_{y_{а нос}}^{\alpha} + C_{y_{а цил}}^{\alpha} + C_{y_{а корм}}^{\alpha} \quad (14)$$

Приближенный расчет обтекания фюзеляжа при малых углах атаки выполняют по теории тонкого тела [1, 4].

На концах крыла или горизонтального оперения могут устанавливаться различные дополнительные элементы (концевые обтекатели, шайбы и т.п.).

Рассмотренные элементы улучшают несущие свойства крыла и горизонтального оперения.

Подъемная сила воздухозаборника возникает в результате потери количества движения всасываемой массы воздуха при изменении направления движения потока.

Как правило, на горизонтальном оперении применяют симметричные профили. В общем случае угол атаки нулевой подъемной силы изолированного крыла определяется профилем и его круткой. Смещение несущей поверхности вверх или вниз относительно оси фюзеляжа приводит к одинаковому результату.

С увеличением сужения несущей поверхности  $\eta = \eta_k$  (для крыла),  $\eta = \eta_{k.э.о}$  (для оперения) и удаления ее от носка фюзеляжа коэффициенты интерференции возрастают (в отдельных случаях по абсолютному значению); увеличение числа  $M$  приводит к уменьшению эффекта аэродинамического взаимодействия.

В сверхзвуковом потоке крыло (оперение) оказывает влияние на фюзеляж в областях, ограниченных конусами Маха. С увеличением чисел  $M$  конусы Маха сужаются, области возмущенного течения смещаются назад и могут частично выходить за пределы фюзеляжа, уменьшая тем самым дополнительную подъемную силу на фюзеляже, индуцируемую крылом или оперением.

Скос потока учитывают при расчете коэффициентов подъемной силы, индуктивного сопротивления и момента тангажа задней несущей поверхности; горизонтального оперения в нормальной схеме самолета и крыла - в схеме «утка».

Существуют различные методы расчета скоса потока, из которых наиболее распространенный основан на замене несущей поверхности моделью П-образного вихря [1, 2].

Максимальная подъемная сила и соответствующий ей критический угол атаки относятся к параметрам, определяющим летно-технические качества самолета. Знание максимального коэффициента подъемной силы  $C_{y_{amax}}$  необходимо для расчета безопасных скоростей взлета и посадки. По величине  $C_{y_{amax}}$  определяют предельные перегрузки при выполнении маневра и устанавливают границу начала тряски. Характер изменения зависимости  $C_{y_a} = f(\alpha)$  вблизи максимума влияет на поперечную устойчивость самолета при полете на больших углах атаки.

Точные значения максимального коэффициента подъемной силы  $C_{y_{amax}}$  и критического угла атаки в настоящее время могут быть получены только экспериментальным путем.

Возникновение индуктивного сопротивления связано с образованием вихревой пелены за телом при наличии подъемной силы. Однако, в частности, на крыле с геометрической круткой вихревая пелена, а следовательно, индуктивное сопротивление могут существовать при таком распределении подъемной силы вдоль размаха, когда суммарная подъемная сила крыла будет равна нулю. Чтобы подчеркнуть причину возникновения сопротивления, в ряде случаев вводят понятие "вихревое индуктивное сопротивление".

Для поляры самолета необходимо учесть дополнительные сопротивления, обусловленные влиянием углов атаки на профильное сопротивление и появлением волнового кризиса на крыле при  $\alpha \neq 0$ .

Однако при  $C_{y_a} > C_{y_a}^*$  на верхней поверхности крыла развивается сверхзвуковая зона течения с местным скачком уплотнения, в результате чего возникает дополнительное сопротивление  $\Delta C_{x_i}$ .

При малых значениях коэффициента подъемной силы, соответствующих  $C_{y_a} < C_{y_a}^*$ , все поляры совпадают с поляррой самолета в дозвуковом потоке (если не рассматривать изменения профильного сопротивления по  $M_\infty$ ). Чем выше число  $M_\infty$ , тем при меньших значениях  $C_{y_a}$  происходит отклонение от дозвуковой



поляры. В околосвуковой области течения ( $M_\infty > M_*^0$ ) уже при  $C_{y_a} = 0$  появляется волновое сопротивление и вершина поляры смещается вправо.

Для решения задач динамики полета необходимо знать моментные характеристики и положение фокуса самолета. При движении в вертикальной плоскости существует только момент тангажа (продольный момент) и при фиксированных органах управления – фокус по углу атаки.

Так же как и другие аэродинамические характеристики, момент от аэродинамических сил самолета определяется суммой моментов отдельных его частей (крыла, фюзеляжа, горизонтального оперения т.д.). Следует иметь в виду, что величина момента зависит от положения оси, относительно которой его вычисляют. Принимаем, что ось проходит через переднюю точку носовой части фюзеляжа. Строго говоря, продольный момент возникает от полной аэродинамической силы, однако в большинстве случаев можно рассматривать момент только от подъемной силы, пренебрегая влиянием сил лобового сопротивления.

В дальнейшем будем использовать также допущение, что подъемная сила несущих поверхностей в системе самолета и дополнительная подъемная сила на фюзеляже, возникающая от влияния несущей поверхности, расположены в центре давления изолированного крыла или горизонтального оперения. Погрешности, вносимые этим допущением, незначительны в дозвуковом потоке и возрастают с увеличением чисел  $M_\infty$  при сверхзвуковых скоростях полета.

В задачах динамики полета положение фокуса принято вычислять относительно носка средней аэродинамической хорды крыла, выраженного в долях САХ.

Соответствующим выбором крутки крыла, угла отклонения стабилизатора или руля высоты можно получить необходимые значения коэффициента момента, обеспечивающие требуемые моментные характеристики и балансировку самолета при установившемся горизонтальном полете.

Проведено сравнение результатов расчетов, выполненных по методикам, изложенным в работах [6] и [2]. В работе [2] волновое сопротивление рекомендуется рассчитывать по формуле

$$C_{xв} = 0,0038 \left( \frac{0,11}{0,11 - M + M_{кр}^*} \right)^3,$$

где  $M_{кр}^*$  – критическое число Маха при заданном значении  $C_{y_a}$ , определяемое из

условия  $\frac{dC_{x_a}}{dM} = 0,1,$

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

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

Для улучшения сходимости результатов расчета с данными летного эксперимента по самолету Ан-72 введена поправочная формула для коэффициента сопротивления:

$$K = K_1 + (C_y - C_{y_1}) \cdot \frac{K_2 - K_1}{C_{y_2} - C_{y_1}},$$

где  $C_{y_1}$  – минимальное значение  $C_y$ ;  $C_{y_2}$  – максимальное значение  $C_y$ .

Параметры  $K_1$  и  $K_2$  определены эмпирически ( $K_1=1,15$ ,  $K_2=0,84$ ).

$$C_{y_1} = 0,1, C_{y_2} = 0,8.$$

Выработка требований к характеристикам устойчивости и управляемости самолета всегда являлось одной из основных задач динамики полета. Одновременно с развитием авиационной техники происходило и совершенствование требований, закрепленных в Нормах летной годности [10] и других аналогичных документах.

Увеличение и уменьшение скорости движения летательных аппаратов лимитировано целым рядом ограничений: по управляемости, по нагреву и др. [9]

Ограничения для сверхзвуковых и дозвуковых самолётов по прочности и жесткости определяются значением продольного скоростного напора:

для истребителей  $q_{пред} = 5000...8000 \text{ кг/м}^2$ ;

для тяжелых самолётов  $q_{пред} = 4000...6000 \text{ кг/м}^2$ ;

для гражданских реактивных (дозвуковых) самолётов  $q_{пред} = 1900...2500 \text{ кг/м}^2$ .

Значение  $M_{пред}$  по  $q_{пред}$  определяют по формуле

$$M_{пред} = \sqrt{\frac{Q_{пред}}{0,7 \cdot P_n}}. \quad (15)$$

$M_{пред}$  выбрано из условий обеспечения устойчивости. Однако в зависимости от типа самолёта  $M_{пред}$  может выбираться из других соображений, например, надежности работы двигателя.

Если  $M_{пред}$  не является ограничением по нагреву, то наиболее точно его можно определить в результате летных испытаний.

Минимальная теоретическая скорость определится из условия полёта при  $C_{y_{max}}$ :

$$M_{min.теор} = \sqrt{\frac{G}{0,7 \cdot C_{y_{max}} \cdot P_n \cdot S}}. \quad (16)$$

Предельно заднее положение центра тяжести в целях обеспечения минимального запаса устойчивости по перегрузке определяется формулой [8]

$$X_T - X_F = \sigma_{min}.$$

Для расчетов можно принять  $\sigma_{min} = 2...3\%$  от  $\mathbf{v}_{сах}$ . Предельно переднее положение центра тяжести изменяется в пределах  $5...8\%$   $\mathbf{v}_{сах}$ :

$$X_{T.пр.зад} = X_F + 0,02...0,03; X_{T.пр.перед} = X_{T.пр.зад} + 0,05...0,08.$$

Рассматривая совместно кривые потребных для горизонтального полета и располагаемых тяг на одной какой-либо высоте полета ( $H=const$ ), можно определить режимы установившегося полета.

Точка А касания вертикальной прямой и кривой  $P_{\Pi}(V)$  соответствует теоретическому значению минимальной скорости горизонтального установившегося полета  $V_{min теор}$ . Эта скорость реализуется при полете с  $C_{ya з.п.} = C_{ya max}$

$$V_{min теор} = \sqrt{\frac{2 \cdot G}{\rho \cdot S \cdot C_{ya max}}}; M_{min теор} = \sqrt{\frac{G}{0.7 \cdot C_{ya max} \cdot \rho_H \cdot S}}. \quad (17)$$

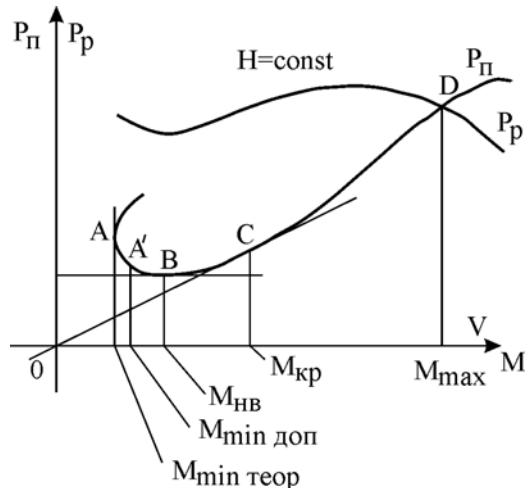


Рис. 1. Характерные точки на кривых потребной и располагаемой тяг

$$V_{min доп} = \sqrt{\frac{2 \cdot G}{\rho \cdot S \cdot C_{ya доп}}}; M_{min доп} = \sqrt{\frac{G}{0.7 \cdot C_{ya доп} \cdot \rho_H \cdot S}}. \quad (18)$$

Значение  $C_{ya доп}$  ЛА определяют при летных испытаниях ЛА и зависит от числа  $M$  полета. Предупреждающими признаками при подходе к  $C_{ya доп}$  служит появление тряски ЛА, самопроизвольное кабрирование и кренение, ухудшение управляемости и т.п., а также сигналы автомата, предупреждающие пилота о выходе на предельно допустимые углы атаки.

Вторая характерная точка получается проведением горизонтальной касательной к кривой  $P_{\Pi}(V)$  в точке касания  $B$  (см. рис. 1) имеем минимальную потребную тягу  $P_{\Pi min}$ , что соответствует полету с  $K_{max}$  ( $P_{\Pi min} = \frac{G}{K_{max}}$ ). В свою оче-

редь, максимальное качество реализуется при полете с  $C_{ya з.п.} = C_{ya нв}$ . Режим  $C_{ya нв}$  соответствует по поляре, как известно, наивыгоднейшему углу атаки  $\alpha_{нв}$ . Скорость, соответствующая  $P_{\Pi min}$  и  $\alpha_{нв}$ , называется наивыгоднейшей:

$$V_{min нв} = \sqrt{\frac{2 \cdot G}{\rho \cdot S \cdot C_{ya нв}}}, \quad (19)$$

$$M_{min нв} = \sqrt{\frac{G}{0.7 \cdot C_{ya нв} \cdot \rho_H \cdot S}}. \quad (20)$$

Точка касания, получившаяся проведением касательной из начала координат к кривой  $P_{\Pi}(V)$ , крейсерской скорости горизонтального установившегося полета  $V_{кр}$  (или  $M_{кр}$ ).

Под взлетом понимают движение ЛА с момента старта до момента достижения минимальной безопасной высоты полета и скорости.

Траектория движения ЛА с достаточно большой энерговооруженностью при взлете показана на рис. 2.

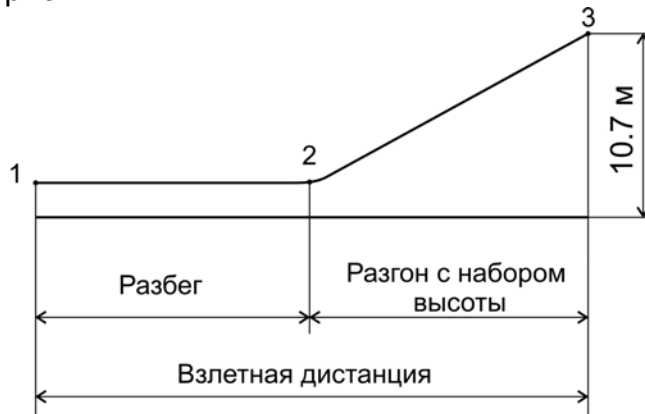


Рис. 2. Схема траектории движения ЛА при взлете

Величина взлетной дистанции складывается из длины разбега и из длины участка, на котором ЛА, оторвавшись от ВПП, совершает подъем с одновременным разгоном.

На участке разбега ЛА перемещается по ВПП со скоростью, постепенно увеличивающейся от  $V=0$  в начале разбега (точка 1) до некоторой скорости отрыва  $V_{отп}$ , достаточной для создания подъемной силы, равной силе веса ЛА. При достижении  $V_{отп}$  ЛА переходит от движения по земле к полету в воздухе.

При скорости, равной скорости отрыва  $V_{отп}$ , подъемная сила становится равной силе веса ЛА. Для того, чтобы равенство  $Y_a=G$  осуществлялось при малой скорости, необходимо, чтобы значение  $C_{ya}$  при отрыве было возможно большим. Если обозначить  $Y_a$  при отрыве через  $C_{ya\ отп}$ , а скорость при отрыве через  $V_{отп}$ , то

$$V_{отп} = \sqrt{\frac{2 \cdot G_{взл.}}{\rho \cdot S \cdot C_{ya\ отп}}} \quad (21)$$

Для ЛА с ТРД ориентировочно можно принять  $V_{отп} = (1,1 \dots 1,15) V_{min\ теор.}$   
 Для ЛА с винтовыми двигателями  $V_{отп} = (1,05 \dots 1,1) V_{min\ теор.}$

где  $V_{min\ теор.} = \sqrt{\frac{2 \cdot G_{взл.}}{\rho \cdot S \cdot C_{ya\ max}}}$  – минимальная скорость при неработающих

двигателях.

$$\text{Итак, } m\dot{V} = P - fG - \frac{\rho V_{отп}^2}{2} S(C_{xa} - fC_{ya}). \quad (22)$$

$$\text{Проведя очевидную замену } V = \frac{dV}{dt} = \frac{dV}{dL} \frac{dL}{dt} = \frac{dV}{dL} V$$

в предыдущем уравнении и проинтегрировав его, получим формулу для определения длины разбега ЛА

$$L_p = \int_0^{V_{отп}} \frac{V dV}{P_{взл.} - f_{тр.} G_{взл.} - \frac{\rho V_{отп}^2}{2} S(C_{xa} - fC_{ya})}. \quad (23)$$

Интегрирование осуществляем или графически в пределах от нуля до скорости отрыва, или методами численного интегрирования. Время разбега получаем, интегрируя уравнение (22):

$$t_p = \int_0^{V_{отр}} \frac{dV}{P_{взл.} - f_{тр.} G_{взл.} - \frac{\rho V_{отр}^2}{2} S (C_{xa} - f C_{ya})}. \quad (24)$$

Большая посадочная скорость усложняет посадку ЛА. Кроме того, увеличение посадочной скорости ведет к увеличению длины пробега, что нежелательно.

Посадочную скорость  $V_{пос.}$ , зная  $C_{ya\ пос.}$ , легко подсчитать по формуле

$$V_{пос.} = \sqrt{\frac{2 \cdot G_{пос.}}{\rho \cdot S \cdot C_{ya\ пос.}}}, \quad (25)$$

где  $C_{ya\ пос.}$  – коэффициент  $C_{ya}$  в момент касания колесами поверхности ВПП.

В расчетах необходимо учитывать, что по мере расхода топлива масса самолета уменьшается.

При определении  $C_{ya\ пос.}$  необходимо учитывать влияние земли и механизации крыла на величину коэффициента подъемной силы.

Зная посадочный угол атаки, можно определить  $C_{ya\ нос.}$ , а затем –  $V_{пос.}$

Для ЛА, имеющего шасси с хвостовым колесом:

$$C_{ya\ нос.} = C_{ya\ ст} + \Delta C_{ya\ мех} + \Delta C_{ya\ земли}.$$

Для ЛА, имеющего шасси с носовым колесом:

$$C_{ya\ нос.} = C_{ya\ кас} + \Delta C_{ya\ мех} + \Delta C_{ya\ земли}.$$

Получим следующее выражение для  $V_{пос.}$ :

$$V_{пос.} = \sqrt{\frac{2 \cdot G_{пос.}}{\rho \cdot S (C_{ya\ тах} + \Delta C_{ya\ тах\ мех} + \Delta C_{ya\ тах\ земли})}}. \quad (26)$$

Как показывает сравнение расчетных значений  $V_{пос.}$  с данными летных испытаний, ошибка при определении посадочной скорости по приведенным формулам не превышает 5%.

Вследствие сильного уменьшения  $\alpha_{кр}$  в результате влияния земли лишь для очень тяжелых ЛА могут встретиться трудности при конструировании такого шасси, которое обеспечивало бы полное использование подъемной силы крыла при посадке, что связано с необходимой высотой передних стоек шасси.

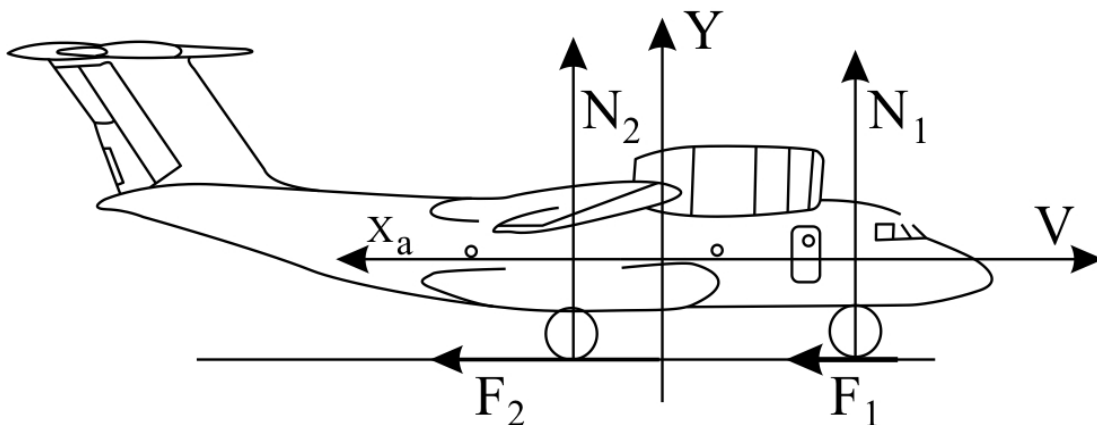


Рис. 3. Силы, действующие на ЛА при пробеге

При пробеге ЛА по ВПП на него действуют следующие внешние силы (рис 10.8):  $Y_a$  – подъемная сила ;  $X_a$  – сила лобового сопротивления;  $G$  - сила тяжести ;  $N_1$  и  $N_2$  – силы реакции колес;  $F_1$  и  $F_2$  – силы трения о поверхность ВПП.

При расчете пробега независимо от типа шасси угол атаки считается постоянным.

Уравнения движения ЛА при пробеге имеют вид

$$m \dot{V} = -X_a - F_1 - F_2, \quad (27)$$

Для ЛА, шасси которых имеют носовое колесо, в уравнениях движения будут присутствовать сила трения и сила реакции только основных колес. Для ЛА с хвостовым колесом вместо двух сил трения и двух сил реакции передних и заднего колес удобно ввести одну результирующую приведенную силу трения  $F$  и результирующую силу реакции  $N$ .

С учетом сказанного выше уравнения движения будут иметь вид

$$m \frac{dV}{dt} = -X_a - F, \quad G_{\text{нос}} - Y_a = N, \quad (28)$$

где  $m = m_{\text{нос}}$ .

Сила трения колес  $F = f_{\text{мп}} N = f_{\text{мп}} (G_{\text{нос}} - Y_a)$ ,

следовательно,

$$m \frac{dV}{Dt} = -X_a - f_{\text{мп}} (G_{\text{нос}} - Y_a), \quad (29)$$

где  $f_{\text{мп}}$  - коэффициент трения, зависящий от характера поверхности ВПП, давления в пневматиках колес, степени торможения колес и скорости движения ЛА и изменяющийся в широких пределах [7]:

для сухого бетона –  $f_{\text{мп}} = 0,6 \dots 0,7$ ,

для влажного бетона –  $f_{\text{мп}} = 0,36 \dots 0,4$ .

В случае шасси с хвостовым колесом  $f_{\text{мп}} = f_{\text{прив}}$

Время пробега определяют по формуле

$$t_{\text{проб}} = m \int_0^{V_{\text{нос}}} \frac{dV}{X_a + f_{\text{мп}} (G_{\text{нос}} - Y_a)}. \quad (30)$$

После интегрирования получим выражение для длины пробега

$$L_{\text{проб}} = m \int_0^{V_{\text{нос}}} \frac{dV}{f_{\text{мп}} G_{\text{нос}} + \frac{\rho V^2}{2} S (C_{xa} - f C_{ya})}. \quad (31)$$

Так как при пробеге ЛА обычно используют тормоза, то коэффициент трения при пробеге больше, чем при разбеге.

Величины  $t_{\text{проб}}$  и  $L_{\text{проб}}$  можно рассчитать или численными методами интегрирования, или же графическим методом интегрирования.

Длина посадочной дистанции современных ЛА с большой нагрузкой на крыло получается весьма значительной. Целесообразно потому принимать все возможные меры для ее уменьшения. С этой целью посадку производят обычно при выпущенной в посадочное положение механизации (щитки, щитки-закрылки и т.д.). При этом, как видим, увеличивается не только коэффициент подъемной силы, что ведет к уменьшению  $V_{\text{нос}}$ , но и коэффициент лобового сопротивления  $C_{xa}$ , способствуя сокращению посадочной дистанции, в частности длины пробега.

По сравнению с существующими методиками, предложены некоторые корректирующие формулы для рассчитываемых аэродинамических характеристик. Надежность метода подтверждалась расчетом аэродинамических характеристик самолета Ан-72 и сравнением полученных данных с известными характеристиками самолета.

Результаты расчетов показаны на рис. 4.

Для проведения модификации, обеспечивающей заданные летные характеристики, можно дать следующие рекомендации.

Для увеличения максимального качества необходимо уменьшить произведение  $C_{x0} \cdot A$ , где  $A$  – коэффициент отвала поляры. Коэффициент  $C_{x0}$  можно уменьшить: выбирая угол установки крыла таким, чтобы угол атаки фюзеляжа на крейсерском режиме полета был равен нулю; устанавливая зализы в месте сочленения крыла и фюзеляжа; улучшая чистоту обработки обтекаемых поверхностей и др. Чтобы уменьшить коэффициент отвала поляры  $A$ , необходимо увеличивать удлинение крыла, уменьшать стреловидность крыла, применять оптимизирующую крутку крыла, использовать законцовки крыла и др.

Понижение скорости сваливания  $V_s$  можно обеспечить повышением коэффициента  $C_{ya\max}$ , снижение взлётной скорости также достигается увеличением  $C_{ya\max}$ . Увеличение коэффициента максимальной подъемной силы достигается увеличением вогнутости профиля крыла, применением различных видов механизации, использованием эффекта Коанда и др. При этом нельзя использовать средства механизации, значительно снижающие качество.

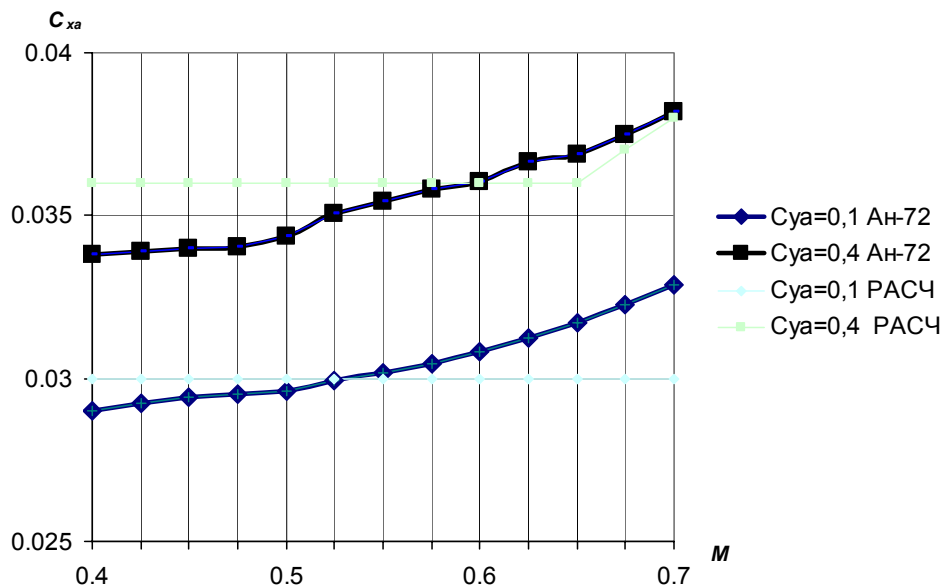


Рис. 4. Сравнение полученных аэродинамических характеристик самолета с известными характеристиками самолета Ан-72

Возрастание наивыгоднейшей скорости достигается повышением удельной нагрузки  $G/S$  на крыло. Увеличение максимальной теоретической скорости достигается при больших значениях качества. Сокращение длины разбега достигается увеличением тяги, повышением качества, уменьшением коэффициента трения шасси, уменьшением взлётной скорости. Взлётная скорость уменьшается с уменьшением удельной нагрузки на крыло и с увеличением  $C_{ya\max}$ .

Скороподъёмность увеличивается с повышением качества. Для уменьшения радиуса виража необходимо увеличивать угол крена и уменьшать скорость, для уменьшения времени виража необходимо уменьшать его радиус. На дальность полёта влияет качество: при увеличении качества дальность возрастает. Для увеличения модуля вращательных производных необходимо проводить следующие модификации геометрических параметров самолета: увеличивать расстояние от стабилизатора, руля высоты и горизонтального оперения до центра тяжести самолёта; увеличивать удлинение крыла и удлинение вертикального оперения.

Целью статьи является разработка метода определения рациональных геометрических параметров дозвукового транспортного самолета, обладающего заданными летными характеристиками. На стадии эскизного проектирования самолета необходимо использовать расчётные методики, позволяющие проводить расчёты относительно быстро и без больших затрат. В настоящей работе в качестве аэродинамического блока используют расчетный метод определения аэродинамических характеристик дозвуковых пассажирских и транспортных самолетов, предложенный в работе [10]. Метод разработан применительно к самолетам, имеющим крылья большого удлинения и небольшую стреловидность.

В результате проведенного анализа получены эмпирические формулы зависимости аэродинамических коэффициентов от геометрических параметров самолета и критериев подобия, характеризующих поток [2, 4, 5, 6] и др.

Исходными параметрами для решения поставленной задачи являются заданные заказчиком летные характеристики самолета, такие как: максимальное качество, максимальная скорость горизонтального установившегося полета, тяга, соответствующая максимальной скорости, крейсерская скорость горизонтального установившегося полета, минимальная теоретическая скорость полета, минимальная практическая скорость полета, скорость отрыва, посадочная скорость, длина разбега, длина пробега, наивыгоднейшая скорость горизонтального установившегося полета, дальность полета, производная  $m_z^{C_{ya}}$  и др.

Метод включает в себя:

1. Анализ летных характеристик самолета, заданных заказчиком.
2. Предварительный выбор геометрических параметров самолета, удовлетворяющего ТТТ, условию минимума массы и минимального расхода топлива [13].
3. Расчет аэродинамических характеристик самолета с использованием разработанного аэродинамического блока [10].
4. Расчет летных характеристик самолета с использованием созданного в представленной работе программного блока.
5. Сравнение полученных летных характеристик с заданными и определение характеристик, требующих изменения.
6. Выбор геометрических параметров самолета, влияющих на летные характеристики, требующие изменения. Установление направления изменения выбранных геометрических параметров.
7. Установление значений выбранных параметров и определение геометрических параметров самолета для следующего приближения.

Пункты 3 – 7 выполняют до приемлемого совпадения полученных летных характеристик самолета с заданными.

Метод был воплощен в компьютерную программу, позволяющую рассчитать геометрические параметры самолета, обеспечивающие заданные летные характеристики. В процессе расчетов имеется возможность изменять стреловидность,



удлинение и сужение крыла и оперения, толщину и кривизну профилей, точку положения максимальной толщины и кривизны профилей, схему расположения крыла на фюзеляже, взаимное расположение крыла и оперения, различные средства механизации, использовать оптимизирующую крутку крыла и др.

Схема решения задачи показана на блок-схеме рис. 5.

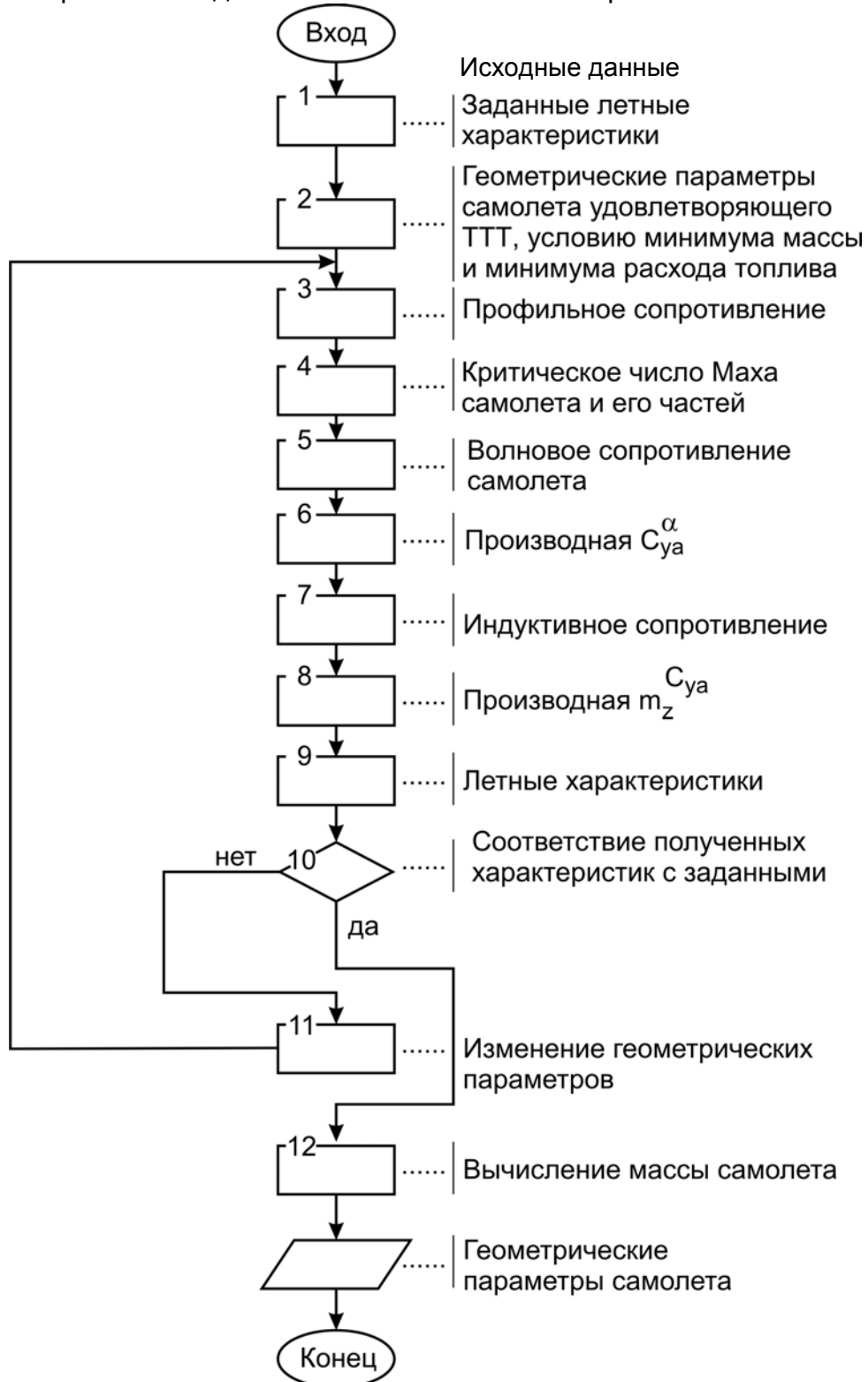


Рис. 5. Блок-схема к программе выбора геометрических параметров самолета

В работе решалась задача определения геометрических параметров дозвукового транспортного самолета, обеспечивающих требуемые летные характеристики, перечисленные в таблице, где представлены результаты расчетов.

Расчеты показали, что на заданные летные характеристики оказывают влияние качество обтекаемых поверхностей, удлинения крыла и эффективные средства механизации.

В процессе расчетов проводили следующие изменения параметров: улучшение качества обтекаемых поверхностей, предложенное в монографии [12]; увеличение удлинения крыла с 9 до 12; применение скользящего щелевого закрылка и автоматического предкрылка; комплексные изменения, включающие в себя все перечисленные изменения. Этого оказалось достаточно для получения нужных результатов.

№	Название параметров	Требуемые параметры	Условие минимума массы	Качество поверхности	Увеличение удлинения крыла	Эффективная механизация	Комплексная модификация
1	Максимальное качество	15	13.9	14.2	14.8	–	15.2
2	Максимальная скорость гор-го установившегося полета, м/с	115	115	115	115	–	115
3	Тяга, соотв. тах скорости, Н	29000	30400	29200	29900	–	28700
4	Крейсерская скорость горизонтального установившегося полета, м/с	109	109	109	109	–	109
5	Минимальная теор. скорость полета, м/с	50	57.4	57.4	57.4	49.7	49.7
6	Минимальная практическая скорость полета, м/с	52	58.9	58.9	58.9	51.0	51.0
7	Скорость отрыва, м/с	57	64.9	64.9	64.9	56.2	56.2
8	Длина разбега, м	200	246	246	247	188	189
9	Длина пробега, м	125	155	155	154	117	117
10	Наивыгоднейшая скорость горизонтального установившегося полета, м/с	160	160	160	160	–	160

Анализ полученных результатов показывает, что по сравнению с самолетом, рассчитанным из условия минимума массы, у модифицированного самолета качество увеличилось на 7%, потребная тяга на максимальной скорости уменьшилась на 6%, минимальные значения теоретической и практической скоростей полета уменьшились на 15%, скорость отрыва уменьшилась на 15%, длины разбега и пробега уменьшились на 30%.

Программа обеспечивает возможность выбора рациональных геометрических параметров и определения наивыгоднейшего сочетания основных геометрических характеристик, обеспечивающих требуемые летные качества проектируемого самолета.

## Выводы

1. Разработан метод определения геометрических параметров и аэродинамической компоновки самолета, обеспечивающих его заданные летные характеристики.
2. Разработаны рекомендации по достижению заданных летных характеристик самолета путем изменения его геометрических параметров.
3. Метод рекомендуется к применению на этапах предварительного проектирования пассажирских и транспортных самолетов.
4. Приведенные результаты будут полезными студентам, выполняющим курсовое и дипломное проектирование, а также специалистам при разработке технического предложения и эскизного проекта.

## Список литературы

1. Аэродинамика и динамика полета магистральных самолетов. – М. – Пекин: Изд. отдел ЦАГИ. АВИА-Издательство, 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. Торенбик Э. Проектирование дозвуковых самолетов. – М.: Машиностроение, 1983. – 648 с.
5. Тюрев В.В. Методы расчета аэродинамических характеристик крыла. – Х.: ХАИ, 1988. – 49 с.
6. Холякко В.И. Расчет аэродинамических характеристик самолета. – Х.: ХАИ, 1991. – 71 с.
7. Семенчин В.А., Захаренко В.А., Чмовж В.В. Аэродинамика и динамика полета. – Х.: Харьк.аэрокосм. ун-т, 2003. – 381 с.
8. Андренко Г.И., Калитиевский Л.Ф. Устойчивость и управляемость самолета в продольном боковом движении. – Х.: ХАИ, 1976. – 85 с.
9. Андренко Г.И. Расчет летных характеристик самолета. –Х.: ХАИ, 1988. -66 с.
10. Определение аэродинамических характеристик транспортного самолета на стадии эскизного проектирования / Н.С. Быцко, Т.А. Гамануха, А.Г. Гребеников и др.// Открытые информационные и компьютерные технологии. – 2006. – Вып. 33. – С. 40 – 52.
11. Василевский Е.Т., Гребеников В.А., Николаенко В.Н. Основные положения воздушного кодекса Украины и норм летной годности самолетов транспортной категории. – Х.: Харьк. аэрокосм. ун-т, 2006. – 332с.
12. Гребеников А.Г. Методология интегрированного проектирования и моделирования сборных самолетных конструкций. – Х.: Харьк. аэрокосм. ун-т, 2006. - 532 с.
13. Основы общего проектирования самолетов с газотурбинными двигателями / Балабуев П.В., Бычков С.А., Гребеников А.Г., Желдоченко и др. – Х.: Харьк. аэрокосм. ун-т, 2003. Ч. 2 – 390 с.

## **Применение дробеударной обработки в авиационной промышленности**

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

### **Введение**

В настоящее время широкое применение в авиастроении находит дробеударная обработка деталей планера современных самолётов в разнообразных технологических процессах их формообразования и упрочнения. Это связано с высокими требованиями к точностным параметрам поверхностей агрегатов, особенно, поверхностей крыльев, а, также к требованиям по ресурсу самолётов – до 80 тысяч часов налёта.

Сущность процесса заключается в том, что поверхность детали обрабатывается потоком быстролетящей дроби, которая при соударении с поверхностью образует в ней на глубине  $h_{пл}$  пластическую остаточную деформацию. При односторонней дробеударной обработке, например, поверхности обшивки крыла самолёта, пластическая остаточная деформация создаёт в поверхностном слое сжимающие остаточные напряжения, которые приводят к изменению формы.

Следует заметить, что изменение формы деталей может иметь как положительное, так и отрицательное значение. При формообразовании деталей дробеударная обработка производится с такой интенсивностью и в таком порядке, чтобы поверхность детали приняла требуемый контур. Для упрочнения поверхности решается другая задача, в этом случае дробеударную обработку детали выполняют так, чтобы форма её не изменилась (не было коробления детали).

Метод дробеударной обработки является достаточно гибким и универсальным инструментом при создании технологических процессов формообразования и упрочнения широкого класса деталей – от небольших болтов до длинномерных монолитных панелей крыльев широкофюзеляжных транспортных самолётов длиной до 30...40 метров.

В данной статье поставлена задача анализа результатов наиболее интересных аналитических и экспериментальных работ в этой области, и представить своё видение в плане применения аналитических и экспериментальных зависимостей при расчётах технологических параметров деталей авиационной техники.

### **Обзор аналитических и экспериментальных работ в области дробеударной обработки**

Изменение формы деталей при дробеударной обработке определяется их геометрическими параметрами и физико-механическими характеристиками материала, а также распределением в поверхностном слое остаточных напряжений, возникающих под воздействием потока дроби на обрабатываемую поверхность. Величина и характер распределения остаточных напряжений определяется характером деформированного состояния поверхностных слоев. Одним из основных вопросов при анализе действия дроби является определение напряженно-деформированного состояния материала по глубине поверхностного слоя.

Исследованию характера напряженно-деформированного состояния посвящён ряд трудов ученых [1, 3, 4, 5] и др. В этих работах проводились аналитические исследования напряженно-деформированного состояния материала при статическом внедрении в него сферического штампа (без учета упрочнения). Получены зависимости контактных напряжений и деформирующего усилия от глубины внедрения штампа. Эта же задача, с учетом упрочнения материала, рассматривалась в работах М. С. Дрозда [3], М. М. Саверина [1], В. А. Смирнова [4, 6] и других авторов, проведены теоретические и экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния поверхностных слоев при динамическом внедрении в материал шариков различного размера.

При аналитическом рассмотрении данного вопроса, наиболее полное решение проведено в работах, проведенных М. С. Дроздом и В. А. Смирновым. Авторы исходят из следующих, достаточно хорошо подтверждаемых многочисленными экспериментами, предпосылок:

а) при достаточно длительной обработке поверхности заготовки дробью в её поверхностных слоях устанавливается однородное деформированное состояние, соответствующее осевой зоне под отпечатком отдельной дробинки;

б) величина и распределение остаточных напряжений целиком определяется установившимся в поверхностных слоях деформированным состоянием. М. С. Дроздом [3] получены следующие зависимости для расчета остаточных напряжений по толщине пластического слоя пластины, подвергнутой дробеударной обработке:

– в области вторичной пластической деформации ( $z \leq h_2$ )

$$\sigma_{ост,x} = -\sigma_T \quad (1)$$

– в области первичной пластической деформации ( $h_2 \leq z \leq h_1$ ):

$$\sigma_{ост,x} = \sigma_T \left( 1 - 2 \frac{h_2^3}{z^3} \right) \quad (2)$$

– в области упругих деформаций ( $z \geq h_1$ ):

$$\sigma_{ост,x} = \sigma_T \frac{h_1^3}{z^3} \left( 1 - 2 \frac{h_2^3}{h_1^3} \right), \quad (3)$$

где -  $h_1$  и  $h_2$ , соответственно, глубина области первичной и вторичной пластической деформации;

$\sigma_T$  - предел текучести материала;

$\sigma_{ост,x}$  - остаточные напряжения в пластически деформированном слое.

В этой работе установлено, что область вторичной пластической деформации распространяется примерно на одну треть толщины пластически деформированного слоя. Сжатым является не весь слой материала, который при обработке дробью оказался пластически деформированным, а только 0,69 его глубины.

В. А. Смирновым [6] предложены следующие зависимости величины остаточных напряжений от остаточных деформаций поверхностных слоев:

– в области упругих деформаций:

$$\sigma_{ост,x} = -\mu E_{II} \varepsilon_x \quad (4)$$

– в области пластических деформаций

$$\sigma_{ост,x} = -\mu K_{II} \varepsilon_x^n \quad (5)$$

где  $E_{II}$ ,  $K_{II}$  – приведенные модули, оцениваемые через соответствующие линейные модули соотношениями:

$$E_n = \frac{E}{1-\mu^2} \text{ и } K_n = \left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right)^{(1+n)} E. \quad (6)$$

Распределение остаточных деформаций сжатия по толщине пластически деформированного слоя рекомендуется определять по следующим формулам в зависимости от отношения диаметра отпечатка дроби (D) к её диаметру (d) и от угла ( $\alpha$ ) обдужки поверхности дробью:

– при  $\frac{d}{D} \leq 0,1$   $\varepsilon_x = -2 \frac{h}{h_{пл}} \left(1 - \frac{z}{h_{пл}}\right)$  (7)

– при  $\frac{d}{D} > 0,1$   $\alpha \leq 45^\circ$   $\varepsilon_x = -c \frac{h}{h_{пл}} e^{-c \frac{z}{h_{пл}}}$  (8)

– при  $\frac{d}{D} > 0,1$   $\alpha \geq 45^\circ$   $\varepsilon_x = -Ae^{-C \left(\frac{z}{h_{пл}} - \frac{z_{max}}{h_{пл}}\right)}$  (9)

Для расчета напряжений по формулам (1 - 3) и (4 - 5) необходимо определить диаметр и глубину остаточного отпечатка, а затем глубину поверхностного пластически деформированного слоя.

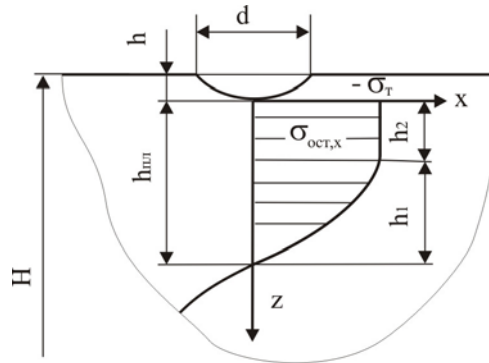


Рис. 1. Эпюра остаточных деформаций по толщине пластически деформированного слоя под отпечатком дроби

Зная закон распределения остаточных напряжений по глубине пластически деформированного слоя, определяют усилия, деформирующие заготовку, их значения находят интегрированием эпюры остаточных напряжений по глубине пластически деформированного слоя:

– величина растягивающей силы на единицу параметра

$$P = \int_{h_{пл}} \sigma_x dz; \quad (10)$$

– величина изгибающего момента на единицу параметра

$$M = \int_{h_{пл}} \sigma_x \left(\frac{H}{2} - z\right) dz; \quad (11)$$

где H – толщина пластины.

Расчитанные внутренние усилия играют роль внешних нагрузок для пластически недеформированной части сечения заготовки. Общий случай пластического деформирования пластин под действием сил и моментов рассмотрен А. А. Ильюшиным. Однако полученные уравнения равновесия весьма сложны и содержат неизвестных больше, чем имеется уравнений, поэтому решение их с использова-

нием уравнений связи и совместности деформаций возможно лишь для некоторых частных случаев.

Вопросу определения характера формоизменения обработанной дробью пластины от действующих на нее усилий посвящены работы М. С. Дрозда [3], М. М. Саверина [1], В. А. Смирнова [6], Ю.В. Шевнюка [7] и др.

В случае равномерной обработки дробью плоской пластинки М. М. Савериним [1] для расчета радиуса кривизны использовано уравнение для чистого изгиба пластины, деформируемой внешним равномерно распределенным моментом.

$$R_{ост} = \frac{E(H - h_{пл})^3}{12(1 - \mu)} \frac{1}{M} \quad (12)$$

где  $E$  - модуль, упругости материала;

$R_{ост}$  - остаточная кривизна;

$\mu$  - коэффициент Пуассона.

При расчете радиуса кривизны пластины с различной жесткостью в направлении осей  $XU$  используют формулу, учитывающую приведенную жесткость заготовки:

$$R_{ост} = \frac{D_{пр}}{M_{изг}}, \quad (13)$$

где:

$$D_{пр} = \frac{D_x D_y (1 - \mu^2)}{D_y - \mu D_x} \quad \text{– приведенная цилиндрическая жесткость;}$$

$$D_x = \frac{E H_x^3}{12(1 - \mu^2)}, \quad \text{– цилиндрическая жесткость пластины в направлении } XU, \text{ соответственно.}$$

$$D_y = \frac{E H_y^3}{12(1 - \mu^2)}$$

Изгибающий момент определяется с учетом степени насыщения обрабатываемой поверхности отпечатками

$$M_{изг} = s P_{пл} \frac{H - h_{пл}}{2}, \quad (14)$$

где  $s$  – степень насыщения процесса обработки;

$P_{пл}$  – величина усилия, развиваемого при обработке дробью, в режиме полного насыщения.

Исходя из опыта проектирования монолитных панелей (обшивок) крыла, подлежащих формообразованию дробью, очень важно иметь простые формулы для оценки технологических параметров, например, остаточного радиуса кривизны после дробеударной обработки. Поэтому мы рекомендуем в инженерных расчетах использовать упрощенную методику для остаточного радиуса, основанную на следующих допущениях:

а) в поверхностном пластически деформированном слое остаточные напряжения равны напряжениям текучести материала  $\sigma_{x,ост} = -\sigma_T$ ;

б) усилия, развиваемые в пластическом слое, рассматриваются как внешние;

с) цилиндрическая жесткость пластины толщиной  $H$  примерно равна -  $D \approx \frac{E H_x^3}{12}$ .

На рис. 1. представлены эпюры напряжений в плоскости  $ZX$  пластины толщиной  $H$ . под воздействием напряжений  $\sigma_T$  пластина.

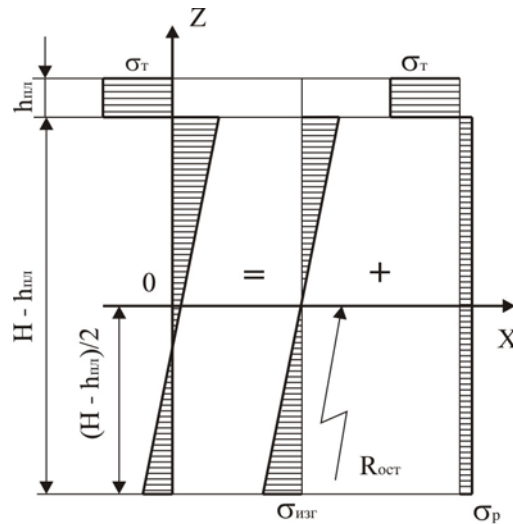


Рис. 2. Эпюры напряжений в пластине

Изгибающий момент на единицу ширины пластины (см. рис.1), возникающий в поверхностном пластически деформированном слое, и максимально возможный остаточный радиус, соответственно, равны

$$M_{изг} = s\sigma_{т}h_{пл}\frac{H}{2}, \quad (15)$$

$$R_{ост} = \frac{D}{M_{изг}} = \frac{1}{6} \frac{EH^2}{s\sigma_{т}\left(1 - \frac{h_{пл}}{H}\right)}. \quad (16)$$

Заметим, что при дробеударной обработке поверхности ребристых монолитных панелей, изгиб происходит вдоль направления рёбер жесткости (плоскость изгиба перпендикулярна рёбрам жесткости). Это связано с тем, что изгибная жёсткость панели поперек рёбер во много раз больше изгибной жесткости панели вдоль рёбер.

Для определения режимов дробеударной обработки, обеспечивающих заданную кривизну монолитных панелей, В.Н. Крысиным предложены эмпирические зависимости прогиба панели как функции диаметра сопла  $\Phi$  и диаметра жиклера  $\phi_{ж}$  дробеструйного аппарата, положением питательного клапана  $S_{п.к.}$ , расстояния сопла от поверхности полотна  $L$ , жесткости панели  $J$ , давления воздуха в аппарате  $P$ , времени обработки  $t$ , диаметра  $d_d$  и количества дроби в бункере  $Q$ :

$$f_o = f(L, \Phi, \phi_{ж}, S_{п.к.}, J, \mu, P, t, d_d, Q, K). \quad (17)$$

В. А. Смирновым [6] исследован процесс дробеударного формообразования панелей с учетом формы изгиба, а, следовательно, и сложности напряженного состояния. Им получены зависимости кривизны изгиба и силовых факторов процесса, по которым графоаналитическим методом можно определить относительную кривизну нейтрального слоя обработанной дробью панели. В работе [4] предложена следующая зависимость для выбора режимов обработки, обеспечивающих заданную кривизну панели:

$$\frac{d}{D} = \left[1 + B_y(n_y - 1)^{n_y}\right] \cdot \left[\frac{2\rho v^2 \frac{n_d + 2}{H_{дин}}}{3g}\right]^{\frac{1}{n_d + 2}} \quad (18)$$

где  $d, D$  – диаметры отпечатка и дроби;  
 $H_{дин}$  – истинная динамическая твердость;



$n_d$  – показатель динамического упрочнения;  
 $B_y, m_y$  – постоянные, характеризующие сопротивление материала повторному нагружению;

$n_y$  – количество ударов дроби, приходящееся на ранее обработанные участки;

$\rho$  – плотность материала;

$g$  – ускорение силы тяжести;

$V$  – скорость дроби.

Для  $n_y$  предложена расчетная формула:

$$n_y = \sum_L q_i \frac{\pi d^2 L_i}{4 S} \quad (19)$$

где:  $q_i$  – удельная плотность дробеструйного потока;

$L_i$  – ширина дробеструйного потока в направлении подачи;

$v$  – скорость перемещения сопла относительно обрабатываемой поверхности.

Для определения режимов обработки (диаметра дроби, давления воздуха и скорости перемещения сопла) построены номограммы.

Использование полученных зависимостей при практическом применении дробеударного формообразования крупногабаритных панелей довольно затруднительно. Определение режимов обработки должно проводиться с учетом специфики каждой применяемой установки, управляемых параметров и т.д. Например, у многих типов установок не удастся разделить управление расходом и скоростью дроби, так как увеличение скорости дроби увеличивает и её расход при неизменном положении расходного клапана. Поэтому, несмотря на полученные зависимости, процесс формообразования ведут, как рекомендуют, методом проб с постоянным контролем кривизны панелей шаблонами. Формообразование монолитных панелей, как правило, рассчитано на высокую квалификацию оператора и ручную обработку, поэтому необходимо применять высокопроизводительное оборудование с ЧПУ.

Исходя из накопленного производственного опыта, одним из эффективных способов интенсификации дробеударного формообразования является создание предварительного напряженного состояния детали. Формообразование в напряженном состоянии позволяет повысить стабильность процесса, снизить интенсивность обработки, улучшить качество поверхности, расширить пределы толщин формируемых панелей, производить формообразование панелей сложной формы без резкого изменения интенсивности обработки. Исследование обработки дробью пластин в напряженном состоянии проводилось, в основном, при наклепе рессорных листов [8]. Исследования доказали, что наклеп в напряженном состоянии повышает долговечность рессор, в 2,5 - 4 раза по сравнению с наклепом в свободном состоянии, в 1,8 раза повышается коррозионная усталость, при этом снижается вес рессор на 23-24 % и трудоемкость их изготовления на 23-45% [7].

### **Оборудование для формообразования и упрочнения деталей авиационной техники**

Для выполнения процессов формообразования и упрочнения дробью применяются дробеструйные и дробеметные установки. Установки различаются источником кинетической энергии: струя газа или лопасти быстро вращающегося ротора.

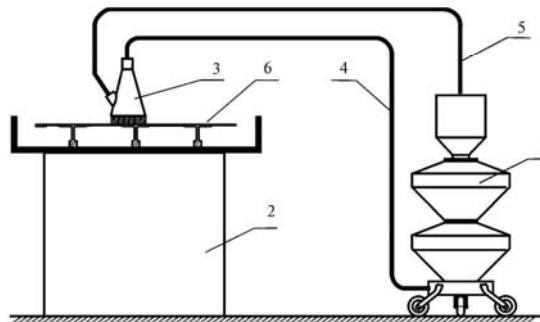
Для общего упрочнения деталей авиационной техники, как правило, применяется стационарная установка типа ДОК-1, представляющая собой закрытую камеру. Внутри камеры находится оператор в защитном скафандре, который вруч-

ную упрочняет поверхность деталей по специальным режимам. В конструкции камеры предусмотрена щель, что позволяет производить обработку деталей, практически неограниченной длины.

Установка БДУ-Э2М (см. Рис. 3.) применяется как для упрочнения, так и формообразования монолитных панелей. Она работает с замкнутой циркуляцией дроби, смонтирована на тележке, что позволяет перемещаться вдоль обрабатываемой детали.



а)



б)

Рис. 3. а) - формообразование монолитной панели крыла на дробеударной установке БДУ-Э2М;

б) - принципиальная схема установки;

- 1 - общий вид установки; 2 - рабочий стол;
- 3 - дробеударная головка; 4 - рукав подачи дроби;
- 5 - рукав для отсоса дроби; 6 - панель.

Деформирующим элементом в обеих установках является стальная дробь диаметром 0,6 – 1,2 мм.

Для упрочнения и формообразования также применяется установка с ЧПУ УДП-2-1,5 (см. Рис. 4.), которая представляет собой щелевую камеру, внутри которой расположены, как правило, несколько дробеметных головок (с одной или с обеих сторон). Характерной особенностью установки является возможность совмещения процессов упрочнения и формообразования панелей в программном режиме.

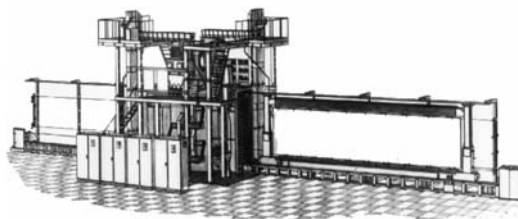


Рис. 4. Установка с ЧПУ для формообразования и упрочнения монолитных панелей УДП-2-1,5.

Для формообразования монолитных панелей повышенной жёсткости двойной кривизны применяется установка УДФ-2 (см. Рис. 5.), с формующей дробью диаметром 3 – 4 мм.

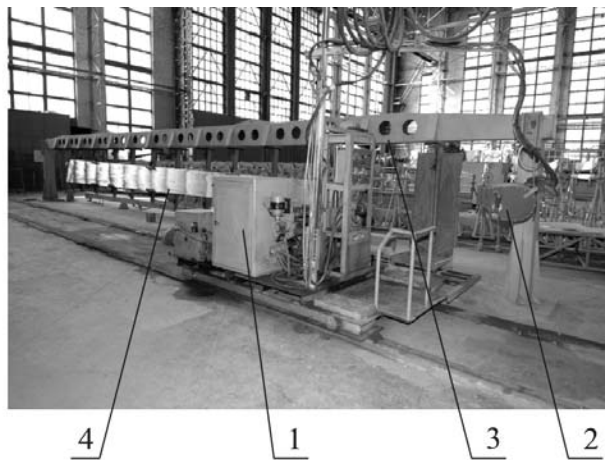


Рис. 5. Установка для формообразования монолитных панелей дробеударной обработкой УДФ-2:  
1 - подвижный агрегат; 2 - дробеметная головка;  
3 - рама; 4 - монолитная панель.

Из всех методов упрочняющей обработки дробью, дробеметное оборудование наиболее производительное и экономичное. Однако дробеструйный метод более универсален, позволяет производить обработку локальных зон.

Специфика упрочнения местным пневмодинамическим наклепом (ПДН), обусловленная созданием локальных остаточных напряжений, определяет создание специальных камер. На Рис. 6 показано упрочнение локальных зон законцовки монолитной панели.

Местная камера создает ограниченный объем, в котором хаотически движется дробь под воздействием сжатого воздуха 3-5 кПа. Отражаясь от стенок камеры, дробь соударяется с обрабатываемой поверхностью.

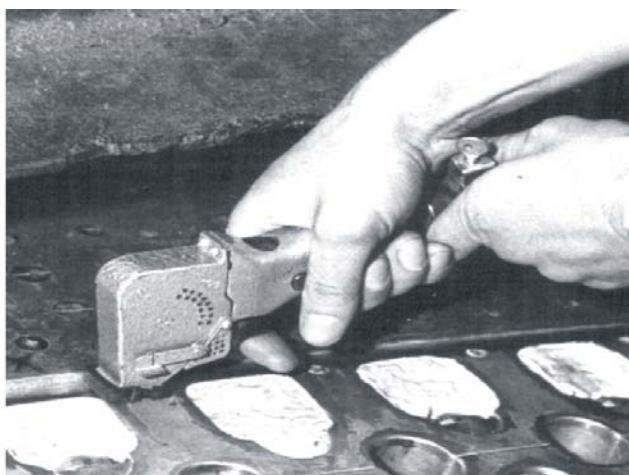


Рис. 6. Упрочнение местным ПДН радиусной зоны монолитной панели крыла

Процесс местного ПДН довольно трудоемкий и малопроизводительный, однако в ряде случаев позволяет снизить затраты, когда есть необходимость упрочнения небольшой критической зоны, а так же является незаменимым при сборке или в процессе проведения ремонтных работ. В качестве рабочей среды используется стальная и алюминиевая дробь диаметром 3 - 4 мм.

### **Выводы**

1. Анализ аналитических и экспериментальных работ в области дробеударной обработки показывает, что методы расчёта технологических параметров очень громоздкие.
2. Для расчёта параметров упрочнения целесообразно использовать методы с использованием опытных образцов (пластин Алмена).
3. Рекомендована формула для оценки остаточного радиуса кривизны при максимальном изгибающем моменте от сил, возникающих при дробеударной обработке пластин, ребристых монолитных панелей.
4. Формообразование и упрочнение монолитных панелей целесообразно выполнять на оборудовании с ЧПУ.

### **Список литературы**

1. Саверин М. М. Дробеструйный наклеп. Теоретические основы и практика применения. – М.: Машгиз, 1955. – 312 с.
2. Димитренко О. В., Мякотин А. Д. Анализ способов изменения остаточных напряжений в поверхностных слоях пластин. – «Авиационная промышленность», 1972, №9, с. 51-54.
3. Дрозд М. С. Глубина наклепанного слоя при дробеструйной обработке деталей – сб. «Вестник машиностроения», 1955, п.5, с.48-50.
4. Смирнов В. А. Аналитическое определение остаточных напряжений и деформаций в процессе обработки деталей. – «Известия ВУЗов. Машиностроение», 1977, №1, с. 150-155.
5. Соколовский В. В. Теория пластичности. – М.: Высшая школа, 1969, – 608 с.
6. Смирнов В. А. , Лысов М. И. Определение параметров процесса дробеударного формообразования. – В сб.: «Труды Казанского авиационного института», 1973, №159, с. 17-19.
7. Карасев Н. А. Наклеп дробью деталей, находящихся в напряженном состоянии. М., 1955, – 18с.

## Зносостійкість трибологічних систем типу ”конструкційна сталь - кольоровий сплав”

*Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба*

Дослідження зносостійкості трибологічних систем типу “конструкційна сталь-кольоровий сплав”, що широко застосовуються в конструкції дизельних двигунів, - важлива народногосподарча та науково-технічна проблема. Метою цієї роботи є експериментальне дослідження таких трибосистем на прикладі деталей дизельних двигунів авіаційної наземної техніки (АНТ).

В рамках госпдоговору №32/389 від 01.04.05 року між Харківським університетом Повітряних Сил (ХУПС) та Харківський машинобудівний завод “Світло шахтаря” було проведено експериментальне дослідження інтенсивності зношування пар тертя “шип колінчастого валу - вкладиш опори ковзання”.

Аналіз конструктивних вирішень колінчастих валів всієї номенклатури дизелів АНТ дозволив виділити дизельний двигун В-46-6 як найбільш типовий представник цього виду дизелів. Конструкція передньої та задньої частин колінчастого валу двигуна В-46-6 № УОЗ АТ-5645 показана на рис. 1. Тут визначальною парою тертя є пара 6-12, тобто “шип колінчастого валу - вкладиш опори ковзання”. Матеріали пар тертя наведені в табл.1.

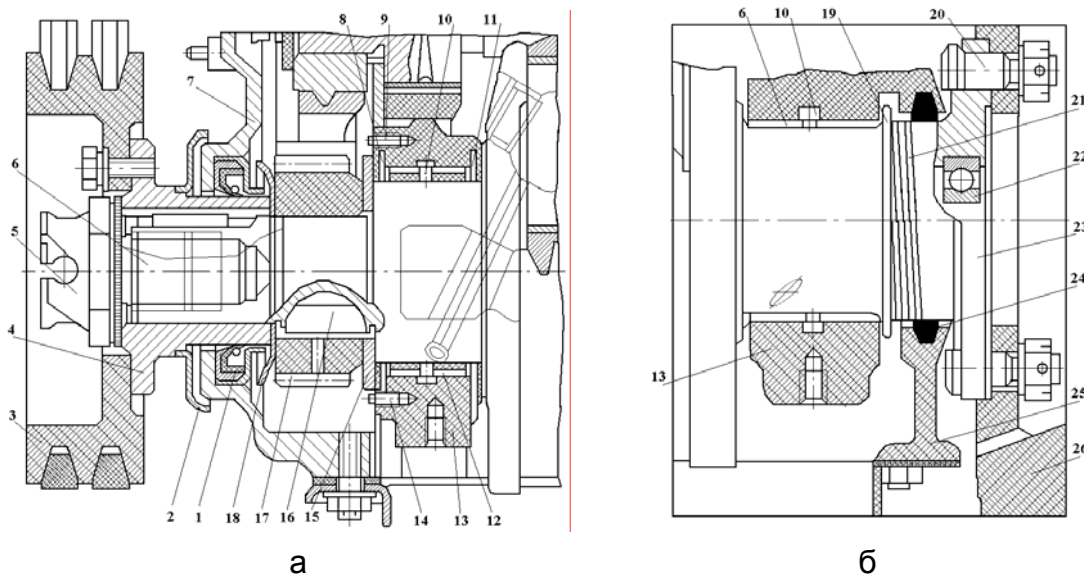


Рис. 1. Частина колінчастого валу двигуна В-46-6 № УОЗ АТ-5645:  
а) - упорний підшипник з ущільненням; б) - ущільнення задньої частини; 1 - самопіджимна манжета; 2 - пиловідсікач; 3 - шків привода вентилятора і генератора; 4 - ступиця; 5 - храповик; 6 - колінчастий вал; 7 - кришка блоку зубчастих коліс; 8 - передня нерухома шайба; 9 і 14 - штифти; 10 - блок циліндрів; 11 - задня нерухома шайба; 12 - вкладиш; 13 - кришка підшипника; 15 - упорна оберտальна шайба; 16 - шпонка; 17 - розподільче зубчасте колесо; 18 - мастиловідсікач; 19 - мастиловідсікаючий гребінь; 20 - болт кріплення маховика; 21 - мастилозгінна різьба; 22 - кулькопідшипник ведучого валу коробки передач; 23 - фланець; 24 - ущільнювальне кільце; 25 - утримувач манжети; 26 - маховик

Інтенсивність зношування  $J_h$  пари тертя є об'єктивним показником процесу її зношування і може бути зовнішнім чинником впливу на процес діагностування за логістичною схемою [1, 2]. Крім того [3, 4], зношування відповідальної пари тертя є визначальним для загальної працездатності  $S(n)$  на першому етапі напрацювання на ресурс.

Із табл. 1 визначено загальну кількість експериментальних пар тертя: взято 6 базових моделей двигунів АНТ, для статистики кожна пара випробується тричі, крім того, дослідження велось у двох середовищах: повітряному та в середовищі мастила Галол М-4042 ТД. Всього було випробувано 36 пар тертя.

Таблиця 1

Матеріали пар тертя “шип колінчастого валу - вкладиш опори ковзання”

№ з/п	Дизель АНТ	Матеріал		Твердість	
		шип колінчастого валу, ДСТУ	вкладиш опори ковзання, ДСТУ	шип колінчастого валу, HRC	вкладиш опори ковзання, HB
1	В-46-6	Сталь 45 ДСТУ 4543-94	Алюмінієвий антифрикційний сплав А020-1 ДСТУ 141113-95	54...64	58...68
2	КамАЗ-740.10 V-8	Сталь 40 ДСТУ 4543-94	Алюмінієвий антифрикційний сплав АСМ ДСТУ 141113-95	54...64	83...93
3	ЯМЗ-236М V-6	Сталь 50 ДСТУ 1050-94	Бронза олов'яна дефор. Бр.ОЦС 4-4-4 ДСТУ 5017-95	32...62	68...88
4	ЯМЗ-238М V-6	Сталь 45Г2 ДСТУ 4543-94	Бронза свинцевиста Бр.С30 ДСТУ 493-95	52...62	25...30
5	Д-12	Сталь 45 ДСТУ 1050-94	Бронза литв'яна олов'яна Бр.О10С10 ДСТУ 613-95	52...62	74...84
6	ЗМЗ-53-11 V-8	Чавун високоміцний ЧХЗТ ДСТУ 7769-94	Алюмінієвий антифрикційний сплав А06-1 ДСТУ 141113-95	≈ 50	49...58

Із рекомендацій [5, 6], як перспективна, була прийнята пара 40ХНМА ДСТУ 4543-94 - АСМ ДСТУ 14113-95, тому було випробувано ще 6 дослідних пар із перспективних матеріалів. Загальна кількість випробуваних пар складає 42. Дослідні зразки виготовлялись в лабораторії надійності та довговічності СКБ ВАТ ХМЗ “Світло шахтаря” із відповідних матеріалів схеми “диск – колодка”. Методика дослідження зносостійкості дослідних зразків та конструкторсько - технологічні параметри зразків відповідали ДСТ 30480-97 [2]. Тиск та швидкість ковзання визначались середньостатистичними даними для дизелів АНТ і відповідними фіксованими значеннями 1 МПа та 0,63 м/с.

Трибологічні дослідження проводились на машині тертя 2070 СМТ-1 при ковзанні за схемою “диск-колодка”, яка найбільш точно імітує опори ковзання. Для подачі робочої рідини в зону тертя виготовлена ємність об’ємом 200 мл. Мащення здійснювалось методом занурення рухомої деталі в мастило Галол М-4042 ТД.

Температура тертя вимірювалась з поверхні рухомої деталі на виході з контакту хромель-копелевою термопарою ХК-7, що являє спай хромель-копелевого дроту на мідній пластині. Заміри температури здійснювались приладом Щ-3340 після попередньої тарировки термопари. Заміри вагового зносу проводились на лабораторних терезах ВЛР-200 по ТУ 25-06.1131-79.

З метою автоматизації реєстрації процесу зношування у реальному масштабі часу на кафедрі ремонту та експлуатації авіаційної техніки ХУПС при безпосередній участі авторів створено автоматизовану систему трибодіагностики, що базується на методі АЕ випромінювання [7, 8]. Вона складається із пристрою для безупинної реєстрації геометрії зразків, що випробуються на тертя та знос, яким дообладнується машина тертя 2070 СМТ-1, приладу реєстрації параметрів акустичної емісії АЕ-109М та реєстраторів Н306 і Н307.

Прилад АЕ-109М дозволяє реєструвати та ідентифікувати процеси, що протікають на поверхнях тертя у реальному масштабі часу, а пристрій реєстрації зміни геометрії зразків без зупинки випробувань показує, наскільки вони зросли чи знизилися. Ключовим питанням при розробці цієї автоматизованої системи був обґрунтований вибір критерію акустико-емісійного випромінювання, що точно враховує зв'язок процесів руйнування зі структурою поверхонь тертя. Проаналізуємо АЕ, що виникає при поверхневому руйнуванні матеріалів при терті.

Потік акустичної енергії від безлічі елементарних джерел створює в точці закріплення п'єзоперетворювача  $P$  поле з повною амплітудою  $A$ , що виникає в результаті суперпозиції великого числа елементарних сферичних хвиль з амплітудами  $A_n$  і фазами  $\varphi_n$  від елементарних джерел  $\Delta S$  при їхньому зрізі

$$A(P) = \sum A_n(P) \exp(i\varphi_n(P)),$$

де  $A(P)$  - амплітуда АЕ в точці закріплення п'єзоперетворювача  $P$ ;  $\varphi_n(P)$  - фаза  $n$ -ї хвилі джерела  $\Delta S$ . Фаза  $\varphi_n(x_n, t)$  залежить від відстані  $x_n$  до джерела і від частоти  $\omega$ .

Як відомо [7, 9], для випадку негармонійних хвиль інтерференційна картина цілком відсутня, а середнє значення щільності енергії виявляється пропорційним сумі квадратів амплітуд складових хвиль, тобто має місце енергетичне додавання хвиль. При порушенні в середовищі одночасно безлічі хвиль від елементарних джерел вони не поширюються незалежно, а породжують нові хвилі комбінаційного типу, частоти яких дорівнюють сумі і різниці частот вихідних хвиль. Таким чином, випромінювання виявляється у виді акустичних коливань з широким частотним спектром. Ефективність оцінки інтенсивності зношування по параметрах АЕ, в значній мірі, визначається обґрунтованістю їхнього вибору для стаціонарних і нестаціонарних режимів роботи трибоспряжень. Зміна амплітуди сигналів АЕ  $X(t)$  має випадковий характер і надалі може бути задана як функція дійсної перемінної  $t$ . Припустимо, що середнє значення інтенсивності сигналу, що пропорційно  $|X|^2$  прагне до скінченої величини, коли інтервал, по якому проводиться усереднення, є нескінченним. Тоді ліміт

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \times \int_{-T}^T |X(t)|^2 dt -$$

кінцевий. Якщо при цьому ліміт не дорівнює нулю, то очевидно, що інтеграл розходиться. Для того, щоб у даному виразі можна було використовувати методи спектрального аналізу, введемо поняття обрізної функції  $X_T(t)$ :  $X_T(t) = X(t)$ , якщо  $|t| \leq T$ ;  $X_T(t) = 0$ , якщо  $|t| > T$ .

Оскільки, при будь-яких значеннях  $T$  функція  $X_m$  є квадратично інтегруємою, можна визначити відповідний Фур'є-образ

$$X_T(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} X_T(t) \exp(i\omega t) dt = \int_{-T}^T X(t) \exp(i\omega t) dt.$$

Вважаємо, що функція  $X(t)$  належить ансамблю функцій за результатами безлічі вимірів, що характеризують статистичні властивості процесу поверхневого руйнування. Якщо розглянутий процес є стаціонарним і ергодичним, то автокореляційна функція  $G(\tau)$  для сигналу  $X(t)$  визначається виразом

$$G(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T X(t) X(t+\tau) dt.$$

Спектральна функція  $W(\omega)$  сигналу  $X(t)$  визначається як Фур'є-образ автокореляційної функції  $G(\tau)$  і записується у виді

$$W(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} G(\tau) \exp(i\omega\tau) d\tau.$$

Існує зворотнє перетворення

$$G(\tau) = \frac{1}{2T} \int_{-\infty}^{\infty} W(\omega) \exp(i\omega\tau) d\omega. \quad (1)$$

З цього виразу при  $\tau = 0$  одержуємо, що

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T |X(t)|^2 dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} W(\omega) d\omega. \Rightarrow W(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} E \left\{ \frac{|X_T(\omega)|^2}{2T} \right\}, \quad (2)$$

де оператором  $E$  позначимо середнє по ансамблю статичної перемінної

$$\left[ \frac{X_T(\omega)^2}{2T} \right].$$

З виразів (1) і (2) очевидно, що функція  $W(\omega)$  є спектром потужності сигналу  $X(t)$  і являє собою відношення квадрата модуля Фур'є-образа  $X(t)$  сигналу до інтервалу часу  $2T$ , протягом якого вимірюється сигнал. При цьому вираз (2) показує, що середня інтенсивність зношування  $J_h$  за інтервал часу  $2T$  буде корелювати зі значенням інтеграла від спектра потужності сигналів АЕ, збудження яких обумовлене процесами поверхневого руйнування при терті. Цей висновок знайшов своє підтвердження в аналізі експериментальних досліджень, викладених у роботі [8], як для стаціонарних, так, за певних умов, і для нестаціонарних режимів роботи трибосистеми.

Дійсно, оскільки нестаціонарний процес характерний тим, що має визначену тенденцію розвитку в часі, то характеристики такого процесу залежать від початку



відліку і від часу. Однак, для кожного нестационарного процесу існують відрізки часу, у межах яких з відомим наближенням даний процес може вважатися стаціонарним і ергодичним.

Таким чином, змінюючи інтервал інтегрування (задаючи досить малий інтервал) при вимірі спектральної потужності АЕ, можливе вивчення процесів поверхневого руйнування на етапі прироблення вузлів тертя.

Випадкова функція  $X(t)$  може вважатися по визначенню стаціонарною, якщо всі її імовірнісні характеристики не міняються при будь-якому зрушенні аргументів, від яких вони залежать, по осі  $t$ . Однак, одна з основних умов, якій повинна задовольняти випадкова стаціонарна функція - це умова сталості дисперсії:  $D_x(t) = D_x = \text{const}$  [10].

Стосовно до акустичного випромінювання сталість дисперсії зміни спектральної потужності сигналів АЕ є достатньою умовою стаціонарності процесу поверхневого руйнування, що є джерелом АЕ. Відповідно до теореми про дисперсію лінійної функції випадкових некорельованих величин [6, 9], дисперсія стаціонарної випадкової функції дорівнює сумі дисперсій усіх гармонік її спектрального розкладання. Розіб'ємо частотний діапазон реєстрації сигналів АЕ на ділянки. Позначимо відстань між сусідніми ділянками  $\Delta\omega$ . Виміряємо дисперсії зміни спектральної потужності сигналів АЕ на кожній ділянці і побудуємо діаграму, висота якої на кожній ділянці  $\Delta\omega$  дорівнює  $S_x(W_\omega) = \frac{D_x}{\Delta\omega}$ , і представляє середню щільність дисперсії на цій ділянці.

Якщо необмежено зменшувати інтервал  $\Delta\omega \rightarrow 0$ , то східчаста діаграма необмежено наближається до плавної кривої  $S_x(W_\omega)$ , що представляється як спільний амплітудно-часовий розподіл. По цій характеристиці, очевидно, з великою вірогідністю можна судити про кінетику протікання процесу поверхневого руйнування, пов'язаного зі зміною структури поверхневих шарів, що є невід'ємною складовою процесу прироблення фрикційних вузлів.

З урахуванням вищевикладеного, принципово важливим при реєстрації процесів зношування є обґрунтований вибір інтервалу часу реєстрації спектральної потужності сигналів АЕ. Проведений теоретичний аналіз акустичного емісійного випромінювання послужив основою для розробки принципово нового

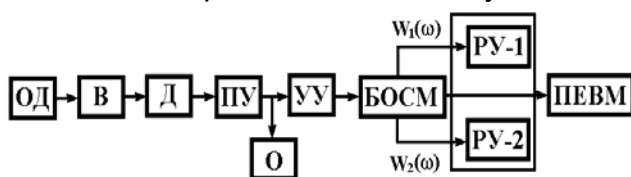


Рис. 2. Блок-схема приладу АЕ - 109М

акустичного емісійного приладу АЕ-109М для вивчення процесів тертя і зношування, що є складовою частиною автоматизованої системи контролю процесів тертя і зношування (рис. 2).

Акустичні хвилі, утворені процесами поверхневого зносу в об'єкті діагностування (ОД) сприймаються через хвилевід (В) датчиком (Д) (пієзоелектричним перетворювачем). Електричні сигнали від датчика (Д) підсилюються попереднім підсилювачем (ПУ) і для візуалізації надходять на осцилограф (О). Після попереднього посилення сигнал АЕ фільтрується, підсилюється в підсилювальному пристрої (УУ) і надходить на блок обробки спектральної потужності (БОСМ), інтегрально-логічна схема якого формує сигнал по двох рівнях квантування - за часом реєстрації  $W_1(\omega)$  і за рівнем спектральної потужності АЕ  $W_2(\omega)$ . Сигнали спектральної потужності надходять на пристрої (ПУ-1) і (ПУ-2) (самописці Н306), а для детального аналізу - на ПЕОМ.

На виході першого каналу приладу видається сигнал спектральної

потужності з інтервалом реєстрації  $2T$  для реєстрації швидкоплинних процесів поверхневого руйнування. Динамічний діапазон зміни сигналу необмежений. Причому, електрична схема інтегратора побудована таким чином, що поки сигнал видається на реєстратор, відбувається підсумовування спектральної потужності  $W(\omega)$  за наступний інтервал  $2T$ , і наступний сигнал надходить на реєстратор у виді постійної напруги, що може дорівнювати, бути більше чи менше вихідної. Таким чином, це дає можливість реєстрації сигналу у всьому діапазоні зміни величин зносу, причому адаптувавши його практично до всіх пристроїв, що реєструють (самописці, графобудівники, ЕОМ і т.п.).

По другому каналу відбувається інтегрування  $W(\omega)$  до заздалегідь заданої величини досягнення граничного значення спектральної потужності з можливістю зменшення в пропорціях 1/10, 1/100. Спостереження зміни сигналу по цьому каналу дозволяє візуально оцінити динаміку процесу зношування трибоспряження на сталих режимах.

Обидва сигнали вимірюються в частотному діапазоні не більш 2 кГц. Таким чином, створюються умови для найпростішого й ефективного введення сигналу критеріальної оцінки поверхневого руйнування в ПЕОМ із використанням звукової карти. Обробка сигналів  $W(\omega)$  проводиться за допомогою програмного забезпечення "Spectrlab", що дозволяє: робити аналого-цифрове перетворення (перетворення Фур'є) і запис сигналу; виконувати цифрове фільтрування, усереднення і пікове захоплення сигналу; спостерігати дисперсію записаного сигналу в координатах "спектральна потужність - час набору квантового рівня"; документувати отримані результати. Застосування даної автоматизованої системи при проведенні трибологічних досліджень підвищує вірогідність і об'єктивність результатів, а також створює передумови для розробки ефективних засобів трибодіагностики складних технічних систем у різних областях машинобудування.

Аналізуючи визначений цикл квантування сигналу спектральної потужності, слід зазначити, що тангенс кута між лінією набору квантового рівня і відрізком часу його набору характеризує інтенсивність зношування трибоспряження за час набору квантового рівня (тому що є відношенням величини сумарного зносу  $J_{h\Sigma}$  за час роботи трибоспряження  $t$  до кількості набраних за цей же період квантових рівнів  $z_{кв}$ ) 
$$I_{кв} = \frac{J_{h\Sigma}}{z_{кв}} .$$

Маючи повний запис діаграми зміни спектральної потужності за час випробувань і значенням  $J_{кв}$ , можна з високою точністю визначати динаміку процесів зношування трибоспряження на будь-якій ділянці його роботи і за весь період у цілому. Високочастотний широкосмуговий сигнал акустичної емісії, що реєструють при зношуванні третьових тіл, перетворюється в низькочастотний зі збереженням у ньому статистичних характеристик.

Важливим питанням реєстрації акустичного випромінювання при терті є питання отримання надійної і достовірної інформації. Це залежить від методів виділення корисного сигналу на фоні супроводжуючого його шуму. Зовнішні перешкоди при реєстрації АЕ при терті обумовлені електромагнітними діями безпосередньо на елементи електронної апаратури і перетворювачі сигналів АЕ, а також акустичними і механічними діями, що заважають, як на об'єкт дослідження, так і на перетворювачі сигналів АЕ. Наявність різного роду перешкод значно ускладнює виділення корисної інформації. Погіршість, що з'являється, як при встановленні самого факту наявності сигналів, так і при

визначенні значень вибраних діагностичних параметрів, має принципове значення при діагностиці і контролі працездатності пар тертя об'ємних гідромашин.

Найпростішим способом виділення сигналів АЕ, реалізованому в приладі АЕ-109М, є амплітудна дискримінація. Перед проведенням експерименту необхідно регулюванням рівня дискримінації добитися того, щоб прилад не реєстрував сигнали шумів, і підтримувати рівень дискримінації постійним під час всієї серії експериментів. Аналіз робіт показав великий розкид значень одних і тих же параметрів АЕ, отриманих за одних і тих же умов експерименту. Тому для оцінки ефективності і відпрацювання рекомендацій по застосуванню вибраних діагностичних параметрів акустичної емісії (дисперсії зміни амплітуди АЕ і спектральної потужності АЕ) проводилася адаптація системи “об'єкт дослідження – прилад” до впливу зміни рівня амплітудної дискримінації приладу.

Ця задача розв'язувалася шляхом реєстрації вибраних діагностичних параметрів АЕ при різних рівнях амплітудної дискримінації (в приладі АЕ-109М рівень дискримінації підбирається коефіцієнтом посилення) на різних навантаженнях. Після кожного дослідження розраховували значення дисперсії зміни амплітуди сигналів АЕ і спектральної потужності. Потім проводився регресивний аналіз отриманих результатів.

Коефіцієнт посилення ( $K_y$ ) в дослідженнях змінювався в межах від 0 до 100 дБ з кроком в 2 дБ. Вимірювання параметрів АЕ проводили при зміні коефіцієнта посилення на ряді постійних навантажень. У всьому досліджуваному діапазоні навантажень, з урахуванням обмежень, коефіцієнт посилення приймально-реєструючого тракту впливав на зміну дисперсії зміни амплітуди АЕ. Відхилення при цьому склало 0,32467, при коефіцієнті варіації – 23,3201.

Вимірювання параметрів АЕ за межами обмежень дозволило встановити, що в діапазонах від 0 до 30 дБ, і від 85 до 100 дБ спостерігався істотний вплив коефіцієнта посилення на дисперсію зміни амплітуд сигналів АЕ. Причому, із збільшенням навантаження цей вплив слабшає. В діапазоні від 0 до 30 дБ цей вплив пояснювався значною втратою інформації, а в діапазоні від 85 до 100 дБ з реєстрації інформації, непов'язаної з процесами поверхневого руйнування.

Регресивний аналіз взаємозв'язку між досліджуваними параметрами показав, що залежність спектральної потужності АЕ від коефіцієнта посилення приймально-реєструючого тракту в діапазоні ( $30 \text{ дБ} < K_y < 84 \text{ дБ}$ ) при постійних навантаженнях може бути апроксимований лінійною залежністю вигляду:  $W = 45,4 K_{yc}$ , при  $P = 752 \text{ Н}$ ;  $W = 19,3 K_{yc}$ , при  $P = 930 \text{ Н}$ ;  $W = 6,39 K_{yc}$ , при  $P = 1180 \text{ Н}$ ; коефіцієнт кореляції  $r = 0,82 \dots 0,74$ .

Це пояснюється тим, що при підвищенні навантаження на пару тертя, відбувається інтенсифікація процесів руйнування в поверхневих і підповерхневих шарах. При цьому АЕ відгук трибосистеми більш однорідний і його формують сигнали акустичного випромінювання з амплітудами, значно перевищуючими рівень амплітуд на більш м'яких режимах. При збільшенні рівня амплітудної дискримінації ми втрачаємо “менше реєстрованих сигналів” АЕ, оскільки кількість сигналів АЕ з амплітудами, близькими до значення порогу дискримінації і нижче нього, значно менше, ніж на більш м'яких режимах.

Результати вимірювання інтенсивності зношування  $J_h$ , дисперсії зміни амплітуд АЕ ( $\sigma$ ) та спектральної потужності АЕ ( $W$ ) від навантаження  $P$ ,  $H$  для деяких пар тертя показано на рис. 3 - 6. Результати кореляційного аналізу для пар тертя №№ 1, 2, 6 та перспективної пари зведено в табл. 2.

## Результати кореляційного аналізу

№ п/п	Номер пари, середовище	Для дисперсії зміни амплітуд $\sigma$	Для спектральної потужності $W_{сп}$
1	№1, повітряне середовище $K_{\phi} = 0,64$	$32,329 \sigma + 24,83$	$3,181 W_{сп} + 25,158$
2	№1, змащування $K_{\phi} = 0,64 \text{ м}^{-1}$	$32,42 \sigma + 25,83$	$3,188 W_{сп} + 25,1268$
3	№2, повітряне середовище	$4,188 \sigma + 24,498$	$0,407 W_{сп} + 24,973$
4	№2, змащування $K_{\phi} = 5,2 \text{ м}^{-1}$	$4,0918 \sigma + 25,826$	$0,403 W_{сп} + 26,126$
5	№6, повітряне середовище	$2,498 \sigma + 24,588$	$0,294 W_{сп} + 24,651$
6	№6, змащування $K_{\phi} = 8,18 \text{ м}^{-1}$	$2,519 \sigma + 23,958$	$0,2926 W_{сп} + 25,0635$
7	№1, повітряне середовище $K_{\phi} = 16,3$	$1,306 \sigma + 25,345$	$0,251 W_{сп} + 23,699$
8	№1, змащування $K_{\phi} = 16,3 \text{ м}^{-1}$	$1,293 \sigma + 24,577$	$0,250 W_{сп} + 24,077$

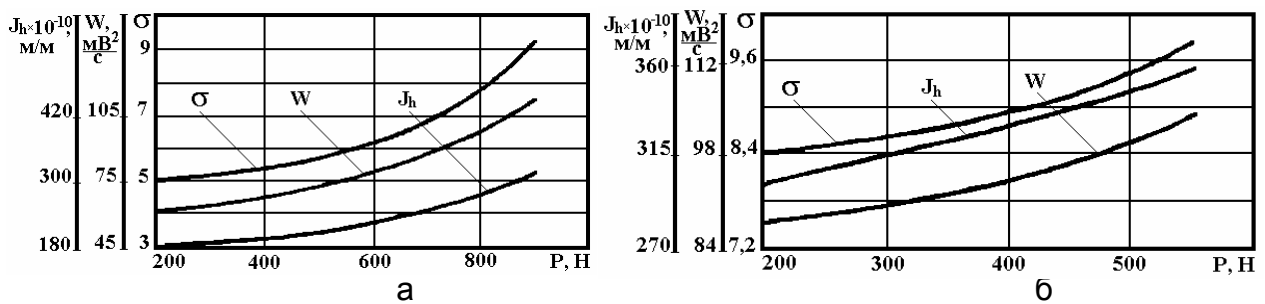


Рис. 3. Закономірності зміни інтенсивності зношування ( $J_h$ ), дисперсії амплітуд АЕ ( $\sigma$ ) і спектральної потужності АЕ ( $W$ ) від навантаження для пари тертя №1: а - в середовищі мастила; б - в повітряному середовищі;  $K_{\phi} = 0,64 \text{ м}^{-1}$

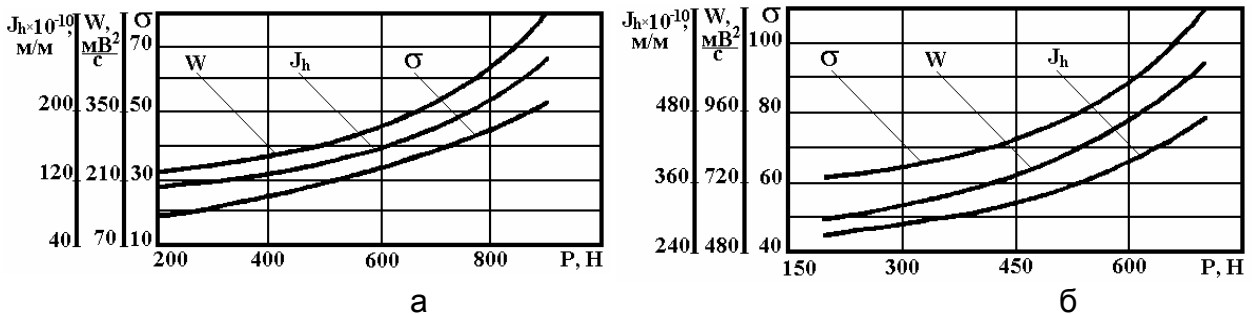


Рис. 4. Закономірності зміни інтенсивності зношування ( $J_h$ ), дисперсії амплітуд АЕ ( $\sigma$ ) і спектральної потужності АЕ ( $W$ ) від навантаження для пари тертя №2: а - в середовищі мастила; б - в повітряному середовищі;  $K_{\phi} = 5,2 \text{ м}^{-1}$

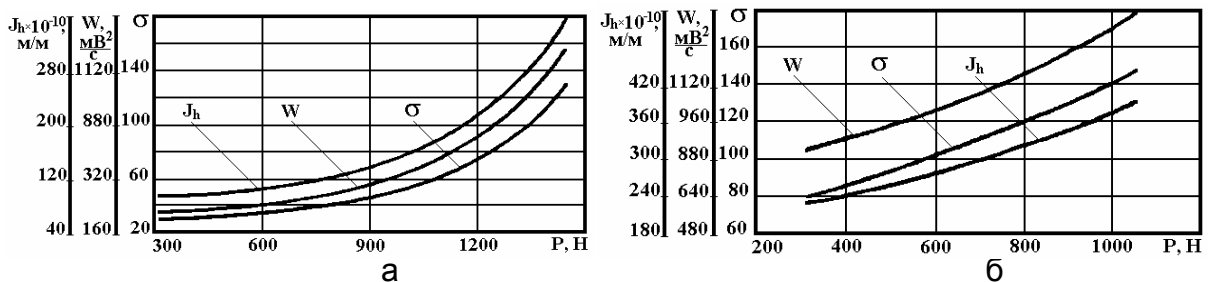


Рис. 5. Закономірності зміни інтенсивності зношування ( $J_h$ ), дисперсії амплітуд АЕ ( $\sigma$ ) і спектральної потужності АЕ ( $W$ ) від навантаження для пари тертя №6: а - в середовищі мастила; б - в повітряному середовищі;  $K_{\phi} = 8,18 \text{ м}^{-1}$

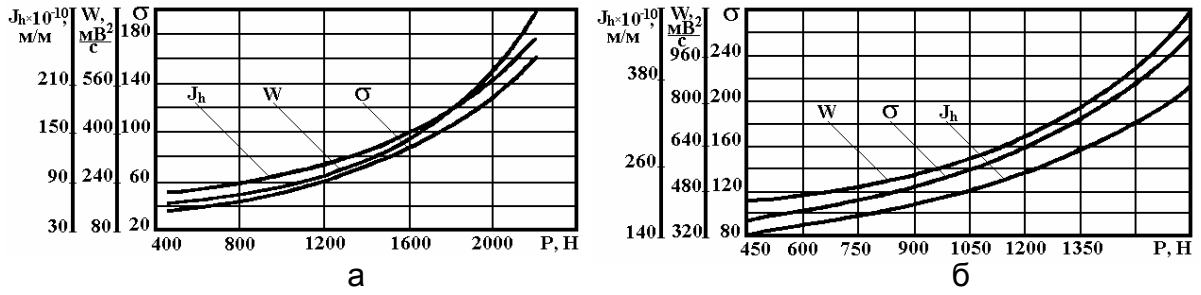


Рис. 6. Закономірності зміни інтенсивності зношування ( $J_h$ ), дисперсії амплітуд АЕ ( $\sigma$ ) і спектральної потужності АЕ ( $W$ ) від навантаження для пари тертя 40ХНМА-АСМ: а - в середовищі мастила; б - в повітряному середовищі;  $K_{\phi} = 16,3 \text{ м}^{-1}$

На рис. 7 показано залежність інтенсивності зношування  $J_h$  для різних пар тертя при граничних значеннях коефіцієнтів форми  $K_{\phi}$ .

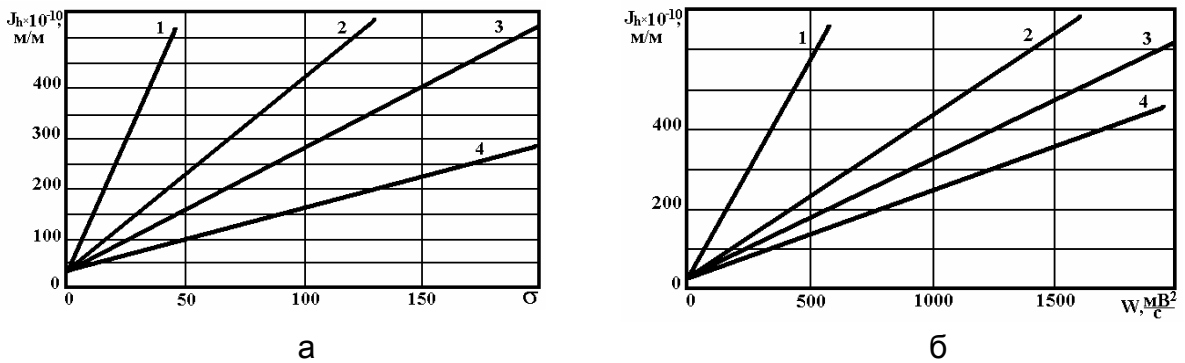


Рис. 7. Закономірності зміни інтенсивності зношування ( $J_h$ ), від акустико - емісійних параметрів при різних коефіцієнтах форми: а - від дисперсії зміни амплітуд АЕ; б - від спектральної потужності АЕ; 1 - для пари тертя №1,  $K_{\phi} = 0,64 \text{ м}^{-1}$ ; 2 - для пари тертя №2,  $K_{\phi} = 5,2 \text{ м}^{-1}$ ; 3 - для пари тертя №6,  $K_{\phi} = 8,18 \text{ м}^{-1}$ ; 4 - для перспективної пари тертя 40ХНМА-АСМ,  $K_{\phi} = 16,3 \text{ м}^{-1}$

Варіюючи швидкістю ковзання  $V_k$  та навантаженням  $P$  для пари №1 в повітряному середовищі, отримано наступні графіки (рис. 8, 9, 10, 11).

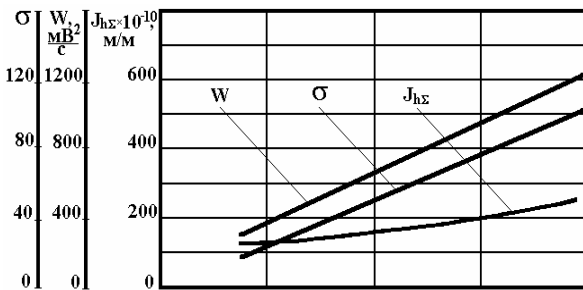


Рис. 8. Вплив швидкості ковзання на триботехнічні характеристики ТС (пара №1, повітряне середовище),  $P = 550 \text{ Н}$

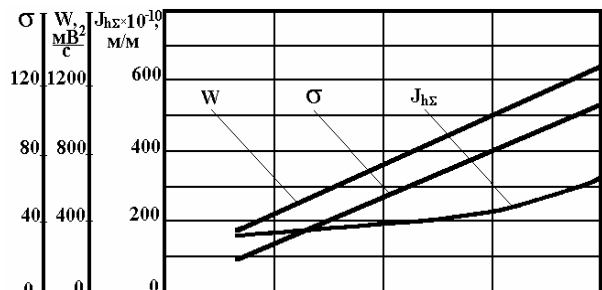


Рис. 9. Вплив швидкості ковзання на триботехнічні характеристики ТС (пара №1, повітряне середовище),  $P = 750 \text{ Н}$

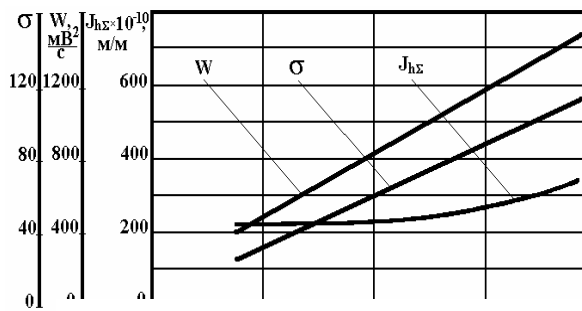


Рис. 10. Вплив швидкості ковзання на триботехнічні характеристики ТС (пара №1, повітряне середовище),  $P = 850 \text{ Н}$

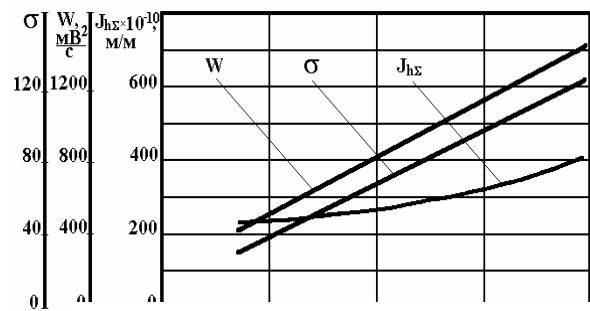


Рис. 11. Вплив швидкості ковзання на триботехнічні характеристики ТС (пара №1, повітряне середовище),  $P = 950 \text{ Н}$

Таким чином, досліджено та встановлено основні закономірності інтенсивності зношування конструкційних пар типу “конструкційна сталь - кольоровий сплав”, зв'язок інтенсивності зношування зі зміною напружено-деформованого стану цих пар. Доведено доцільність застосування методу електронно - акустичної емісії для довільних триботехнічних систем та створено методологію його застосування для визначення інтенсивності зношування таких систем.

### Список літератури

1. Крагельский И.В., Непомнящий Е.Ф. Об усталостном механизме износа при упругом контакте // Изв. АН СССР. ОТН. - 1963. - Вып. 5. - С. 190 - 192.
2. ГОСТ 30480-97. Обеспечение износостойкости изделий. Методы испытаний на износостойкость. Общие требования. - М.: Изд. стандартов, 1997. - 60 с.
3. Тушинский Л.И., Плохов А.В. Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий. - Новосибирск: Наука, 1986. - 191 с.
4. Костецкий Б.И., Колениченко Н.В. Качество поверхности и трение в машинах. - К.: Техника, 1969. - 215 с.
5. Крагельский И.В., Добычин, М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. - М.: Машиностроение, 1977. - 526 с.
6. Пронников А.С. Надежность машин. - М.: Машиностроение, 1978. - 592 с.
7. Филоненко С.Ф. Анализ кинетики развития процессов разрушения методом акустической эмиссии // Материалы междунар. науч. конф. "Синергетика-2000. Самоорганизующиеся процессы в системах и технологиях". - Комсомольск-на-Амуре: изд. КНАГГУ, 2000. - С. 94 - 97.
8. Бабак В.П., Филоненко С.Ф. Математические модели оценки и прогнозирования состояния изделий методом акустической эмиссии // Радиотехника и информатика. - 2000. - №2. - С. 62 - 68.
9. Троценко В.Т. Прочность металлов при переменных нагрузках. - К.: Наукова думка, 1978. - 176 с.
10. Гейлор Д. Нагрузки, действующие на самолет. - М.: Машиностроение, 1971. - 372 с.

## **Метод анализа влияния последовательного применения раскатки и барьерного обжатия пластин с тремя отверстиями на характеристики локального НДС при растяжении**

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

Анализ разрушений натуральных конструкций и результаты испытаний образцов показывают, что в тех случаях, когда не применяют специальные методы повышения характеристик сопротивления усталости зон отверстий, значения показателей качества  $K_y$  по отдельным концентраторам могут достигать четырех. Существует ряд конструктивных и технологических приемов, снижающих отрицательное влияние этих отверстий на долговечность конструкции [1, 2].

Многие авторы, работающие в данной области, занимались вопросом отработки технологии методов упрочнения, проводя экспериментальные исследования влияния различных методов упрочнения отверстий на усталостную долговечность образцов. Экспериментальные исследования проводили в целях оптимизации геометрии деформирующего инструмента и режимов процессов упрочнения. При этом вопросу определения локального НДС в зоне отверстий уделялось меньшее внимание.

Применение численных методов анализа эффективности различных способов упрочнения, в частности, метода конечного элемента, реализованного в системе инженерного анализа ANSYS, позволяет проводить численные эксперименты, близкие к условиям натуральных испытаний. Удобством и преимуществом численных исследований являются относительная простота исследования влияния различных параметров (как конструктивных, так и технологических) на характеристики локального НДС, возможность относительно простого сравнения различных вариантов расчета, а также удобство и простота интерпретации полученного результата [3, 4]. Следовательно, данный подход обеспечивает высокую эффективность процесса принятия решения.

Целью данной работы является анализ характеристик локального НДС пластины с тремя отверстиями с фаской  $0,5 \times 45^\circ$ , упрочненной методом последовательного применения раскатки и барьерного обжатия, а также оценка эффективности использования данных методов упрочнения с точки зрения вероятного повышения усталостной долговечности образца пластины. При анализе характеристик локального НДС вблизи концентратора не учитывают шероховатость обрабатываемой поверхности и дефекты (заусенцы), возникающие в процессе выполнения отверстий.

В качестве образца пластины с тремя отверстиями рассмотрен стандартный образец ( $B/d=6$ ), применяемый при проведении усталостных испытаний.

Геометрия образца и технологического инструмента, используемого для упрочнения, а также основные размеры показаны на рис. 1, 2. Образец изготовлен из алюминиевого сплава Д16Т [5].

Для анализа характеристик локального НДС и оценки эффективности используемого метода упрочнения применен метод конечных элементов, реализованный в системе ANSYS.

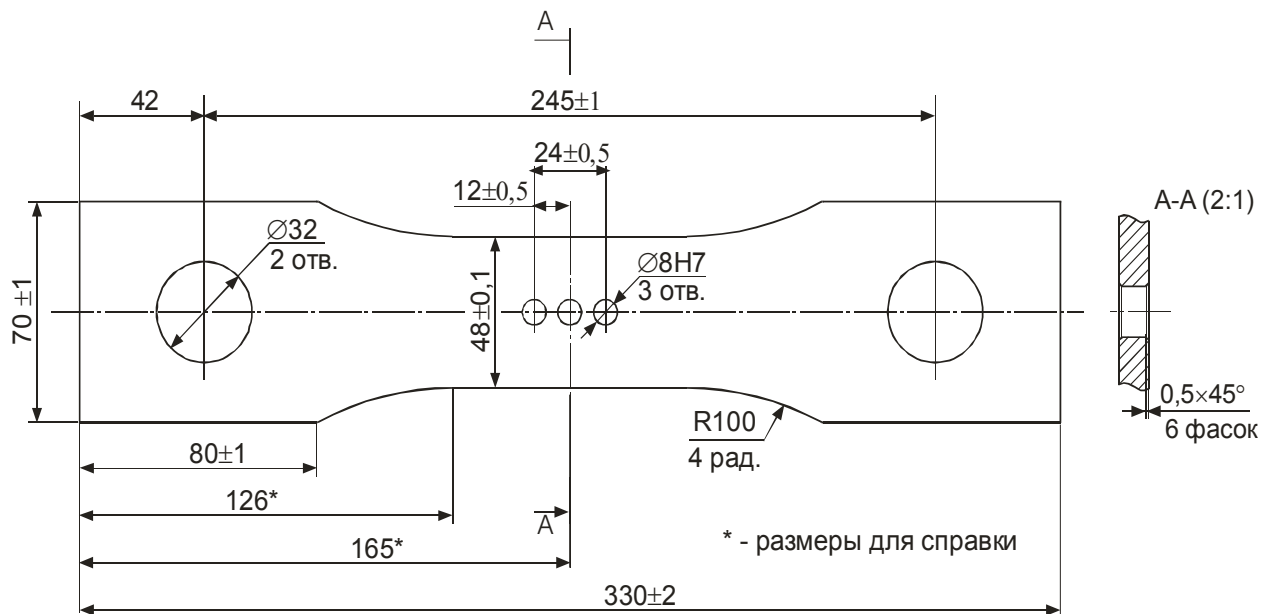


Рис. 1. Образец пластины с тремя отверстиями  $\varnothing 8$  мм

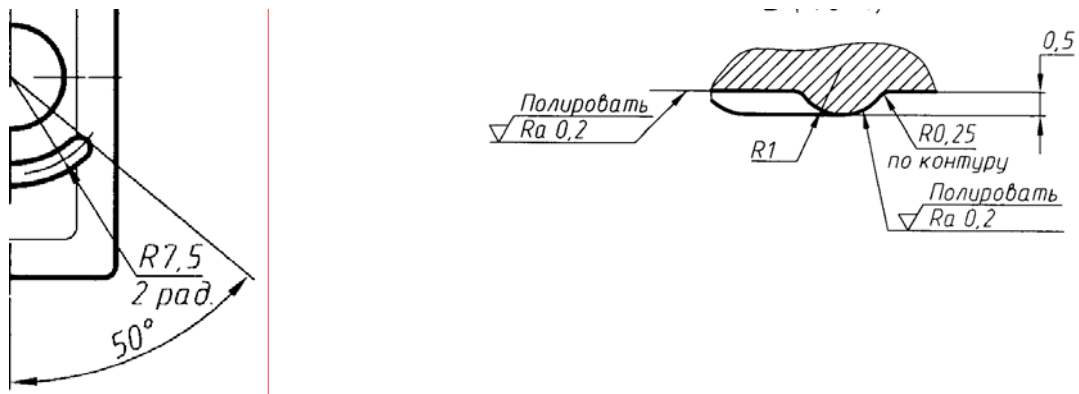


Рис. 2. Фрагмент чертежа обжимки для выштамповки сегментных лунок

Метод включает в себя:

1. Построение геометрической модели пластины с тремя отверстиями и технологического инструмента, используемого для упрочнения пластины.
2. Разработку расчетных схем.
3. Задание физико-механических свойств материала и кривой деформирования.
4. Создание конечно-элементной модели пластин с тремя отверстиями, а также учет контактного взаимодействия технологического инструмента с упрочняемыми участками поверхности пластины.
5. Задание граничных условий.
6. Моделирование процесса раскатки. Поиск равновесного состояния от натяга.



7. Моделирование процесса извлечения раскатника из отверстий. Определение остаточных напряжений и деформаций после раскатки.
8. Моделирование процесса обжатия поверхности пластины вблизи отверстий на заданную глубину.
9. Моделирование процесса отведения обжимок в исходное положение. Определение остаточных напряжений и деформаций после обжатия.
10. Приложение растягивающих напряжений  $\sigma_{бр}$  в торцевом сечении пластины.
11. Моделирование процесса разгрузки.
12. Расчет характеристик локального НДС пластины с тремя отверстиями.
13. Качественный и количественный анализ распределения главных растягивающих напряжений, деформаций и удельной энергии деформирования в пластине в зоне отверстий и зоне обжатия.
14. Определение максимальных растягивающих напряжений, деформаций и удельной энергии деформирования эквивалентного отнулевого цикла в зонах вероятного усталостного разрушения.
15. Сравнение полученного результата с результатом для базовых образцов пластины с одним отверстием и тремя отверстиями без их упрочнения.

В качестве метода упрочнения рассмотрено совместное последовательное применение метода раскатки с натягом 0,4% и выштамповки сегментных лунок глубиной 0,3 мм.

Величина эксплуатационных напряжений при численных исследованиях составляет  $\sigma_{бр} = 0; 100; 130; 150$  МПа.

Созданные геометрические модели пластины и технологического инструмента переданы в систему инженерного анализа ANSYS, с использованием формат импорта CATIA v5 и послужили основой для построения конечно-элементных моделей.

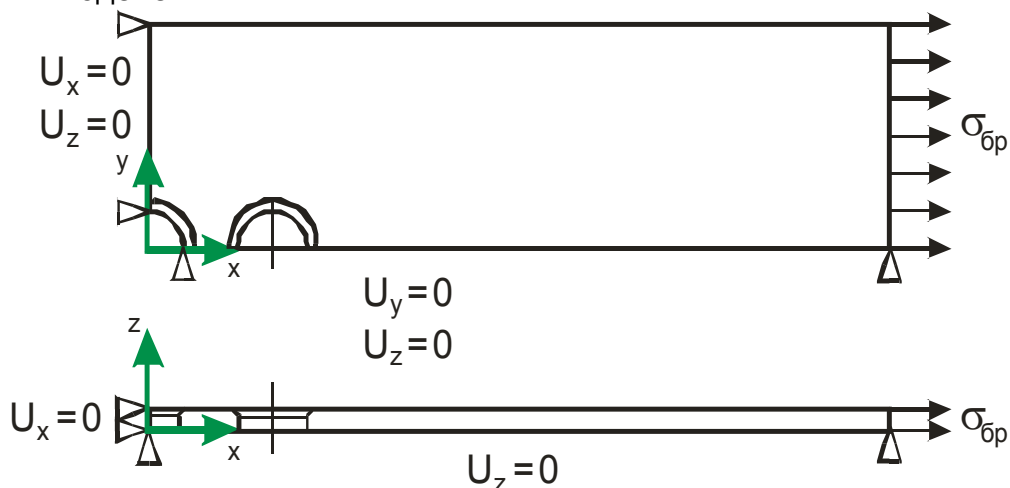


Рис. 3. Расчетная схема пластины с тремя отверстиями

При выполнении расчетов принято допущение: технологический инструмент, используемый для упрочнения пластины в зоне отверстий, считается

абсолютно жестким. Данное допущение правомерно, поскольку жесткость технологического инструмента в три раза выше жесткости пластины и в ходе выполнения расчетов не исследуют НДС в технологическом инструменте. В расчетной схеме не учитывают степень шероховатости поверхности стенок отверстий.

Построены конечно-элементные модели пластины и соответствующего технологического инструмента (см. рис. 5 – 7). Основой для построения конечно-элементных моделей явились трехмерные модели пластины с тремя отверстиями и модели деформирующих элементов, созданные в системе CATIA и переданные в систему ANSYS.

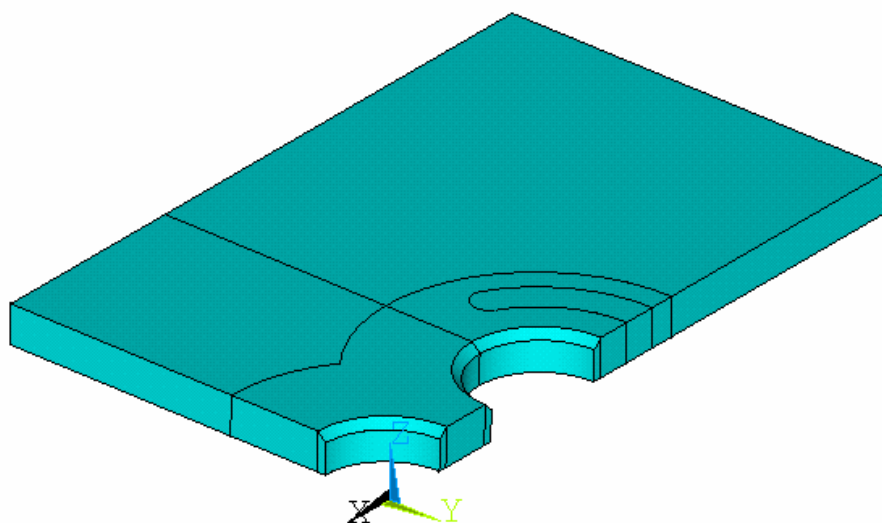


Рис. 4. Трехмерная модель 1/8 пластины с тремя отверстиями

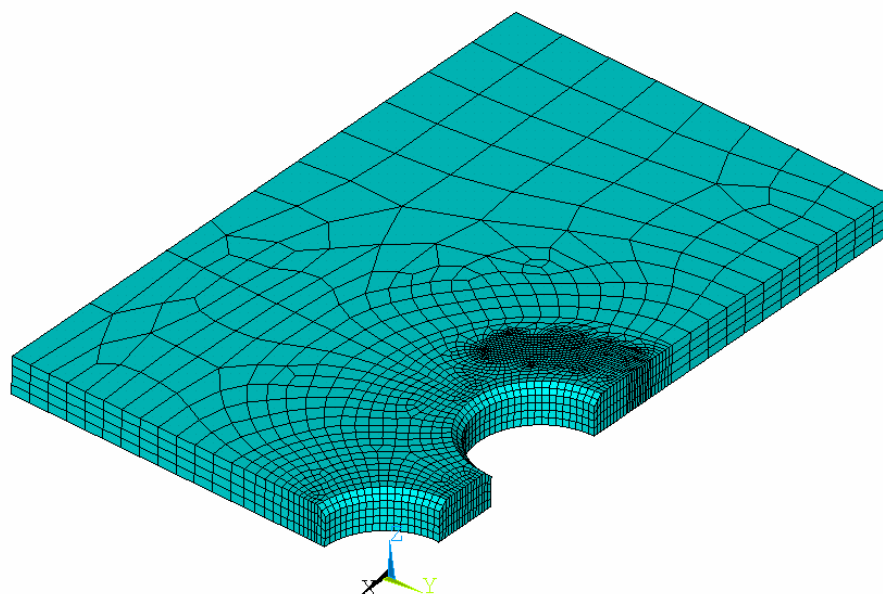


Рис. 5. Конечно-элементная модель пластины с тремя отверстиями, упрочняемой методом раскатки и выштамповки сегментных лунок

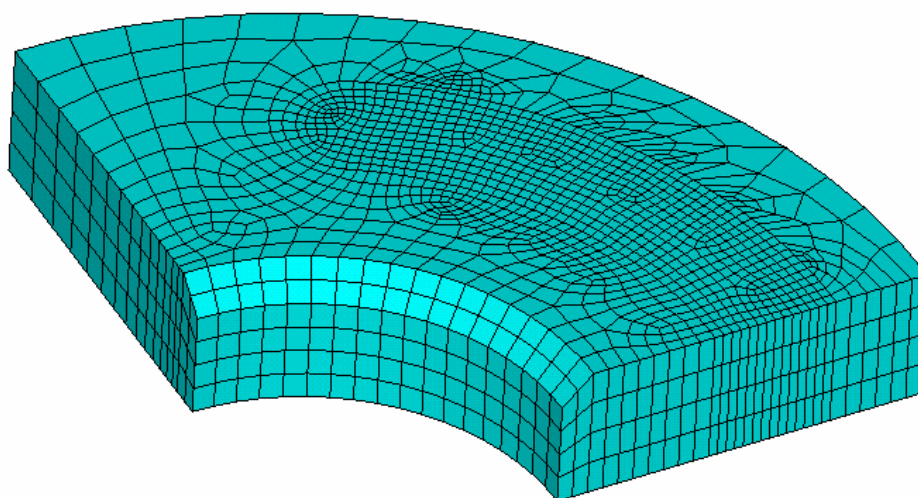


Рис. 6. Фрагмент конечно-элементной модели пластины с тремя отверстиями в зоне выштамповки сегментных лунок

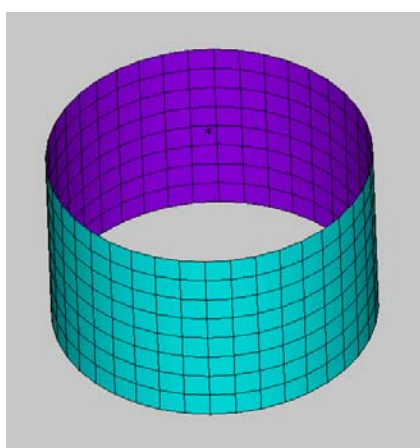


Рис. 7. Конечно-элементная модель раскатника

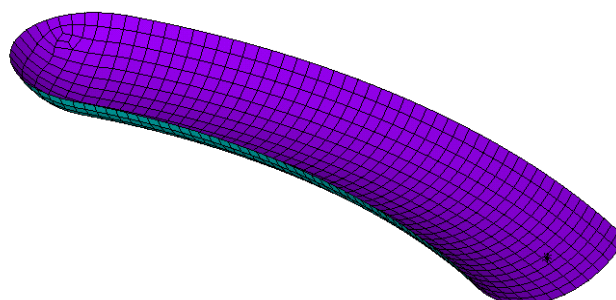


Рис. 8. Конечно-элементная модель обжимки для выштамповки сегментных лунок

В результате решения задач были получены численные значения параметров, характеризующих НДС пластины в зоне отверстий.

В качестве параметров, характеризующих НДС, рассмотрены: главные растягивающие напряжения  $\sigma_1$  и деформации  $\varepsilon_1$ , а также их произведение  $\sigma_1^* \varepsilon_1$ . Определен характер распределения напряжений и деформаций в пластине в зоне отверстий для всего диапазона прикладываемых напряжений ( $\sigma_{бр} = 100, 130$  и  $150$  МПа), используемый для качественной предварительной оценки результата (см. рис. 9, 10).

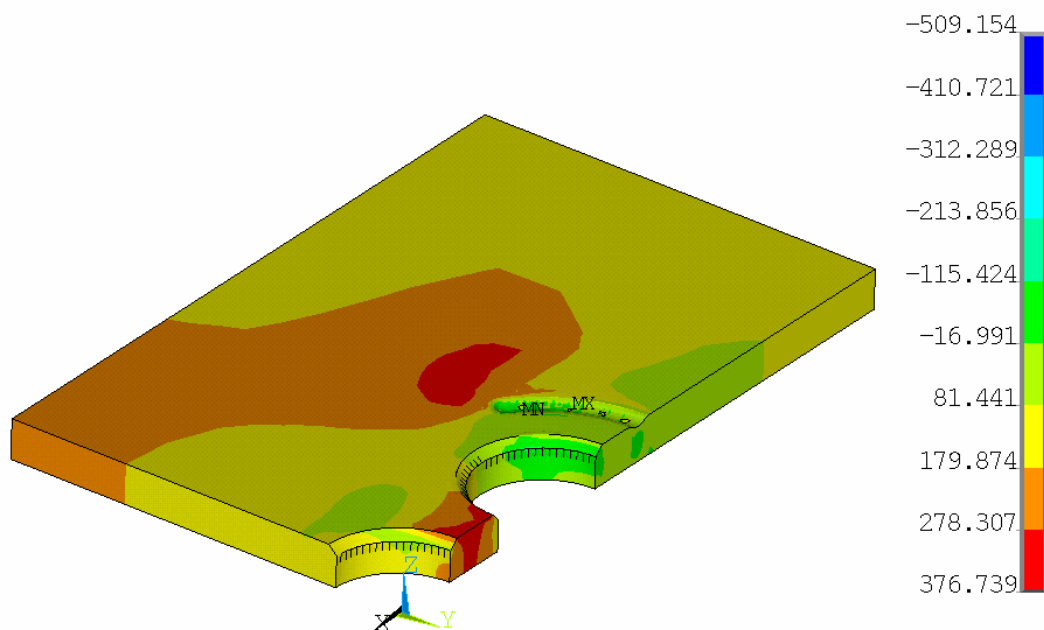


Рис. 9. Характер распределения главных растягивающих напряжений в пластине с тремя отверстиями, упрочненной методом раскатки с натягом 0,4% и выштамповки сегментных лунок глубиной 0,3 мм ( $\sigma_{бр} = 130$  МПа)

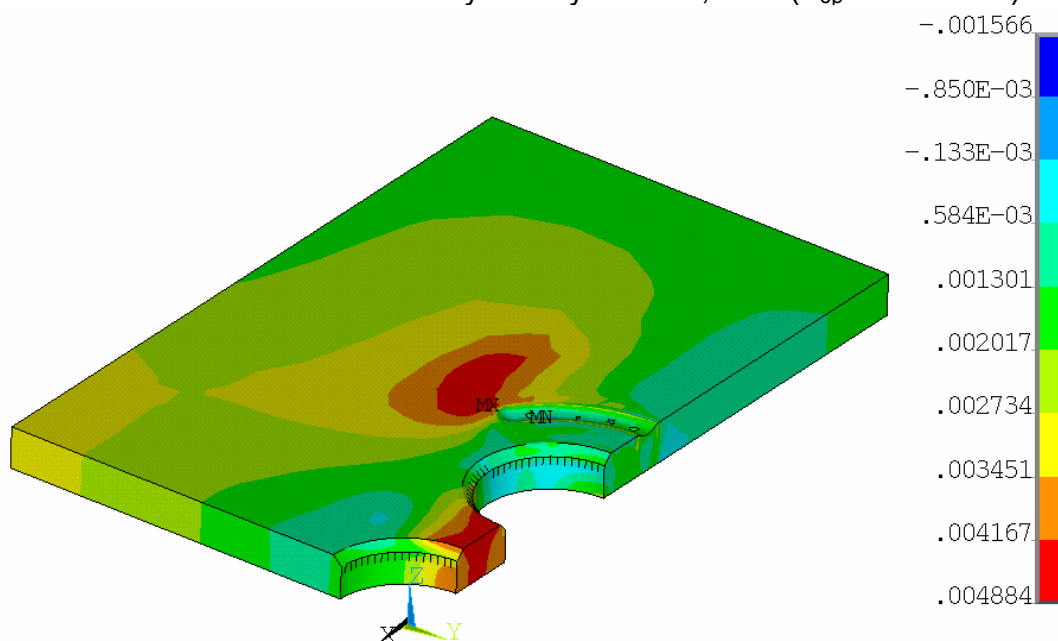


Рис. 10. Характер распределения главных растягивающих деформаций (упругая составляющая) в пластине с тремя отверстиями, упрочненной методом раскатки с натягом 0,4% и выштамповки сегментных лунок глубиной 0,3 мм ( $\sigma_{бр} = 130$  МПа)

Анализ характера распределения главных растягивающих напряжений и деформаций показывает, что в процессе совместного применения раскатки и барьерного обжатия возникает дополнительная зона концентрации напряжений в зоне обжатия.

Для анализа эффективности применяемого метода упрочнения, позволяющего повысить усталостную долговечность пластины в зоне отверстий в данной работе в качестве критериев рассмотрены следующие:

- 1) максимальные главные напряжения  $\sigma_{1max}$ ;
- 2) максимальные главные деформации  $\varepsilon_{1max}$ ;
- 3) максимальная удельная энергии деформирования  $w_{1max}$ .

При расчете амплитуды деформаций рассматриваем упругую составляющую деформаций, поскольку именно она сильно изменяется в процессе циклического нагружения.

Исходный цикл нагружения приведен к эквивалентному отнулевому циклу по формуле Одингга.

Для этого:

1. Определены значения амплитуды напряжений, деформаций и удельной энергии деформирования в зоне вероятного усталостного разрушения в сечениях по осям отверстий и зоне обжатия.

2. Рассчитаны максимальные напряжения, деформации и удельная энергия деформирования эквивалентного отнулевого цикла в зоне вероятного усталостного разрушения.

3. Определены максимальные значения рассчитываемых в п. 2 параметров во всем диапазоне эксплуатационных нагрузок.

По результатам расчета построены графики изменения максимальных напряжений, деформаций и удельной энергии деформирования эквивалентного отнулевого цикла во всем диапазоне эксплуатационных нагрузок (рис. 10–12).

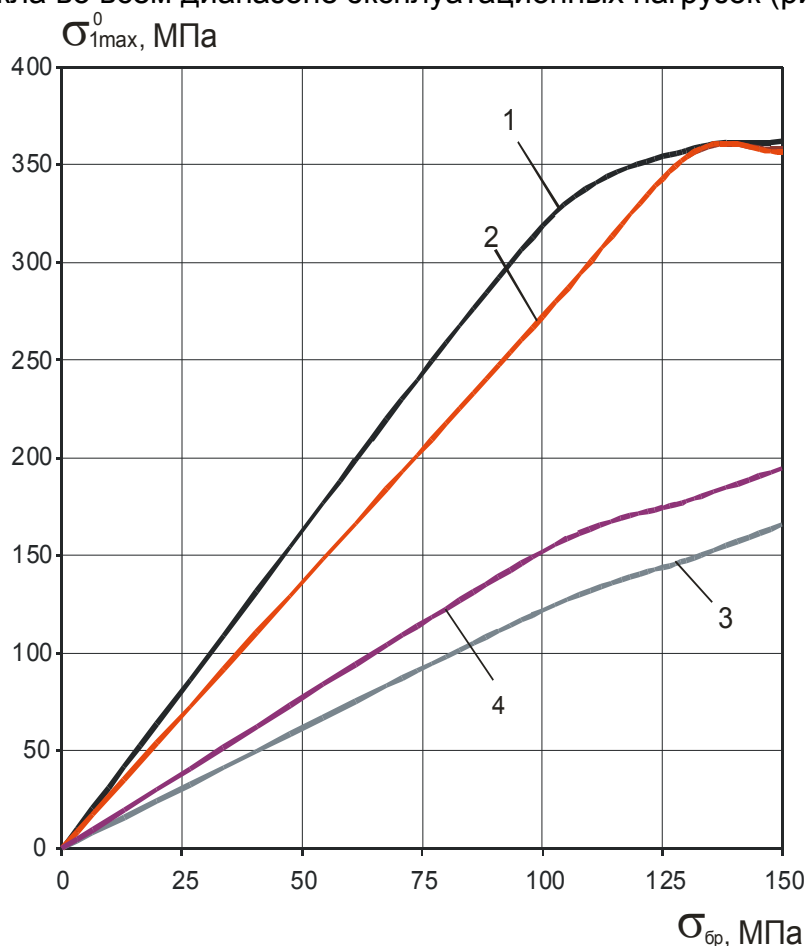


Рис. 11. Влияние уровня нагружения и метода упрочнения на изменение максимальных главных напряжений эквивалентного отнулевого цикла в пластине

- 1 – с отверстием  $\varnothing 8,006$  мм, фаска  $0,5 \times 45^\circ$ , без упрочнения;  
 2 – с тремя отверстиями  $\varnothing 8,006$  мм, расстояние между отверстиями 12 мм, фаска  $0,5 \times 45^\circ$ , без упрочнения;  
 3 – с тремя отверстиями  $\varnothing 8,007$  мм, расстояние между отверстиями 12 мм, фаска  $0,5 \times 45^\circ$ , упрочняемой методом раскатки с натягом 0,4% и выштамповки сегментных лунок, глубина обжатия – 0,3 мм, угол раствора –  $60^\circ$ , по оси крайнего отверстия;  
 4 – с тремя отверстиями  $\varnothing 8,007$  мм, расстояние между отверстиями 12 мм, фаска  $0,5 \times 45^\circ$ , упрочняемой методом раскатки с натягом 0,4% и выштамповки сегментных лунок, глубина обжатия – 0,3 мм, угол раствора –  $60^\circ$ , зона обжатия

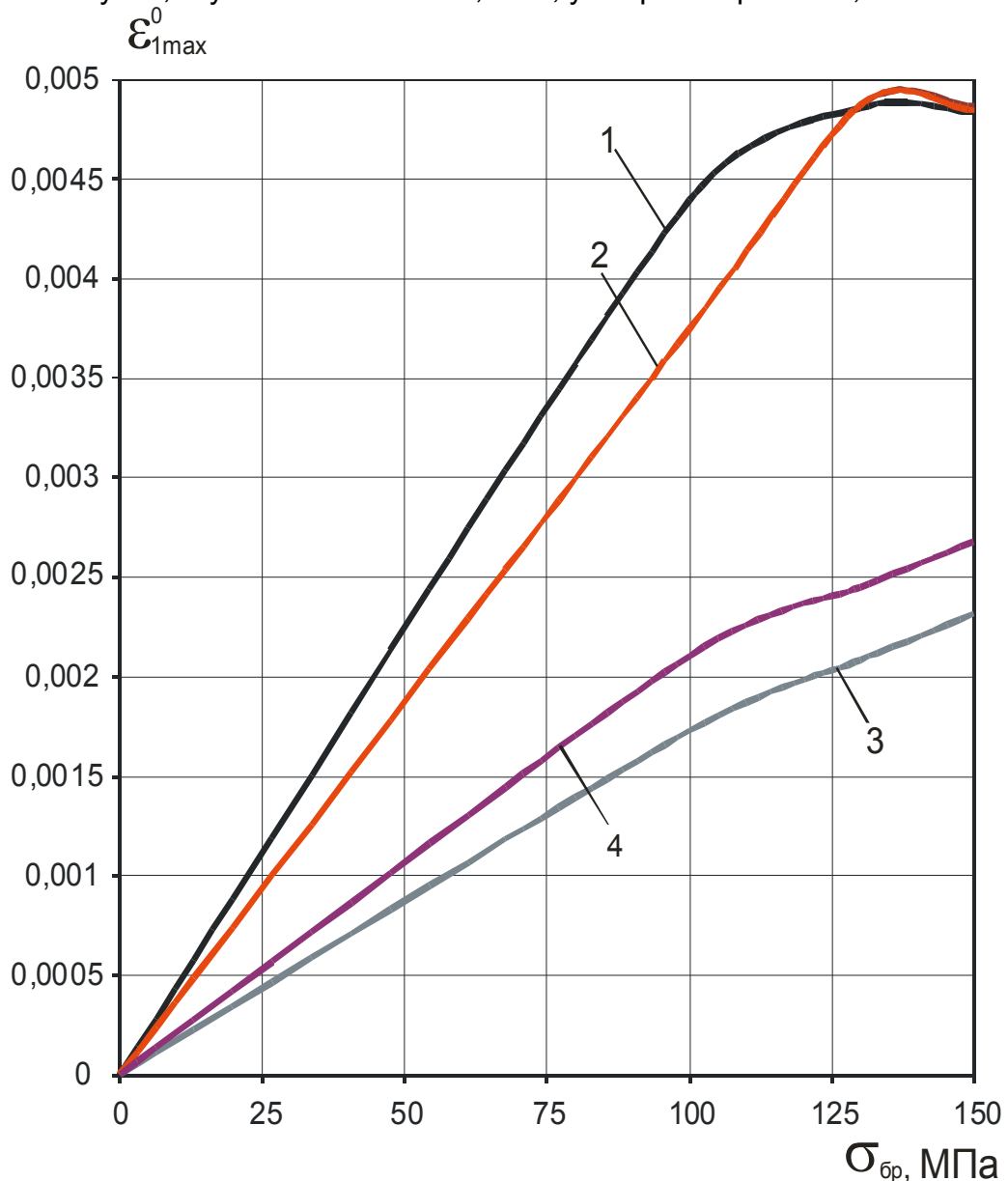


Рис. 12. Влияние уровня нагружения и метода упрочнения на изменение максимальных главных деформаций эквивалентного отнулевого цикла в пластине  
 1 – с отверстием  $\varnothing 8,006$  мм, фаска  $0,5 \times 45^\circ$ , без упрочнения;  
 2 – с тремя отверстиями  $\varnothing 8,006$  мм, расстояние между отверстиями 12 мм, фаска  $0,5 \times 45^\circ$ , без упрочнения;

3 – с тремя отверстиями  $\varnothing 8,007$  мм, расстояние между отверстиями 12 мм, фаска  $0,5 \times 45^\circ$ , упрочняемой методом раскатки с натягом 0,4% и выштамповки сегментных лунок, глубина обжатия – 0,3 мм, угол раствора –  $60^\circ$ , по оси крайнего отверстия;

4. с тремя отверстиями  $\varnothing 8,007$  мм, расстояние между отверстиями 12 мм, фаска  $0,5 \times 45^\circ$ , упрочняемой методом раскатки с натягом 0,4% и выштамповки сегментных лунок, глубина обжатия – 0,3 мм, угол раствора –  $60^\circ$ , зона обжатия

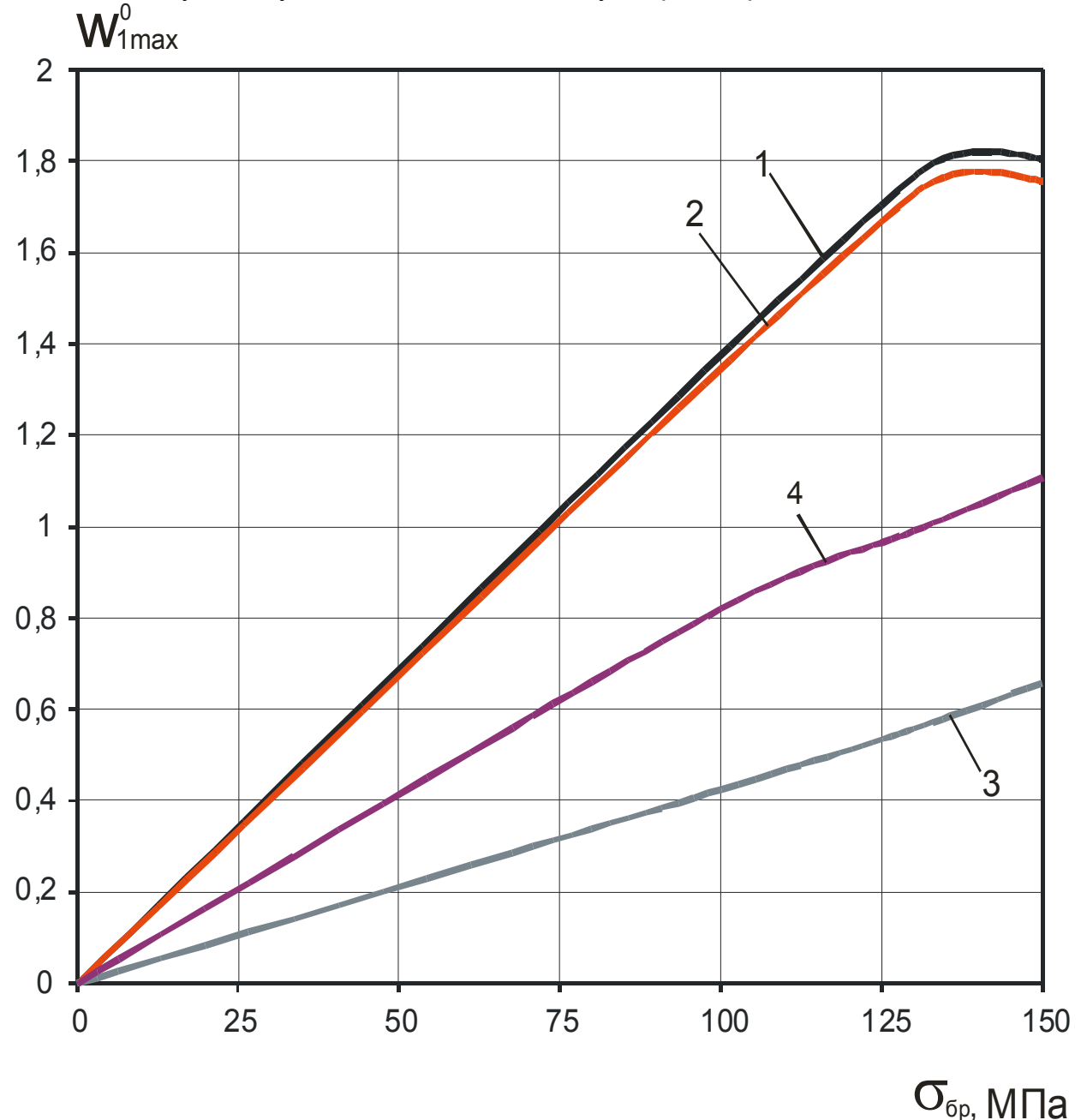


Рис. 13. Влияние уровня нагружения и метода упрочнения на изменение максимальной удельной энергии деформирования эквивалентного отнулевого цикла в пластине

- 1 – с отверстием  $\varnothing 8,006$  мм, фаска  $0,5 \times 45^\circ$ , без упрочнения;
- 2 – с тремя отверстиями  $\varnothing 8,006$  мм, расстояние между отверстиями 12 мм, фаска  $0,5 \times 45^\circ$ , без упрочнения;

3 – с тремя отверстиями  $\varnothing 8,007$  мм, расстояние между отверстиями 12 мм, фаска  $0,5 \times 45^\circ$ , упрочняемой методом раскатки с натягом 0,4% и выштамповки сегментных лунок, глубина обжатия – 0,3 мм, угол раствора –  $60^\circ$ , по оси крайнего отверстия;

4 – с тремя отверстиями  $\varnothing 8,007$  мм, расстояние между отверстиями 12 мм, фаска  $0,5 \times 45^\circ$ , упрочняемой методом раскатки с натягом 0,4% и выштамповки сегментных лунок, глубина обжатия – 0,3 мм, угол раствора –  $60^\circ$ , зона обжатия

### **Выводы:**

1. Разработан метод анализа влияния последовательного применения раскатки и барьерного обжатия пластин с тремя отверстиями на характеристики локального НДС, позволяющий прогнозировать зоны вероятного усталостного разрушения.

2. Совместное применение метода раскатки с натягом 0,4% и выштамповки сегментных лунок глубиной 0,3 мм приводит к снижению максимальных главных растягивающих напряжений эквивалентного отнулевого цикла в 2,16–2,4 раза, максимальных главных деформаций в 2,13–2,33 раза и удельной энергии деформирования в 2,42–3,07 раза по сравнению с этими характеристиками для пластины с тремя отверстиями без упрочнения отверстий. Сравнение проводится в сечении по оси крайнего отверстия.

3. Полученный результат позволяет оценить эффективность применяемого метода упрочнения отверстий и совместно с результатами экспериментальных исследований провести оценку усталостной долговечности испытуемых образцов.

4. Предложенный метод оценки эффективности применения методов упрочнения может быть использован для пластин с отверстиями различной конфигурации, а также других типов концентраторов и для выбора оптимальных параметров технологического инструмента и режимов упрочнения.

### **Список литературы**

1. Сопротивление усталости элементов конструкций / А.З. Воробьев, Б.И. Олькин, В.Н. Стебенев и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 240 с.

2. Пширков В.Ф. Технология выполнения высокоресурсных соединений. – М.: Отраслевая библиотека «Технический прогресс и повышение квалификации», 1980. – 170 с.

3. Гребеников А.Г. Методология интегрированного проектирования и моделирования сборных самолетных конструкций. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2006. – 532 с.

4. Волов А.Г., Гребеников В.А., Гуменный А.М. Влияние локального утолщения на характеристики действительного НДС и циклическую долговечность пластин с зенкованным отверстием // Открытые информационные и компьютерные технологии. – Х. – 1998. – Вып. 21. – С. 211-229.

5. Авиационные материалы. Т. 4. Алюминиевые и бериллиевые сплавы/ Под общей ред. д-ра. техн. наук Р.Е. Шалина. – М.: ОНТИ, – 1983. – 350 с.



## Элементы и устройства функциональной микроэлектроники

*Украинская государственная академия железнодорожного транспорта,  
Харьковский национальный университет радиоэлектроники*

### 1. Постановка задачи

Линии задержки на ПАВ являются простейшими и, по-видимому, наиболее отработанными элементами акустоэлектроники. Они обеспечивают задержку от долей микросекунд до единиц миллисекунд в большом диапазоне частот, обеспечивают широкие полосы пропускания и низкое затухание (менее 30 дБ). Основными материалами звукопровода является пьезокварц, ниобат лития и германат висмута, пьезокерамика. Последние обладают высокой удельной задержкой, что позволяет уменьшить длину звукопровода.

Классическая линия задержки содержит входной и выходной преобразователи ПАВ, находящиеся в общем акустическом потоке (рис.1,а). Задержка сигнала определяется отношением расстояния между преобразователями и скорости ПАВ. Ограниченные размеры синтетических кристаллов (десятки сантиметров) позволяют реализовать максимальную задержку при одном звукопроводе 50...100 мкс. Во многих случаях требуемая задержка значительно превышает указанные величины.

### 2. Основная часть исследований.

Проблема решается объединением обнозаходных линий задержки, разделенных усилителями, либо используется многократное переизлучение пучка ПАВ, распространяющегося по меандровому пути. Эта структура является достаточно технологической, так как все элементы формируются с помощью одного фотошаблона. Используются линии задержки, в которых поверхностные волны распространяются по цилиндрическому или дисковому звукопроводу по сложной траектории. Распространены также многоотводные линии задержки на ПАВ, в которых энергия по пути распространения отводится с помощью дополнительных ВШП. Этим достигается дискретная регулировка задержки сигнала. Многоотводные линии задержки широко применяются в устройствах обработки сигналов при синтезе согласованных фильтров фазоманипулированных сигналов. При расстоянии между отводами в одном пространственном канале менее 15...30 мкм используют многоканальные конструкции. Полоса пропускания линии задержки составляет десятки-сотни мегагерц и определяется параметрами ВШП. Максимально достижимая относительная полоса пропускания зависит от коэффициента электромеханической связи и допустимого уровня вносимых потерь. Для ниобата лития можно получить полосу пропускания 25% без существенного превышения потерь на двунаправленное излучение (6 дБ). Для ST-кварца такую же полосу можно получить при потерях 34 дБ. Однако высокая температурная стабильность кварца (найденно более десяти срезов кристалла кварца с нулевым температурным коэффициентом задержки (ТКЗ)) в ряде случаев является наиболее важным фактором, определяющим выбор материала подложки.

**Полосовые фильтры** реализуются в виде простейших структур вследствие того, что любая линия задержки обладает конечной шириной пропускания. При конструировании полосовых фильтров с высокими метрологическими характеристиками длину пути распространения акустической волны в звукопроводе предельно сокращают, а требуемые частотные свойства формируют соответствующим выбором конфигураций входного и выходного преобразователей. Полосовые фильтры на ПАВ достаточно широко применяются в современном радиоаппаратостроении. Диапазон освоенных частот составляет 10 МГц...1 ГГц, относительные полосы пропускания 0,01...100%, вносимые потери не превышают 10...20 дБ. Современные методы проектирования фильтров с использованием весовой обработки позволяют получить практически подавление вне полосы пропускания 40...50 дБ и выше.

Вследствие того, что передаточная функция формируется обеими преобразователями, полная передаточная функция  $H(f)$  является произведением передаточных функций входного  $H_1(f)$  и выходного  $H_2(f)$  преобразователей  $H(f)=H_1(f) \cdot H_2(f)$ . Для подложек с сильной пьезоэлектрической связью целесообразно использование МПО с двумя идентичными аподизированными преобразователями. Тогда передаточная функция преобразователей связана с передаточной функцией фильтра простым соотношением  $H_1(f) = H_2(f) = \Delta f / f \approx 1/N$ . Для подложек из пьезокварца один из преобразователей должен быть неаподизированным. В общем случае передаточные функции  $H_1(f)$  и  $H_2(f)$  получают, разлагая на множители, по которым рассчитываются импульсные отклики, а затем расположение и амплитудные веса электродов преобразователей. Простейший метод расчета топологии преобразователя основан на использовании рядов Фурье. Если известна передаточная характеристика  $H(f)$ , то для определения топологии преобразователя необходимо вычислить обратное преобразование Фурье от  $H_1(f)$  с последующим переходом от временного  $s(t)$  к пространственному сигналу  $s(x)$ :  $x=Vt$ ,  $f_x=f/V$ . Реальные устройства на ПАВ имеют конечное число электродов и, следовательно, конечную импульсную характеристику. Последнюю представляют в виде произведения бесконечной импульсной характеристики  $h(t)$  на прямоугольную функцию выборки  $\omega(t)$  (весовую функцию). После усечения получают конечную импульсную характеристику и вычисляют преобразование Фурье от нее. Новое значение передаточной характеристики  $H_{\Delta}(f)$  сравнивают с  $H(f)$ , проводят корректировку весовых коэффициентов (амплитудных и фазовых) разложения  $H(f)$  и  $h(t)$  в ряд Фурье. Эта процедура повторяется до тех пор, пока не будет отличаться от  $H(f)$  на допустимую величину  $\epsilon$ , определяемую по какому-либо критерию, например, среднеквадратичному. Использование гладких, медленно меняющихся весовых функций  $\omega(t)$  (например, функции Хэмминга) обеспечивает уменьшение пульсации результирующей частотной характеристики фильтра, однако ухудшает коэффициент формы.

При анализе аподизированного ВШП используется также прием, заключающийся в мысленном разбиении апертуры преобразователя на участки, в пределах которых перекрытие штырей можно считать постоянным. Число каналов зависит от вида функции аподизации и обычно не превышает 30.

При проектировании узкополосных фильтров с относительной полосой пропускания менее 1% применяют структуру из двух преобразователей, один из которых имеет большее количество электродов и формирует полосу пропускания  $\Delta f / f_0 \approx 1/N$ ; другой имеет минимальное число электродов и является широкополосным. В широкополосных фильтрах высокая прямоугольность реализуется при использовании неэквидистантных преобразователей.

**Дисперсионные фильтры (ДФ)** также реализуются на основе ВШП или отражательных структур с неэквидистантной расстановкой электродов. Если задержка ДФ линейно меняется с частотой, то закон расстановки дисперсионного преобразователя определяется из решения уравнения для фазы

$$2\pi \left[ f_0(x_n/V) \pm \frac{B_0}{2T_0}(x_n/V)^2 \right] = \pi n + D_0,$$

где  $f_0$  - центральная частота;  $B_0$  - полоса пропускания;  $T_0$  - длительность импульсного отклика;  $x_n$  - координата  $n$ -го электрода, а постоянная  $D_0$  определяется задержкой на частоте  $f_0$ .

Структура с двумя дисперсионными преобразователями, каждый из которых имеет полосу пропускания  $B_0$  и дисперсию  $T_0/2$ , обеспечивает малый уровень потерь и хорошие условия согласования. Более высокие характеристики реализуются в дисперсионных фильтрах на отражательных решетках. Преобразование энергии в акустическую и обратно осуществляется соответственно входным и выходным ВШП, а дисперсионные свойства задаются геометрией отражательных решеток. Промежутки между элементами отражателей возрастают или убывают в зависимости от наклонения ВШП. При равенстве этого промежутка длине акустической поверхностной волны последняя отражается под углом  $90^\circ$ . Вторая решетка зеркально симметрична к первой и обеспечивает движение ПАВ к выходу. Такая конструкция позволяет получить удвоенную по сравнению с ДФ на ВШП дисперсию при одинаковой длине звукопровода. Реализация расчетных характеристик дисперсионных фильтров требует тщательного соблюдения геометрических размеров ВШП, отражательных структур и соответствующей их ориентации относительно кристаллографических осей подложки. Конструкция обеспечивает снижение влияния температуры на работу ДФ. Здесь ПАВ, распространяясь между входным и выходным дисперсионными преобразователями, проходит путь в двух противоположных направлениях, в результате чего компенсируются температурные вариации угла отражения. Суммарная дисперсия в таком фильтре в шесть раз превышает дисперсию одной отражательной решетки. Реальные конструкции, выполненные на подложках из пьезокварца и ниобата лития, работают на частотах в диапазоне 50...1000 МГц. Максимальная ширина полосы пропускания составляет 5000 МГц, дисперсия 100 мкс.

Реализация высоких значений добротности  $Q > 10^4$  возможна в структурах **акустических резонаторов** на ПАВ. Простейший резонатор поверхностных акустических волн можно реализовать в виде протяженного встречно-штыревого преобразователя, реактивная акустическая проводимость которого достаточно высока по сравнению с емкостной проводимостью. При достаточно большом числе электродов  $N_{эл}$  между электрическими выводами преобразователя будет существовать последовательный резонанс на частоте акустического синхронизма  $f_0$ . Параллельный резонанс возможен на частоте  $f_2 = f_0(1 + 1/N_{эл})$ . Наибольшее значение добротности резонатор имеет при условии  $N_{эл} = \pi^2/4K^2$ . Максимальная величина добротности резонаторов на основе протяженного ВШП ограничивается потерями, обусловленными генерацией объемных волн и переизлучением ПАВ смежными электродами. Использование многоэлементных преобразователей с "расщепленными" электродами и подложек с малой величиной коэффициента электромеханической связи позволяет получить  $Q \sim 10^4$ . Реализовать более высокодобротные и технологические резонаторы можно с использованием принципа интерферометра Фабри-Перо для поверхностных акустических волн. Резонатор

типа Фарби-Перо состоит из двух распределенных отражателей с большим коэффициентом отражения, разнесенных на расстояние, обеспечивающее аддитивную интерференцию последовательных отражений между ними. Для возбуждения и съема поверхностных волн используются преобразователи встречно-штыревого типа. Более удобны для синтеза фильтров двухвходовые резонаторы-четырёхполюсники, непосредственно имеющие характеристику высокочастотных полосовых фильтров. Преобразователи связи можно расположить вне полости резонатора (слабая связь резонатора с нагрузкой) и внутри полости (сильная связь). Если отражательные структуры выполнены внедрением ионов или диффузией металла и имеют плоскую поверхность, преобразователи могут быть расположены над отражателями непосредственно.

Ненагруженная добротность резонатора определяется длиной резонансной полости  $l_{эфф}$  и модулем коэффициента отражения  $|\Gamma|$  отражательной структуры  $Q=2\pi l_{эфф}/\lambda(1-|\Gamma|^2)$ . Длина резонансной полости  $l_{эфф}$  состоит из физического расстояния между отражателями и двойной глубины эффективного проникновения энергии в отражатель  $l_{эфф}=l_n + 2l_p$ . Для получения резонанса на центральной частоте отражательной структуры  $f_0$  необходимо выполнение условия баланса фаз  $\Phi = \Phi_p + \Phi_n = m\pi$ , где  $m$  – целое число;  $\Phi_p$  – фаза отражательной решетки;  $\Phi_n$  – набег фазы при распределении волны между отражателями. Наибольшее распространение получила конструкция двухвходового резонатора с сильной связью с нагрузкой. При этом ВШП связи необходимо разместить внутри резонансной полости в максимумах стоячей волны (рис.1, а).

Таким образом, для реализации заданных характеристик двухвходовых резонаторов типа Фарби-Перо необходимо получить высокий коэффициент отражения структуры, выполнить условие баланса фаз в резонансной полости и обеспечить оптимальное расположение ВШП связи с нагрузкой.

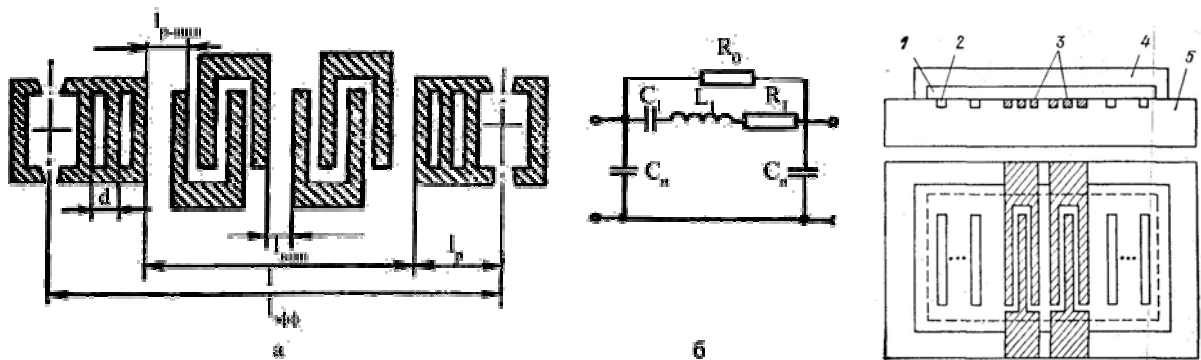


Рис. 1. Структура (а), эквивалентная схема (б) и конструкция (в) двухвходового резонатора: 1 – полость; 2 – канавки; 3 – утопленные ВШП; 4 – кварцевая крышка; 5 – кварцевая подложка

Частотные свойства одномодового двухвходового резонатора можно описать с помощью эквивалентной схемы (рис. 1,б). Вдали от резонатора такая схема описывает обычную линию задержки, образованную двумя преобразователями связи со статической емкостью  $C_n$  и сопротивлением излучения  $R_0$ . Полная статическая емкость преобразователя, содержащего  $N_{вшп}$  пар электродов,  $C_0=C_s W V N_{вшп} / f_0$ . Сопротивление излучения  $R_0=(8N_{вшп} f_0 K^2 C_0)^{-1}$

В точке резонанса между преобразователями образуется сильная связь в очень узком частотном интервале, аналогично одиночному резонансному контуру

с динамическими параметрами  $R_1$ ,  $L_1$ ,  $C_1$ . При  $|\Gamma| \approx 1$  элементы эквивалентной схемы можно аппроксимировать выражениями

$$R_I = \frac{1-|\Gamma|}{1+|\Gamma|} R_0 \cong \frac{1-|\Gamma|}{2|\Gamma|} R_0; \quad L_1 = I_{\text{эфф}} R_0 / 4\lambda f_0 |\Gamma|; \quad C_1 = 1 / (2\pi f_0)^2 L_1.$$

Отношение реактивного сопротивления  $X_1 = \omega_0 L_1 = 1 / \omega_0 C_1$  к активному сопротивлению  $R_1$  определяет нагруженную добротность резонатора  $Q = X_1 / R_1$ . Результирующая добротность резонатора  $1/Q = \sum 1/Q_i$ , где  $Q_i$  определяется различными механизмами потерь: распространения, дифракции пучка, генерации объемных волн, излучения в связи с утечкой энергии через отражательные решетки. Потери в материале определяют предел в добротности приблизительно до  $10^5$  на частоте 100 МГц. Резонаторы на основе отражающих металлических полосок имеют добротность не ниже  $10^4$  на частотах до 500 МГц. Более высокая добротность реализуется на основе отражателей с канавками, сформированными ионным травлением. Применяя акустическую или смешанную связь между резонаторами, реализуют многорезонаторные фильтры. На основе акустических резонаторов строятся также высокостабильные генераторы, использующие резонаторы в качестве элементов цепи обратной связи. При выборе конструкции резонатора основное внимание необходимо обращать на метод герметизации, который должен обеспечить вакуум внутри корпуса в течение времени сохраняемости резонатора. Весьма перспективен для резонаторов на ПАВ метод герметизации с помощью кварцевых крышек [6]. Крышка резонатора изготавливается из кварца такой же ориентации, что и подложка резонатора. Для создания свободной поверхности резонатора в крышке можно протравить углубления. Такая поверхность крышки полируется и должна иметь оптический контакт с поверхностью резонатора. Преимуществом конструкции является то, что температурные колебания не вызывают механических напряжений в резонаторе, так как крышка имеет такие же температурные коэффициенты расширения, что и подложка. Резонатор можно приклеить эластичными органическими компаундами в корпус, что обеспечивает хорошую механическую устойчивость и устраняет влияние температурных расширений подложки на частоту резонатора. Выступающие контактные площадки ВШП позволяют развивать выводы по обычной технологии гибридных микросхем. Дифференциальные структуры различной топологии на основе высокодобротных ПАВ-резонаторов составляют основу **прецизионных датчиков** различных физических величин: давления, температуры, влажности и пр.

**Генераторы на ПАВ [6].** В качестве стабилизирующего элемента в ПАВ генераторах используются акустические резонаторы или линии задержки. Обобщенные схемы ПАВ генераторов представлены на рис. 2а, б. Акустический элемент здесь выполняет традиционную роль стабилизации частоты, а колебательный режим поддерживается за счет цепи положительной обратной связи, в которую включен усилитель 1. В качестве стабилизирующего элемента в первом генераторе (рис.2,а) использован одноходовый ПАВ: резонатор 2, образованный встречно-штыревым преобразователем 3 и отражательными структурами 4. Усилитель подключен между разнополярными шинами преобразователя. Необходимо отметить, что селективные свойства резонатора определяются только размерами резонирующей полости и параметрами (шагом элементов) отражательной структуры. То есть роль преобразователя сводится лишь к связи резонатора с внешними электрическими цепями, а его селективные свойства никак не связаны с характеристиками генератора. Добротность ПАВ резонаторов достигает  $2 \cdot 10^4$ , что

позволяет синтезировать на их основе генераторы, конкурентноспособные с их аналогами на объемно-волновых кварцевых резонаторах. Диапазон частот ПАВ генераторов этого типа составляет от 20 до  $3 \cdot 10^3$  МГц. Недостатком генераторов, использующих одноходовые резонаторы, является невозможность перестройки частоты. Необходимость перестройки частоты возникает как в связи со спецификой устройств, использующих генераторы, так и в виде завершающей (подстроечной) операции при их изготовлении. В генераторах на основе ЛЗ линия задержки 5 образована входным 6 и выходным 7 преобразователями, расположенными в общем акустическом потоке на расстоянии  $L$ . Между ними в цепи положительной обратной связи включен усилитель 1, компенсирующий потери в ЛЗ. Частоты, на которых возможно возбуждение генератора, описываются соотношением:  $2\pi n = \omega L / u_a + \varphi_n + \varphi_y$ , где  $\omega$  – частота генерации;  $L$  – рабочая длина ЛЗ (расстояние между преобразователями);  $\varphi_n$  и  $\varphi_y$  – электрический сдвиг фазы в преобразователях и усилителе соответственно (при достаточно большом  $L$  этими фазовыми сдвигами можно пренебречь).

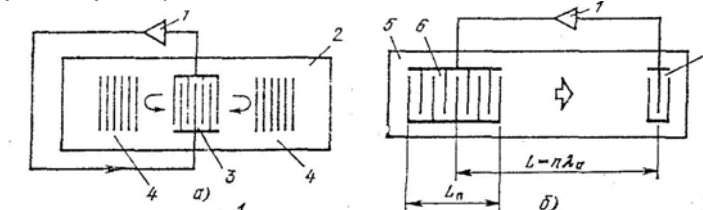


Рис. 2. ПАВ генераторы: а – на основе резонатора; б – на основе ЛЗ

Преобразуя это выражение, получаем:  $\omega = (2\pi u_a / L)n$ , т.е. гребенчатый спектр (1, рис. 3) с интервалом между составляющими  $\delta\omega = 2\pi u_a / L$ . Заметим, что частоты этих спектральных составляющих определяются скоростью ПАВ  $u_a$  и расстоянием между преобразователями  $L$  (фактически размерами резонирующей полости) и никак не зависят от селективных свойств преобразователей. Однако именно с помощью собственно преобразователей можно выделить необходимую спектральную составляющую и устранить возможность возникновения генерации на других частотах гребенчатого спектра. Известно, что АЧХ неаподизованного преобразователя ПАВ имеет огибающую, изменяющуюся по закону  $\text{sinc } X$ , где  $X = N'\pi(\omega - \omega_0) / \omega_0$ ;  $N'$  – число пар электродов,  $\omega$  – частота;  $\omega_0$  – центральная частота преобразователя. Нули частотной характеристики соответствуют значениям  $X = N'\pi(\omega - \omega_0) / \omega_0 \pm N'\pi$ , частотные интервалы между нулями  $\Delta\omega = \omega_0 / N'$ .

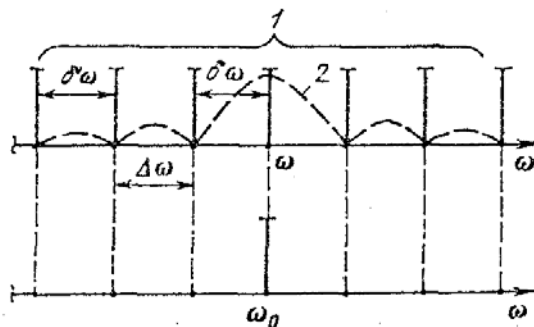


Рис. 3. Спектральные характеристики ПАВ генератора на ЛЗ

Условие одномодового возбуждения генератора (на частоте  $\omega_0$ ) заключается в обеспечении равенства:  $\delta\omega = \Delta\omega$ , т.е. совпадении всех частот гребенчатого спектра, за исключением  $\omega_0$ , с нулями АЧХ (2) какого-либо из преобразователей.

Приравняв выражения для  $\delta\omega$  и  $\Delta\omega$ , получим, что для обеспечения одномодового возбуждения протяженность одного из преобразователей должна быть равна расстоянию между преобразователями:  $L_n = L = n\lambda_a$ .

**ПАВ – датчики.** На рис. 4 приведена наиболее типичная конструкция ПАВ датчика «генераторного» типа. В данном случае датчик предназначен для измерения давления в газе или жидкости, однако при соответствующей модификации он может использоваться и для измерения температуры, механической нагрузки и т.п. На общей подложке (звукопроводе) расположены две пространственно разнесенных ЛЗ 1 и 2. Приложенное давление испытывает лишь участок звукопровода (диафрагма) 3, на которой размещена одна из ЛЗ. Другая ЛЗ находится при той же температуре, но несущая ее диафрагма давления не испытывает. На базе этих ЛЗ выполнены два ПАВ генератора; при одинаковом давлении на обе диафрагмы частоты генераторов  $f_1$  и  $f_2$  одинаковы и разностная частота  $\Delta f$ , выделяемая после смесителя, равна нулю. При изменении давления на рабочую диафрагму частота соответствующего генератора (на рис. 4  $f_2$ ) изменяется. Разностная частота  $\Delta f$  пропорциональна изменению давления  $\Delta P$ :  $|\Delta f| = f_0 \alpha_p \Delta P$ , где  $f_0 = f_1 = f_2$  – частота при отсутствии давления;  $\alpha_p$  – чувствительность датчика к давлению [5,6].

Изменение температуры окружающей среды не приводит к изменению  $\Delta f$  в результате одновременного ухода  $f_1$  и  $f_2$ . Значения чувствительности при использовании диафрагмы из пьезокварца  $u_x$  – среза, например, составляет по некоторым данным  $3 \div 7 \cdot 10^{-6} \text{ Па}^{-1}$  (на частоте около 100 МГц), отклонения характеристики от линейности  $\leq 0,5 \div 1,5\%$ . Некоторое усложнение конструкции датчика, вызванное использованием двух генераторов, полностью оправдано выигрышем в термоста-

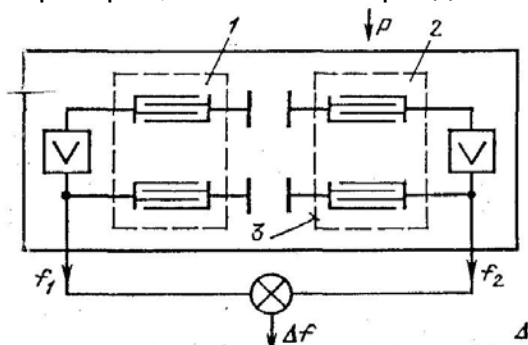


Рис. 4. ПАВ датчик давления

бильности. По аналогичному принципу выполнен и тензодатчик (датчик силы), изображенный на рис. 5, а. Линии задержки, используемые для стабилизации обоих генераторов 2, 3, расположены на параллельных гранях жестко закрепленной с одной стороны пластины 1. Акустический поглотитель 4 исключает распространение волны за пределы резонирующей полости генераторов. При изгибе звукопровода в направлении приложения силы  $F$  в результате механической деформации частота нижнего (по схеме) генератора  $f_2$  растет (рис. 5, б), а верхнего –  $f_1$  падает. Разностная частота  $\Delta f$ , выделяемая после смесителя 5, пропорциональна приложенному усилию; крутизна характеристики датчика (или чувствительность) составляет 18 Гц/Г. Применение датчиков на ПАВ очень перспективно. Это открывает технике ПАВ выход в новые области.

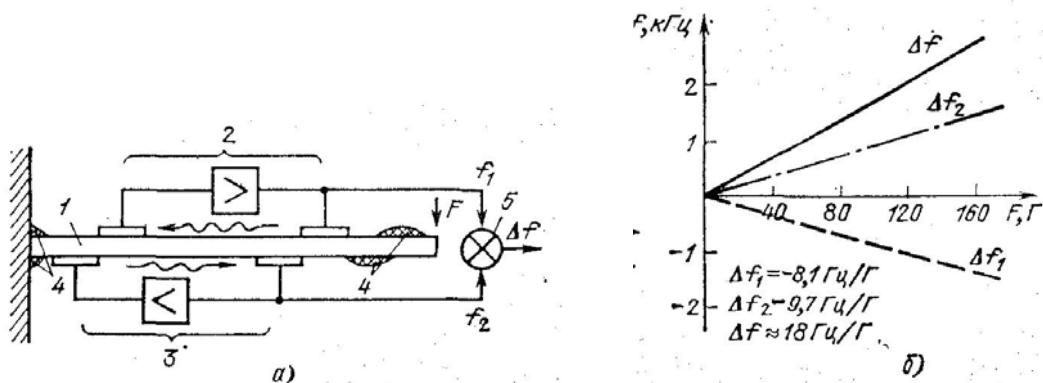


Рис. 5. ПАВ датчик силы (тензодатчик): а - структурная схема; б – характеристики

**Фазометрические устройства и частотные дискриминаторы.** Одним из наиболее распространенных методов измерения сдвига фаз электрических сигналов является компенсационный метод, основанный на применении фазовращателей и нуль-индикаторов. В фазометрических устройствах на ПАВ в качестве фазовращателей используются МЛЗ, расположение отводов которых определяет дискретный либо непрерывный отсчет фазового сдвига радиоимпульсов.

**Фазометр с дискретным отсчетом.** На поверхность звукопровода нанесены две группы идентичных электродных структур, образующих два канала устройства [4]. Входные преобразователи в обоих каналах содержат идентичные ВШП и электрически изолированы. Выходные преобразователи содержат  $N_{\Gamma}$  пар ВШП в каждом канале и соединены параллельно. Расстояния между входными преобразователями и первыми электродами ВШП выходных преобразователей каждого канала равны и определяют начальную задержку выходного сигнала  $t_0$ . В первом канале группы ВШП выходного преобразователя отстоят друг от друга на одинаковое расстояние, которое выбирается так, чтобы время задержки сигнала между ними ( $t_3=l/v$ ) было не меньше максимальной длительности исследуемых радиоимпульсов. Такой выбор величины исключает одновременное воздействие импульса упругих колебаний, распространяющегося в звукопроводе, на две соседние группы ВШП. Электроды ВШП второго канала смещены относительно электродов первого канала, причем величина смещения изменяется вдоль преобразователя. Если количество пар электродов в ВШП  $N_{\Gamma}$ , то приращение смещения  $\Delta l$  определяется из соотношения  $\Delta l = \lambda / (N_{\Gamma} - 1)$ . Смещение электродов в  $m$ -й паре выходного преобразователя  $\Delta l_m = (m-1) \Delta l = \lambda (m-1) / (N_{\Gamma} - 1)$ . При подаче на вход фазометрического устройства двух радиоимпульсов, имеющих произвольный сдвиг фазы  $\psi$ , с каждой  $m$ -ой пары электродов выходного ВШП последовательно снимается суммарный электрический сигнал. Вследствие того, что смещение электродных решеток в парах возрастает от 0 до  $\lambda$ , вызываемый этим смещением дополнительный фазовый сдвиг ступенчато изменяется от 0 до  $360^\circ$  и определяется по формуле  $\phi = \Delta\phi(m-1)$ . Элементарное приращение сдвига фаз  $\Delta\phi$ , равное шагу ступенчатого отсчета, соответствует приращению смещения ВШП  $\Delta l$  и вычисляется как  $\Delta\phi = 360^\circ / (N_{\Gamma} - 1)$ . Существует определенная пара ВШП выходного преобразователя, на которой импульсы складываются в противофазе (с точностью до шага ступенчатого отсчета  $\Delta\phi$ ), т.е.  $\phi + \psi \approx \pm 2\pi n$ . Суммарный сигнал максимальной амплитуды снимается с пары электродных решеток, обеспечивающей синфазное сложение радиоимпульсов. Фазовый сдвиг входных сигналов оп-



ределяется по временному положению минимального уровня огибающей выходного сигнала фазометрического устройства  $t_{\min}$  и может быть найден из соотношения

$$\psi = \left\{ E \left[ \frac{t_{\min} - t_0}{t_3 + \tau_p} \right] \right\} \Delta\varphi - 180^\circ,$$

где  $E$  – символ выделения целой части числа;  $\tau_p$  – время распространения ПАВ вдоль одной группы ВШП.

Выходной сигнал фазометрического устройства наблюдается на электронно-лучевом индикаторе.

**Фазометр с непрерывным отсчетом.** Каждый из выходных преобразователей фазометра с непрерывным отсчетом фазового сдвига представляет собой эквидистантный преобразователь с периодом  $\lambda_1 = \pi u / (\bar{\omega}_0 - \Omega)$  и  $\lambda_2 = \pi u / (\bar{\omega}_0 + \Omega)$ , где  $\Omega$  – частота расстройки каждого канала относительно частоты заполнения  $\bar{\omega}_0$  измеряемого радиоимпульса. В этом случае смещение электродов первого канала относительно соответствующих им электродов второго канала изменяется вдоль длины выходного преобразователя. Максимальное смещение для исключения неоднозначности отсчета сдвига фаз не должно превышать двух длин волн. Входные преобразователи с периодом  $\lambda_0 = \pi u / \bar{\omega}_0$ , настроены на частоту  $\bar{\omega}_0$  в обоих каналах. Если на входы устройства одновременно подать два радиоимпульса одинаковой амплитуды с разностью фаз  $\psi$ , то с выходного преобразователя снимется сигнал с огибающей, имеющей минимум в точке, временное положение которой определяется сдвигом фаз входных радиоимпульсов. Минимальный уровень выходного сигнала соответствует пространственному положению тех электродов ВШП первого и второго каналов, относительное смещение которых дополняет фазовый сдвиг  $\psi$  до  $180^\circ$ . Уровень выходного сигнала, снимаемый с других электродов выходного преобразователя, отличен от нуля и достигает максимума для пары электродов с пространственным сдвигом, компенсирующим  $\psi$  до 0 ( $360^\circ$ ). Пусть на вход устройства поступают импульсы

$$s_1(t) = \begin{cases} \cos(\omega_c t + \varphi) & \text{при } t \in [0, T_C], \\ 0 & \text{при } t \in [0, T_C] \end{cases}; \quad s_2(t) = \begin{cases} \cos \omega_c t & \text{при } t \in [0, T_C], \\ 0 & \text{при } t \in [0, T_C] \end{cases}$$

где  $T_C$  – длительность входного сигнала.

Если  $T_C \in [0, T_H]$ , то отклик каждого канала

$$S_{\text{ВЫХ}}(t) = 0,5T_C \frac{\sin[0,5T_C(\omega_c - \omega_p)]}{0,5T_C(\omega_c - \omega_p)} \cos[\omega_p t + 0,5T_C(\omega_c - \omega_p) + \varphi]$$

Поскольку выходные преобразователи соединены электрически, выходной сигнал фазометрического устройства определится в виде суммы

$$S_{\text{ВЫХ}}(t) = S_{\text{ВЫХ1}}(t) + S_{\text{ВЫХ2}}(t)$$

Учитывая, что  $\bar{\omega}_{p1} = \bar{\omega}_c - \Omega$  и  $\bar{\omega}_{p2} = \bar{\omega}_c + \Omega$ , преобразуем последнее равенство

$$S_{\text{ВЫХ}}(t) = 2T_C \frac{\sin \Omega T_C}{\Omega T_C} \sin(\Omega t - 0,5\Omega T_C - 0,5\varphi) \sin(\omega_c t + 0,5\varphi)$$

Временное положение минимума огибающей выходного сигнала определяется из условия  $\Omega t - 0,5\Omega T_C - 0,5\varphi = \pi n$ ,  $n=0,1,2, \dots$ . Отсюда  $t_{\min} = 0,5(T_C + \psi/\Omega)$ .

Следовательно, в фазометре с непрерывным отсчетом положение минимума огибающей выходного сигнала зависит не только от разности фаз выходных сигналов, но и от их длительности. Поэтому, в отличие от фазометров с дискрет-

ным отсчетом, необходима нормировка входных радиоимпульсов по длительности. Фазометрами с непрерывным отсчетом измеряют фазовый сдвиг радиоимпульсов, длительность которых соизмерима с длительностью импульсной характеристики выходного преобразователя, что в  $N_n$  раз больше ( $N_n$  – число секций ВШП) по сравнению с фазометрами с дискретным отсчетом.

**Частотные дискриминаторы.** На основе двухфазных аподизованных преобразователей поверхностных волн можно синтезировать частотные дискриминаторы, применяемые в системах автоподстройки частоты, частотных детекторах и других функциональных узлах радиоаппаратуры. На рис. 6 изображен частотный дискриминатор, построенный по классической двухканальной схеме.

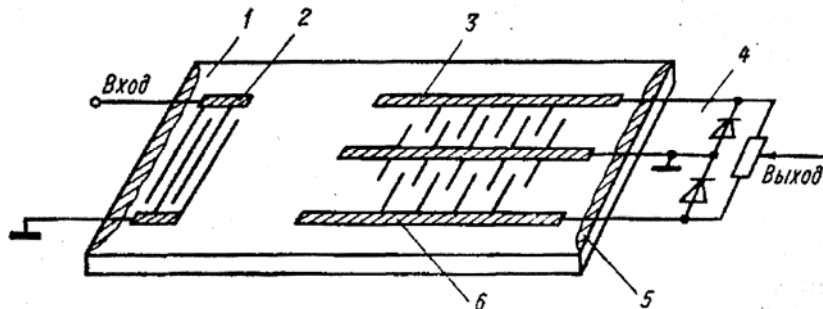


Рис. 6. Частотный дискриминатор: 1 – звукопровод; 2 – входной ВШП; 3,6 – выходные ВШП; 4 – диоды; 5 – поглотитель

Сигнал поступает на входной широкополосный преобразователь с постоянным перекрытием электродов. Входной преобразователь настроен на среднюю частоту дискриминатора  $f_0 = \nu \lambda_0$ , а число пар электродов определяется соотношением  $N_{п.вх} \leq (f_1 + f_2) / 2(f_1 - f_2)$ , где  $f_1, f_2$  – граничные частоты дискриминатора. Два выходных преобразователя, настроенных на частоты  $f_1, f_2$ , выполняются аподизованными. Для получения результирующей линейной характеристики дискриминатора необходима аподизация по закону  $[(\sin x) / x]^2$ . Максимальная линейность дискриминационной характеристики достигается при выборе полосы пропускания канальных фильтров  $\Delta f = 0,6(f_1 - f_2)$ . Для некогерентного обнаружения частотоманипулированных сигналов (ЧМн) в белом гауссовом шуме предложено устройство с использованием ФП на ПАВ (рис. 7). Допустим, что центральная частота

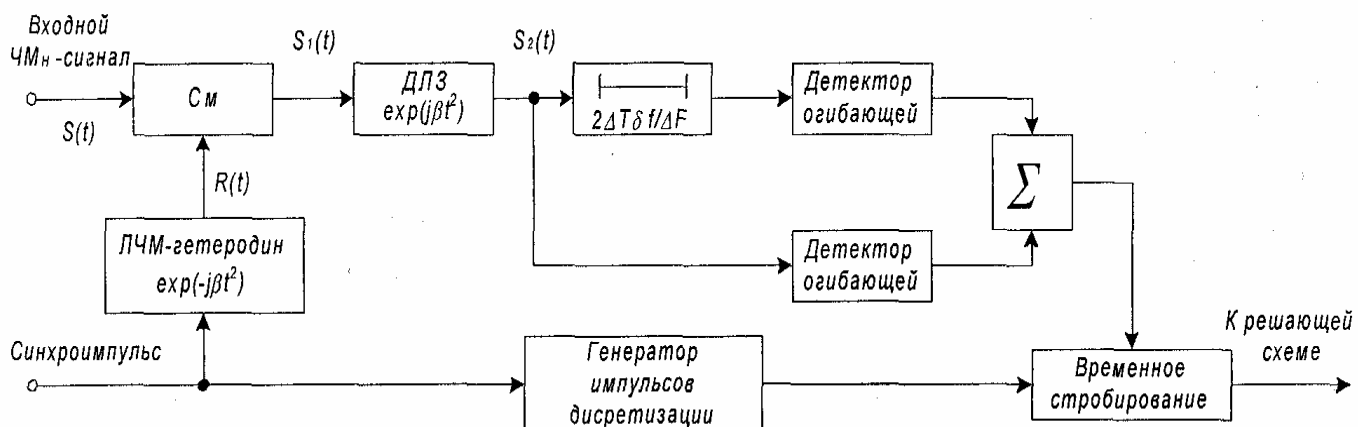


Рис. 7. Структурная схема демодулятора ЧМн-сигналов

канала  $f_0$ , частота знаков  $f_{\text{зн}}$ , частота пробелов  $f_{\text{пр}}$ , разность частот знаков и пробелов  $\delta f = 0,5(f_{\text{зн}} - f_{\text{пр}})$ , а длительность двоичного символа равна  $T$ . Положим далее, что ЧМн-сигналы синусоидальны и имеют прямоугольную огибающую на интервале двоичного символа длительностью  $T$ . Входной сигнал поступает на смеситель, где смешивается с сигналом опорного ЛЧМ-гетеродина  $R(t) = \exp(-j\beta t^2)$  с полосой качания  $B$  на временном интервале  $T$ . Выходной сигнал смесителя  $s_1(t)$  разностной частоты  $f_0$  имеет форму сигнала с линейной ЧМ с полосой качания  $B$  на интервале длительности двоичного символа  $T$ . Сигналы выделяются при использовании согласованного относительно колебания  $s_1(t)$  фильтра. Каждый из импульсов с линейной ЧМ составляющих  $s_1(t)$  согласуется с различными участками характеристики ДЛЗ. Например, сигнал знаков согласуется с областью характеристики линии, расположенной между точками А и В, а сигнал пробелов согласуется с участком, располагающимся между точками С и D. Длительность сжатого импульса между первыми нулями составляет  $\pm \Delta t / T$ , а временной интервал между вершинами этих импульсов  $t = \Delta t / 2T$ . Указанные кривые получены в предположении, что  $\Delta t / T = 0,05$ . Сжатые импульсы, соответствующие знаковому и пробельному сигналам, появляются в разные моменты времени, соответственно  $t_{\text{зн}}$  и  $t_{\text{пр}}$ . В любой момент времени присутствует один из этих импульсов, определяемый видом информационной последовательности. Решения относительно вида двоичного символа выносятся в результате сравнения огибающих на выходе после их дискретизации в моменты времени  $t_{\text{пр}}$  и  $t_{\text{зн}}$ .

### Список литературы

1. Каринский С.С. Устройства обработки сигналов на поверхностных акустических волнах. – М.: Сов. радио, 1975. – 176с.
2. Речицкий В.И. Акустоэлектронные радиокомпоненты. – М.: Сов. радио, 1980. – 264с.
3. Поверхностные акустические волны / Под ред. А. Олинера. – М.: Мир, 1981 – 390с.
4. Акустоэлектроника / Хорунжий В.А., Долбня Е.В., Богатов Л.И. / Под ред. В.А.Хорунжего. – Киев, Техніка, 1984 – 152с.
5. Функціональна мікроелектроніка: прилади із зарядовими зв'язками, циліндричні магнітні домени, давачі: Навч. посібник / Ю.О.Гордієнко, М.І. Сліпченко, В.А. Хорунжий та ін. – Київ, ІСДО, 1996 – 52с.
6. Интегральные пьезоэлектрические устройства фильтрации и обработки сигналов / Спр. Пособие / Под ред. Б.Ф. Высоцкого и В.В. Дмитриева. – М.: Радио и связь, 1985. – 176с.

## Численное моделирование напряженно-деформируемого состояния в месте крепления пули в гильзе патрона

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»,  
Университет гражданской защиты Украины*

Одними из основополагающих факторов, которые оказывают существенное влияние на эффективность и область применения вновь разрабатываемого метода демонтажа, являются как конструкция самого объекта исследования – боеприпаса, так и конструкция его отдельных элементов снаряжения. В связи с этим при разработке новой рациональной технологии и нестандартного оборудования для утилизации мелкокалиберных авиационных унитарных патронов предусматриваются проведение всесторонних исследований и анализ достаточно большого количества параметров утилизируемого объекта.

Особое внимание уделяется разработке метода демонтажа, при котором имеется возможность повторного использования компонентов унитарного патрона в последующем производстве таких же видов боеприпасов для повышения эффективности технологии утилизации в целом и снижения себестоимости вновь изготавливаемых образцов.

Очевидно, что необходимо ввести в расчетные зависимости для определения  $F_{узвл}$  поправки, учитывающие крепление пули в дульце гильзы. Для этой цели используем хорошо оправдавший себя по достоверности получаемых результатов метод конечных элементов (МКЭ).

МКЭ позволяет провести более точный расчет, заключающийся в том, что учитывается взаимное влияние двух деформируемых тел, а также снятие напряжений за счет деформаций ползучести в материале гильзы. По МКЭ можно достаточно точно определить контактное давление и извлекающее пулю усилие, а также учесть в расчетах влияние технологического фактора (перекоса), усилие, что имеет актуальное значение для проектирования технологического оборудования.

При численном моделировании напряженно-деформируемого состояния (НДС) в узлах крепления боеприпаса в качестве конечного элемента принимался плоскостной элемент PLANE2D для решения осесимметричных задач и SHELL3 для решения задач по определению контактного давления при перекосе постановки пули. На первоначальном этапе исследований была установлена приемлемость МКЭ для расчета НДС составных цилиндров.

В первом случае рассматривался цилиндр, в который с натягом  $\delta = 100$  мкм впрессован сплошной стержень. Диаметр контактной поверхности  $d = 9,25$  мм. Диаметр наружной поверхности после установки сплошного стержня составил 9,75 мм. Толщина стенок обечайки принималась равной 0,25 мм.

В качестве материала составного цилиндра принималась сталь со следующими механическими характеристиками: модуль упругости  $E = 215$  ГПа, предел прочности  $\sigma_s = 300$  МПа и коэффициент Пуассона  $\mu = 0,25$ .

При рассмотрении НДС составного цилиндра при помощи МКЭ получено распределение окружных и радиальных напряжений, а также радиальное

перемещение контактирующих тел по внутреннему и внешнему цилиндру (рис. 1 – 4).

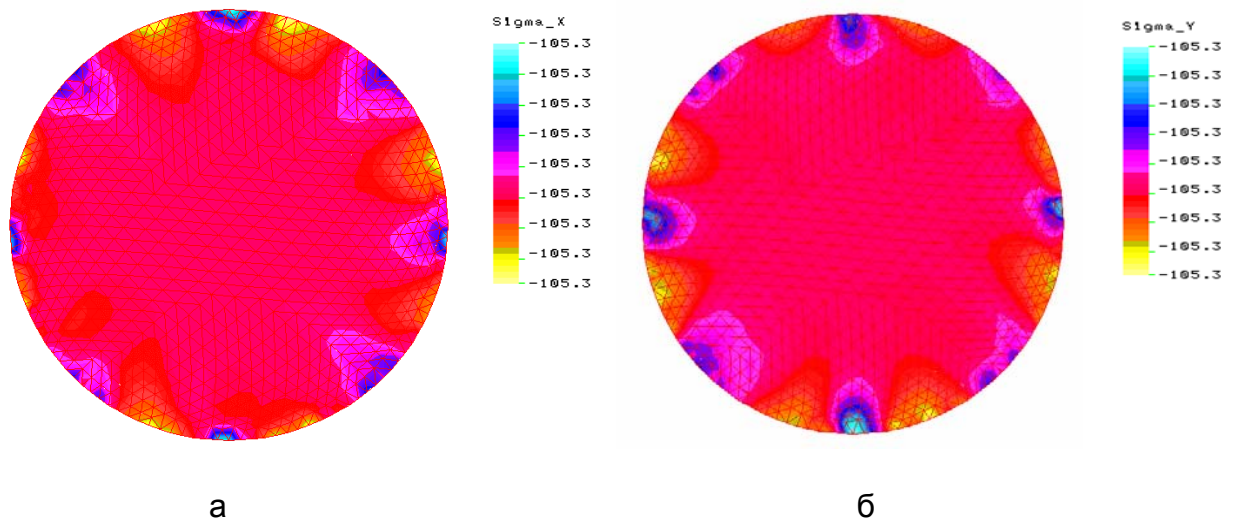


Рис. 1. Распределение напряжений по внутреннему цилиндру: а - радиальных; б - окружных

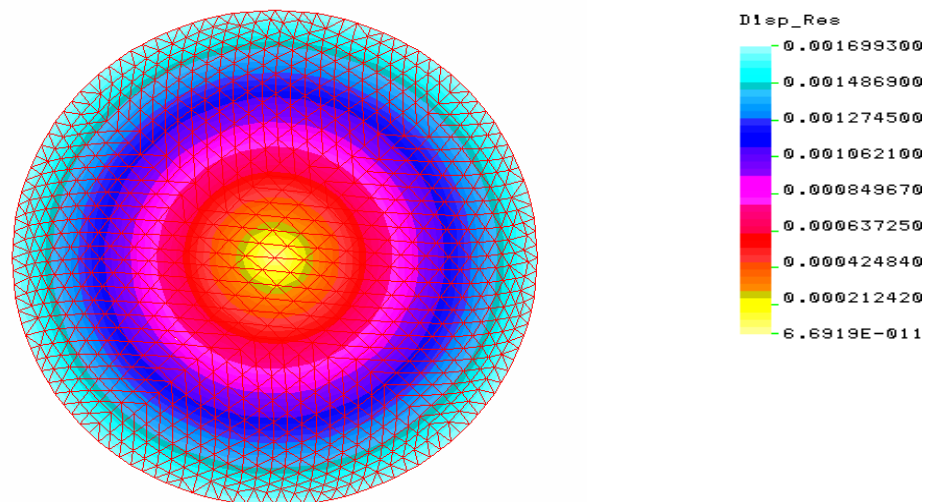


Рис. 2. Радиальное перемещение по сечению внутреннего цилиндра

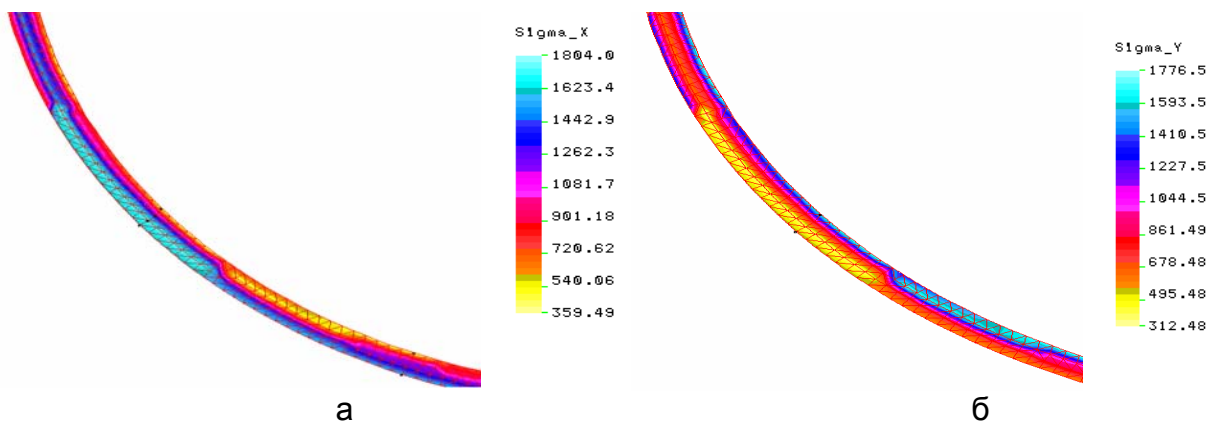


Рис. 3. Распределение напряжений по толщине внешнего цилиндра: а - радиальных; б - окружных

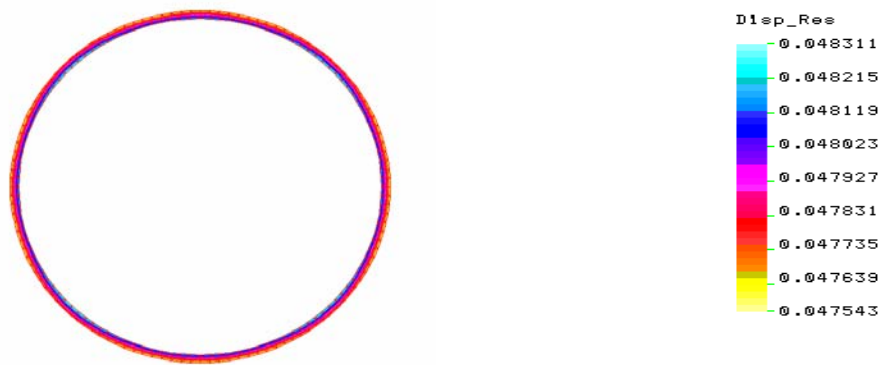


Рис. 4. Перемещение кольца в поперечном сечении

При сравнении результатов, полученных с помощью расчетно-аналитического метода [1], и значений, полученных с помощью МКЭ, видно, что они полностью совпадают для напряжений по внутреннему цилиндру, радиальных перемещений по внутреннему и внешнему цилиндрам и незначительно отличаются для радиальных и окружных напряжений по внешнему цилиндру.

Отклонение в значениях по напряжению может быть устранено применением большего количества элементов по сечению или переходом на конечный элемент более высокого порядка, что и было сделано в дальнейшем.

Подтвержденный результат теоретических исследований МКЭ показал необходимость перехода к рассмотрению составного цилиндра под действием контактного давления как единого деформируемого объекта, НДС которого нельзя рассматривать по отдельным элементам без учета их взаимодействия. При рассмотрении составного цилиндра с обечайкой толщиной 1 мм, нагруженного контактным сжимающим давлением по внутреннему контуру обечайки, равным 105 МПа, из рис. 5 и 6 видно следующее:

- радиальные и окружные напряжения во внутреннем цилиндре возрастают с 105 до 196 МПа;
- окружные напряжения во внешней обечайке падают до 53 МПа;
- радиальные перемещения на внешней поверхности составного цилиндра составляют 1,69 мм и равны радиальным перемещениям внутреннего цилиндра, нагруженного внешним давлением;
- на границе контакта радиальное напряжение меньше контактного давления и равно 97 МПа.

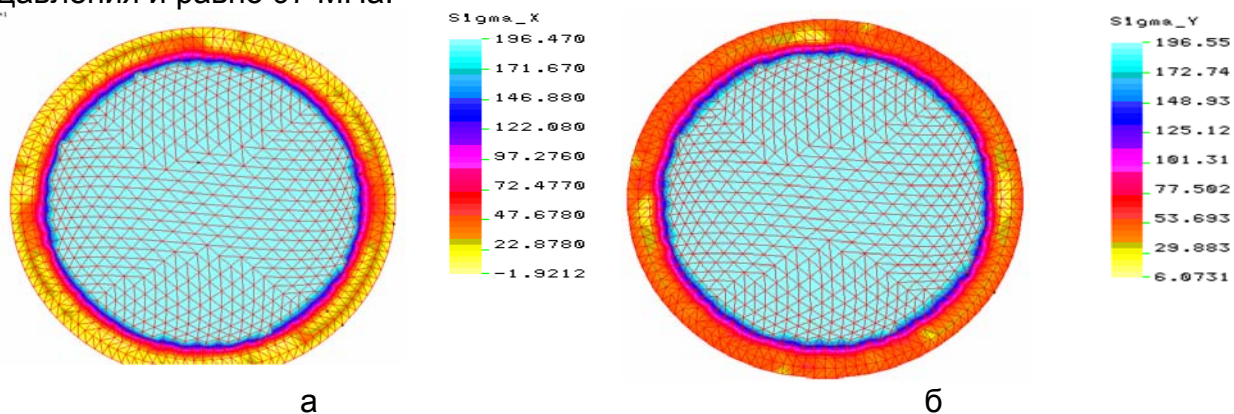


Рис. 5. Распределение напряжений по сечению составного цилиндра: а - радиальных; б - окружных

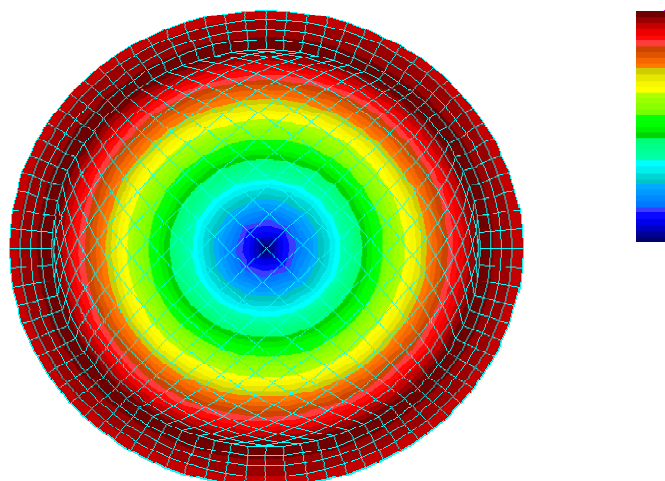


Рис. 6. Распределение радиальных перемещений по сечению составного цилиндра

При исследовании влияния толщины внешней обечайки на НДС составного цилиндра было замечено, что при уменьшении ее толщины радиальные напряжения во внутреннем цилиндре уменьшаются так же же, как и контактные.

При этом последние уменьшаются значительно больше при уменьшении толщины обечайки, что объясняется пластической деформацией обечайки и перераспределением напряжений. Данные о характере изменения параметров НДС в зависимости от толщины обечайки представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Изменение радиальных напряжений  $\sigma_r$  в составном цилиндре при  $p_k = 105$  МПа в зависимости от толщины  $t$  обечайки

Толщина $t$ , мм	Напряжение $\sigma_r$ во внутреннем цилиндре, МПа	Напряжение $\sigma_r$ на контактной поверхности, МПа
1,00	196	97
0,85	101	79
0,60	89	46
0,25	22	16

Следующий этап исследований - анализ распределения напряжений по высоте цилиндра, так как во многих источниках указывается на его неравномерность [2 - 4].

Поэтому было рассмотрено решение МКЭ по продольному сечению составного цилиндра, т.к. нагрузка является осесимметричной. На рис. 7 представлено НДС составного цилиндра с толщиной обечайки 0,25 мм и нагруженного контактным давлением 105 МПа.

Из рис. 7 видно, что существует неравномерность в распределении радиальных напряжений по высоте составного цилиндра, что является следствием действия краевых эффектов. Распределение параметров НДС составного цилиндра в условиях краевого эффекта показано на рис. 8.

Таким образом, неравномерность распределения радиальных напряжений по продольному сечению соответственно оказывает влияние в конечном итоге на

извлекающее усилие, которое в данном случае является интегральной характеристикой и определяется как

$$F_{извл} = f \cdot \pi \cdot d_1 \cdot \int_l \sigma_r |_{r=r_1} dl, \quad (1)$$

где  $f$  – коэффициент трения;  
 $d_1$  – внутренний диаметр внешнего цилиндра;  
 $\sigma_r$  – окружные напряжения.

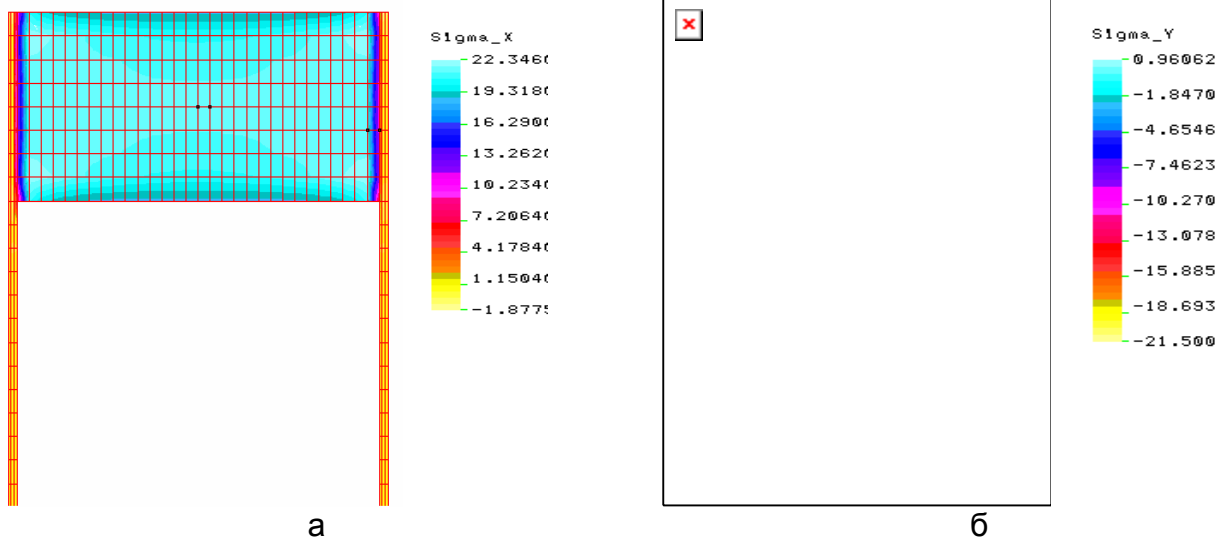


Рис. 7. Распределение напряжений по продольному сечению: а - радиальных; б - окружных

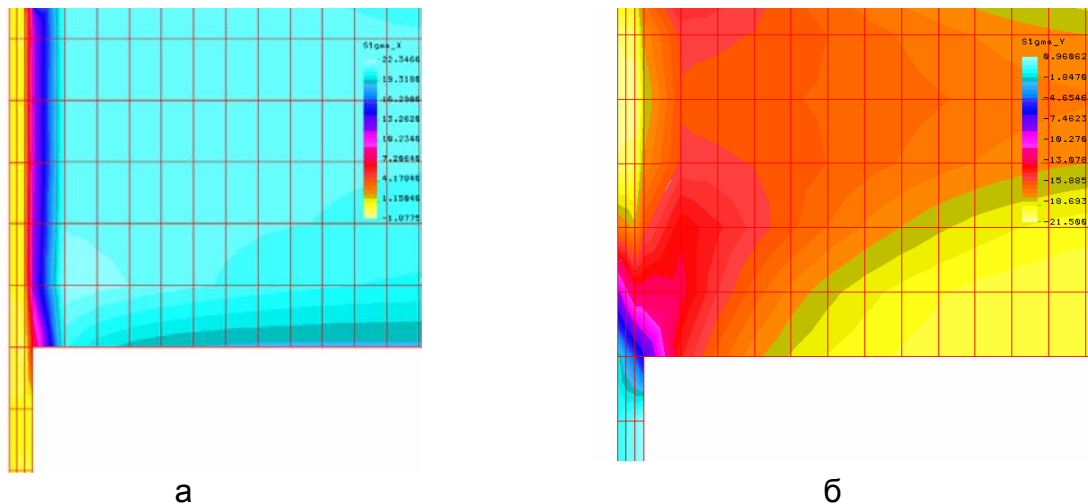
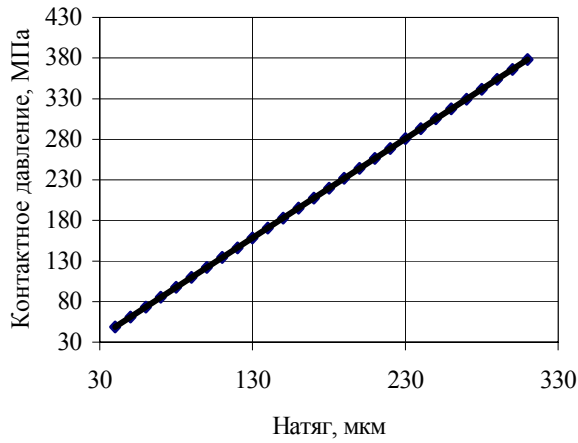


Рис. 8. Распределение радиальных напряжений в зоне краевого эффекта: а - радиальных; б - окружных

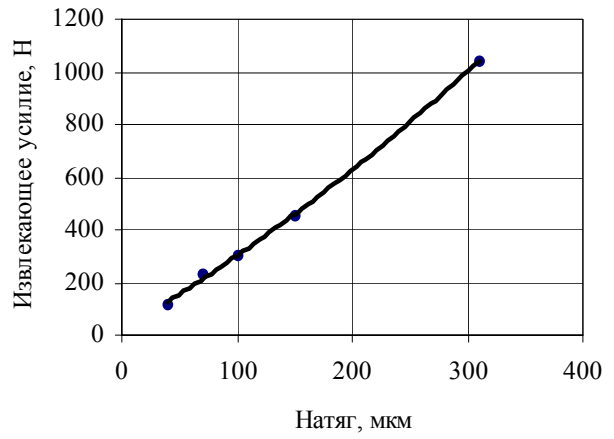
Расчет извлекающего усилия (1) по полученным радиальным напряжениям на поверхности контакта совпадает с полученным экспериментальным значением и зависит от натяга.

Значения извлекающего усилия полученного МКЭ в зависимости от натяга для различных снарядов представлены на рис. 9 - 11.



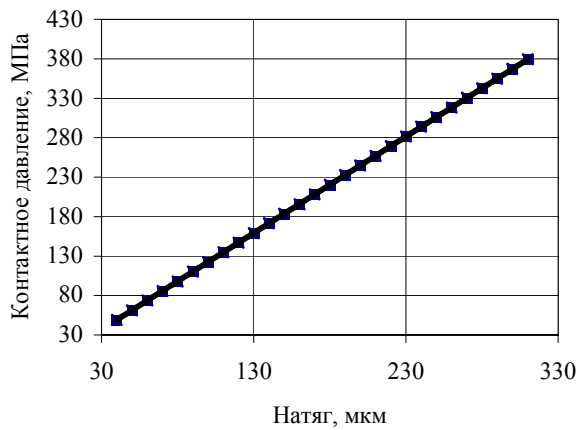


а

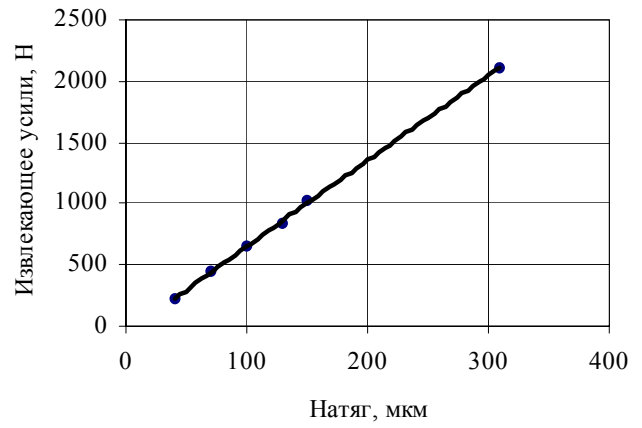


б

Рис. 9. Зависимость величины патрона калибра 9×18ПМ от натяга: а - контактного давления; б - извлекающего усилия

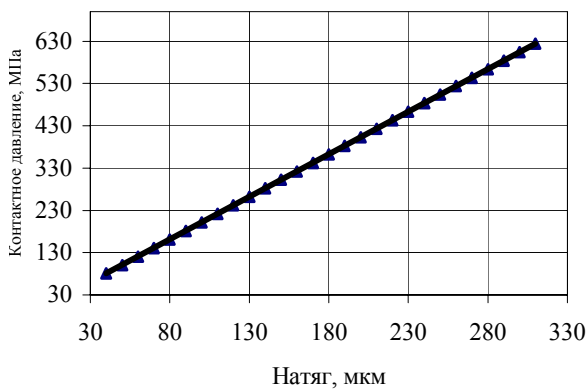


а

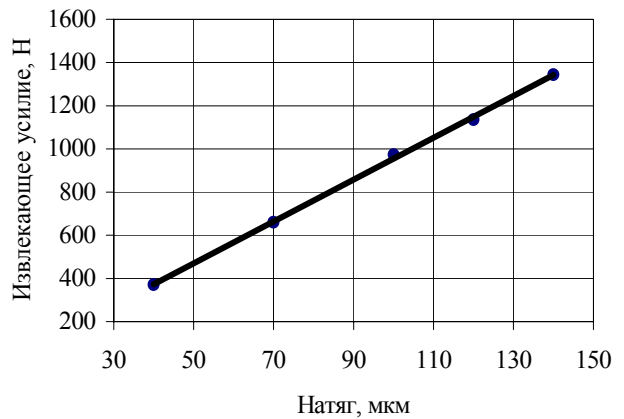


б

Рис. 10. Зависимость величины калибра 9×19 «Parabellum» от натяга: а - контактного давления; б - извлекающего усилия



а



б

Рис. 11. Зависимость величины калибра 7,62×39 от натяга: а - контактного давления; б - извлекающего усилия

Анализ представленных на рис. 9 - 11 данных о характере изменения величины извлекающего усилия в зависимости от натяга подтверждает правильность выбора метода конечных элементов, а полученные значения удовлетворительно коррелируются с экспериментальными данными и техническими условиями на проектирование патронов [5, 6].

Для случаев НДС гильзы при «чистом» натяге, когда отсутствуют дополнительные виды обжима ее дульца, расчетные данные достоверны. При наличии дополнительных факторов, реализованных в виде обжима дульца или кромки гильзы, необходимо их уточнение.

Различия между данными о величине извлекающего пулю усилия для патрона калибра 7,62×39 может быть объяснено рядом положений. Прежде всего, это различные методы определения величины извлекающего усилия.

В заводских условиях измерение происходит с помощью специального устройства, соединенного с динамометром. Устройство снабжено захватом, который вытягивает пулю из гильзы, и гнездом для фиксации донца гильзы. При приложении нагрузки происходит продольное перемещение узлов фиксации элементов снаряжения и определяется величина усилия. Скорости перемещения механизмов устройства незначительные. При инерционном демонтаже извлечение пули происходит при достаточно больших скоростях соударения.

Кроме того, имеется определенная специфика в самом понятии «извлекающее пулю усилие» в зависимости от аспектов его применения. Для процесса демонтажа имеет большое значение извлекающее усилие, которое гарантирует полный выход пули из гильзы, что и было реализовано во время проведения натурных исследований для патрона калибра 7,62×39. При проектировании патронов задается усилие, которое обеспечивает определенное значение давления форсирования [7 - 9], обеспечивающего начало движения пули в канале ствола.

В данном случае имеет значение усилие, при котором пуля начинает выходить из дульца гильзы, а оно, естественно, значительно меньше усилия, гарантирующего полный выход пули из дульца гильзы. Наличие дополнительного обжатия дульца гильзы только повышает это значение.

Расчет параметров НДС гильзы производился для наиболее простого случая нагружения, когда и сплошной стержень и тонкостенная обечайка имеют цилиндрическую форму, которая обладает относительной устойчивостью при продольном сжатии (расчетная модель патронов калибра 9×18 ПМ и 9×19 «Parabellum» с короткой цилиндрической гильзой).

Однако есть другой случай расчета НДС составного цилиндра, когда наружная тонкостенная труба при осевом сжатии обладает меньшей устойчивостью, что связано с ее конструктивными особенностями (расчетная модель патрона калибра 7,62×39 с относительно длинной гильзой бутылочной формы).

При перекосе характер распределения радиальных напряжений по поперечному сечению становится неоднородным, и поэтому извлекающее усилие

$$F_{извл} = f \cdot \int_s \int_{r=r_1} \sigma_r | dlds, \quad (2)$$

где:  $s$  – площадь контактной поверхности.

Взаимное перемещение контактирующих тел показано на рис. 12.

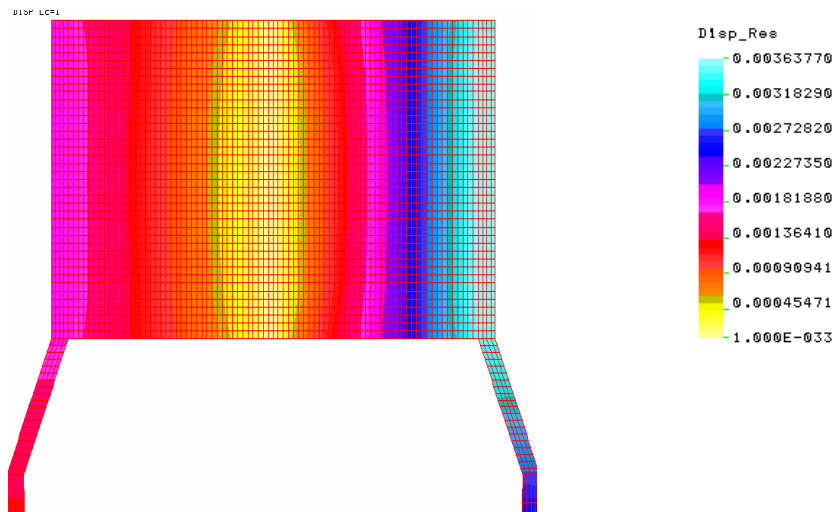


Рис. 12. Взаимное перемещение контактирующих объектов в продольном сечении при расчетной модели патрона калибра 7,62×39

Характер деформаций дульца гильзы при возникновении перекоса, максимальное значение которого находится в пределах величины натяга в процессе снаряжения (при продольном сжатии), показан на рис. 13.

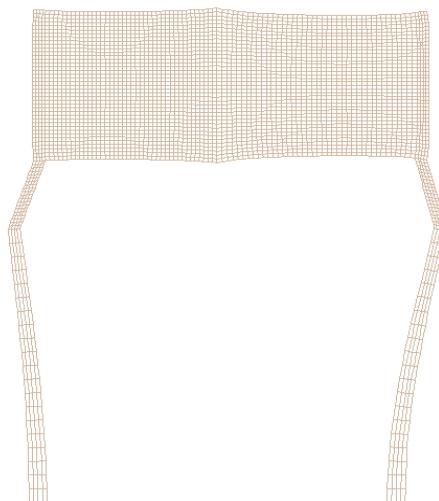


Рис. 13. Деформации дульца гильзы патрона 7,62×39 при перекосе

Данные о значениях величины извлекающего пулю усилия в условиях натяга и перекоса представлены в табл. 2.

Таблица 2

Значения извлекающего пулю усилия  $F_{извл}$  патрона калибра 7,62×39 с учетом величины натяга  $\delta$  и перекоса

$\delta$ , мкм	40	70	100	120	140
$F_{извл}$ без учета перекоса, Н	370,721	660,347	973,143	1135,333	1343,863
$F_{извл}$ с учетом перекоса, Н	926,802	1633,489	2328,591	2791,992	3266,978

В некоторых боеприпасах для повышения величины давления форсирования [7 - 9] применяется дополнительное обжатие кромки дульца гильзы, и при расчете извлекающего усилия необходимо учитывать добавку на раскрытие этого обжатия которое произойдет, когда напряжения на данном участке достигнут значений предела текучести материала.

Извлекающее усилие, потребное для раскрытия обжатия, может быть вычислено по формуле:

$$F_{извл}^* = n \cdot \sigma_{0,2} \cdot \pi \cdot d \cdot t, \quad (3)$$

где  $n$  – количество рядов обжима;

$\sigma_{0,2}$  – предел текучести материала;

$d$  – диаметр дульца гильзы в месте обжима;

$t$  – толщина стенки дульца гильзы.

Таким образом, полное расчетное извлекающее усилие для патрона калибра 7,62x39 с учетом дополнительного усилия, необходимого для извлечения пули из гильзы при наличии дополнительного обжима дульца гильзы, а также с учетом натяга будет равно  $F_{извл.общ} = 1973...2263$  Н.

Во время проведения натурных исследований установлено, что  $F_{извл.общ} = 2346$  Н [10].

Исходя из исследований можно предложить алгоритм определения технологических параметров оборудования для демонтажа авиационных боевых припасов.

С учетом технологических допусков на размеры посадочных мест элементов снаряжения боеприпаса определяется максимальное значение скорости соударяемых частей технологического оборудования – инерционной установки, гарантирующее полное извлечение пули из гильзы в момент соударения.

Максимальное значение скорости

$$V_{max} = \frac{F_{извл.общ} \cdot T^2}{m_{пули}}, \quad (4)$$

где  $F_{извл.общ}$  – общее значение извлекающего пулю усилия, зависящее от вида обжима дульца гильзы патрона;

$T$  – время движения контейнера в направляющих инерционной установки;

$m_{пули}$  – масса пули демонтируемого образца боеприпаса.

Общее значение извлекающего пулю усилия с учетом конструктивных особенностей обжатия дульца гильзы таково

$$F_{извл.общ} = F_{извл} + F_{извл}^* \quad (5)$$

### Заключение

Для численного моделирования напряженно-деформируемого состояния в узлах крепления элементов снаряжения авиационных боеприпасов в наибольшей

степени подходит метод конечных элементов (МКЭ), который, учитывая взаимное влияние деформируемых тел и снятие напряжений за счет деформаций ползучести в материале гильзы, позволяет провести более точный расчет и получить достоверные данные о величине и характере изменения напряжений и деформаций.

Применение МКЭ для численного моделирования НДС в узлах крепления элементов снаряжения боеприпасов позволяет не только получить данные о напряжениях и деформациях объектов исследования в условиях «классического» натяга, но и определить параметры НДС в условиях действия дополнительного технологического фактора – перекоса.

Значения извлекающего пулю усилия, полученные на основе данных численного моделирования МКЭ, удовлетворительно коррелируются с данными проведенных экспериментальных исследований.

Предложен алгоритм расчета технологических параметров для демонтажа элементов снаряжения авиационных боеприпасов. Алгоритм учитывает конструктивные особенности образцов патронов, подвергающихся утилизации, и ряд технологических факторов, имеющих отношение к условиям обжима и крепления их компонентов.

При этом также учитываются физико-механические характеристики материалов, применяемых для изготовления элементов снаряжения унитарных патронов.

### Список литературы

1. Нечипорук Н.В., Полищук Е.А., Кобрина Н.В. Исследование процесса демонтажа авиационных мелкокалиберных боеприпасов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: НАКУ «ХАИ». - 2006. - Вып. 30. - С. 179 - 182.
2. Писаренко Г.С., Агарев В.А., Квитка А.Л. Сопrotивление материалов. – К.: Вища шк., 1973. – 668 с.
3. Феодосьев В.И. Сопrotивление материалов. - М.: Наука, 1979. – 560 с.
4. Фесик С.П. Справочник по сопроtивлению материалов. – К.: Строитель, 1970. – 308 с.
5. Данилин Г.А., Огородников В.П., Заволокин А.Б. Основы проектирования патронов к стрелковому оружию. – СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2005. – 374 с.
6. Кириллов В.М., Сабельников В.М. Патроны стрелкового оружия. – М.: Машиностроение, 1980. – 372 с.
7. Высокоскоростные ударные явления / Пер. с англ. В.А. Васильева; Под ред. проф. В.Н. Николаевского. - М.: Мир, 1973. – 533 с.
8. Серебряков М.Е. Внутренняя баллистика ствольных систем и пороховых ракет. – М.: Оборонгиз, 1962. – 704 с.
9. Газодинамические основы внутренней баллистики / Бетехтин С.А., Винницкий А.М., Горохов М.С. и др. - М.: Оборонгиз, 1957. – 384 с.
10. Нечипорук Н.В., Полищук Е.А., Кобрина Н.В. Экспериментальные исследования параметров инерционного процесса демонтажа элементов снаряжения авиационных боеприпасов // Авиационно-космическая техника и технология. – Х.: НАКУ «ХАИ». - 2006. - Вып. №3(29). - С. 5 - 9.

## **Численное моделирование обтекания вертолѐта одновинтовой схемы при его перемещении вправо**

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

Эффективность современного вертолѐта во многом определяется его маневренными характеристиками при движении вбок. Однако скорость перемещения вертолѐта одновинтовой схемы вправо при левом вращении несущего винта ограничена возможностью попадания рулевого винта (РВ) в режим вихревого кольца (ВК). Режим вихревого кольца винта возникает при работе в потоке, направленном противоположно направлению отбрасывания воздуха винтом, и характеризуется падением тяги винта и возрастанием пульсаций его аэродинамических характеристик. Попадание РВ вертолѐта в режим ВК является опасным, потому что сопровождается самопроизвольным разворотом вертолѐта влево. Поэтому для определения маневренных характеристик существующих и проектируемых вертолѐтов необходимо провести исследование условий возникновения рассматриваемого режима в численном эксперименте. В частности, определение наилучшего варианта взаимного расположения РВ и киля вертолѐта, а также направления вращения РВ требует исследования аэродинамических характеристик компоновки вертолѐта, в том числе при движении правым боком.

Численное моделирование течения около вертолѐтной компоновки проводят с помощью вычислительных методов различной степени сложности и математических моделей, включающих в себя компоновки различного состава. В частности, для исследования режима ВК вертолѐтных винтов в работе [1] использована вихревая теория винта, расчѐты проведены для изолированного винта и комбинации несущих винтов. В работе [2] при исследовании режима ВК изолированного винта применѐн сеточный метод решения уравнений Эйлера [3]. В [4] режим ВК изолированного винта рассмотрен с учѐтом аэродинамической кривки лопастей, при этом проведено сравнение указанных выше методов из работ [1, 3].

Широкое применение в аэродинамике вертолѐта получил метод дискретных вихрей [5]. Исследование режима вихревого кольца винтов с помощью указанного метода проводят с 70-х годов XX столетия [6, 7]. В монографии [8] изложены вопросы применения метода дискретных вихрей для моделирования вертолѐтных винтов, в том числе результаты моделирования режима ВК для изолированного винта и для комбинации несущего и рулевого винтов. В работах [9, 10] рассмотрено взаимодействие винта и киля вертолѐта на осевых режимах обтекания, в том числе на режиме ВК.

На структуру течения вблизи рулевого винта и киля вертолѐта и, следовательно, на их аэродинамические характеристики значительное воздействие оказывает струя от несущего винта. В существующих работах такому влиянию уделяется недостаточное внимание. Моделирование аэродинамического взаимодействия рулевого винта и киля вертолѐта в присутствии струи от несущего винта методом дискретных вихрей проведено в работе [11], но ограниченные возможности вычислительной техники того времени не позволили получить достаточно разносторонние и достоверные результаты. Дальнейшие

исследования [12] показали также необходимость применения специальных способов регуляризации расчёта скоростей в ближнем вихревом следе несущих поверхностей при моделировании указанных режимов полёта.

Целью настоящей статьи является исследование в численном эксперименте зависимости тяги РВ вертолётa и суммарной поперечной силы РВ и киля от скорости движения правым боком с учетом взаимодействия НВ, РВ и киля. Анализируется влияние расположения РВ относительно киля, а также направления вращения РВ на его эффективность и на условия возникновения режима вихревого кольца.

### **Математическая модель обтекания компоновки вертолётa и метод исследования**

В основе математической модели, используемой для исследования течения около компоновки вертолётa, лежат предположения, обычные для метода дискретных вихрей [13]. Компоновку вертолётa представляем набором жёстких несущих поверхностей, совершающих заданное пространственное движение. Воздух считаем невязким и несжимаемым. За пределами обтекаемых поверхностей и следа за ними поток является безвихревым. Это позволяет ввести потенциал скорости, для которого в указанной области выполняется уравнение Лапласа. Несущие поверхности представляем слоем диполей, на котором потенциал терпит скачок. След за обтекаемыми поверхностями моделируем вихревыми пеленами – поверхностями тангенциального разрыва скорости, на которых выполняется условие отсутствия разности давления с обеих сторон поверхности. Это условие приводит к представлению вихревой пелены как свободной поверхности, отдельные элементы которой, сохраняя величину скачка потенциала на себе, перемещаются с местной скоростью потока. Вблизи линии схода вихревой пелены с несущей поверхности выполняем условие Чаплыгина – Жуковского – Кутта о конечности скорости течения. Из этого условия находим величину скачка потенциала на элементе пелены, сходящем в поток в рассматриваемый момент времени.

Решение задач настоящего исследования связано с рассмотрением течения в зоне РВ на висении и при движении вертолётa правым боком. При этом можно считать влияние фюзеляжа, стабилизатора и крыла на аэродинамические характеристики РВ и киля малым в сравнении с взаимным влиянием РВ и киля и с влиянием струи от НВ. Поэтому в данной работе при численном моделировании использована комбинация, которая состоит из НВ, РВ и киля вертолётa (рис. 1).

Рассмотрены три варианта компоновки вертолётa:

- 1) РВ расположен справа от киля (толкающий винт) и вращается таким образом, что его нижняя лопасть движется назад ( $\omega_p < 0$ );
- 2) РВ расположен слева от киля (тянущий винт) и вращается таким образом, что его нижняя лопасть движется вперёд ( $\omega_p > 0$ );
- 3) РВ расположен справа от киля (толкающий винт) и вращается таким образом, что его нижняя лопасть движется вперёд ( $\omega_p > 0$ ).

Несущий винт вертолётa состоит из пяти лопастей, рулевой – из трёх. Радиус НВ равняется  $R_H=8,65$  м, максимальная хорда  $b_H=0,58$  м, радиус втулочного сечения  $r_{вт, H}=0,99$  м. Для РВ радиус  $R_p=1,954$  м, хорда  $b_p=0,27$  м, радиус втулочного сечения  $r_{вт, p}=0,41$  м. Киль представляем плоской тонкой пластиной, размещённой на расстоянии 0,729 м от плоскости РВ и повернутой по

отношению к ней на угол  $6^\circ$  вокруг вертикальной оси. Все несущие поверхности моделируем как жёсткие. Полагаем, что лопасти вращаются с фиксированными угловыми скоростями вокруг осей вращения винтов. Обороты несущего винта составляют 240 об/мин, рулевого – 1096 об/мин. Вектор воздушной скорости вертолёта  $\vec{V}$  направлен вправо вдоль оси РВ. Угол установки лопастей НВ равняется  $\varphi_H = 8,5^\circ$ , лопастей РВ –  $\varphi_P = 13^\circ$ , что соответствует условиям балансировки вертолёта на висении.

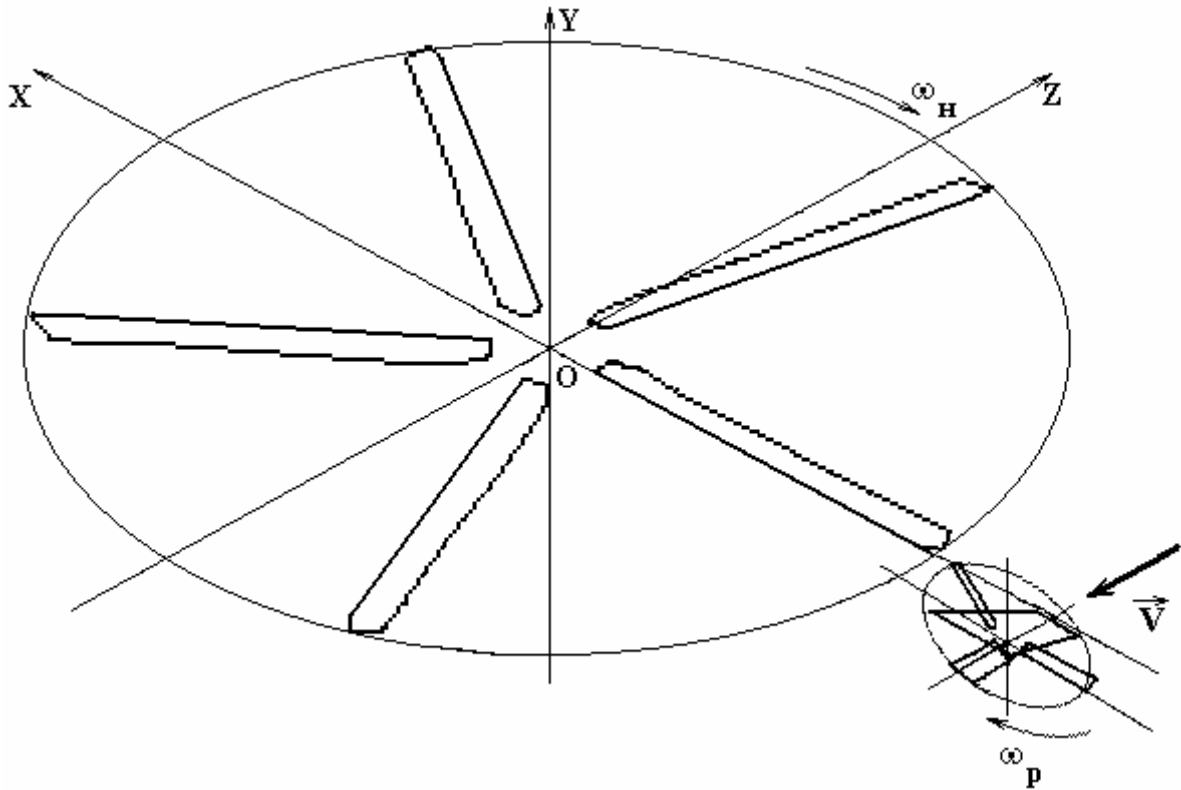


Рис. 1. Моделируемая комбинация

Для названных вариантов компоновки вертолёта рассчитываем величины коэффициента тяги РВ

$$C_{T_P} = - \frac{Z_P}{\rho \frac{(\omega_H R_H)^2}{2} F_H},$$

а также коэффициента суммарной поперечной силы РВ и киля

$$C_{Z_{P+K}} = \frac{Z_P + Z_K}{\rho \frac{(\omega_H R_H)^2}{2} F_H},$$

где  $Z_P, Z_K$  - поперечные силы РВ и киля;  $F_H = \pi R_H^2$  – площадь, ометаемая несущим винтом;  $\rho$  - плотность воздуха. Поскольку величина  $C_{Z_{P+K}}$  является отрицательной,



далее рассмотрен её модуль. Расчёты  $C_{T_p}$  и  $|C_{z_{p+k}}|$  выполнены для скоростей полёта вертолёта вправо в диапазоне  $V_z = 0...60$  км/ч.

Исследования проводим с помощью модифицированного метода дискретных вихрей [14] с замкнутыми вихревыми рамками. Используем программное обеспечение для компьютеров, разработанное В.А. Апаринным и В.А. Удовенко. Для моделирования применяем нелинейную нестационарную постановку задачи. Лопастей винтов и киль моделируем тонкими несущими поверхностями и разбиваем на ячейки, представляемые вихревыми рамками. Интенсивности рамок находим из условия непротекания, выполненного в контрольных точках, расположенных в каждой ячейке. Вихревые пелены сходят с задних кромок лопастей и со всех кромок килля. Шаг по времени соответствует повороту РВ на угол  $\Delta\psi_p = 15^\circ$ . Расчёт аэродинамических нагрузок на несущих поверхностях базируется на интеграле Коши – Лагранжа, причём градиент скачка потенциала на поверхностях вычисляем с помощью способа, основанного на формуле Гаусса – Остроградского для поверхности [15].

### **Выбор разбиения поверхностей и способа регуляризации вычисления скоростей**

Одной из основных проблем, возникающих при расчёте аэродинамических характеристик винтов на исследуемых режимах работы, является регуляризация вычисления скоростей в ближнем вихревом следе винта. Как показано в [12], при моделировании обтекания винта потоком, направленным в сторону, противоположную направлению отбрасывания воздуха винтом, возникает ситуация, когда в ограниченном объёме пространства накапливается большое количество свободных вихрей. Это может привести к резкому нарастанию численной неустойчивости решения задачи, если не принять специальных мер по регуляризации вычисления скоростей, индуцированных данной системой вихрей. В названной работе рассмотрены такие способы регуляризации вычисления скорости, как увеличенный радиус вихря и введение искусственной диффузии вихревых отрезков пелены. В настоящем исследовании применяется описанная в [12] модель диффузии вихря с увеличением радиуса вихря в ходе расчётного времени.

Степень регулярности вычисления скорости в значительной мере определяется тем, насколько мелким является разбиение несущих поверхностей на вихревые ячейки. На рис. 2, а, б показаны зависимости осреднённых по времени величин тяги изолированного РВ от скорости перемещения вправо при разбиении каждой из его лопастей на 15 ячеек (5 по размаху, 3 по хорде), на 45 ячеек (9 по размаху, 5 по хорде) и на 162 ячейки (18 по размаху, 9 по хорде). Расчёты проведены с фиксированным радиусом вихря, равным  $R_v = 0.04R_n$  для разбиения  $5 \times 3$  и  $R_v = 0.02R_n$  для разбиений  $9 \times 5$ ,  $18 \times 9$  (рис. 2, а), а также с увеличивающимся радиусом вихря, соответствующим условному числу Рейнольдса  $Re^* = 4,7 \cdot 10^3$  (рис. 2, б). При увеличении скорости перемещения тяга сначала растёт, а затем начинается её падение вследствие попадания винта в режим вихревого кольца, затем снова наблюдается рост тяги. Из графиков виден более регулярный характер поведения тяги винта для более мелких разбиений. При малых скоростях перемещения результаты расчётов близки друг к другу. Расчёты с увеличивающимся радиусом вихря демонстрируют более близкое

совпадение результатов для рассматриваемых разбиений лопастей, чем с фиксированным радиусом, что свидетельствует о большей эффективности данного способа регуляризации вычисления скоростей.

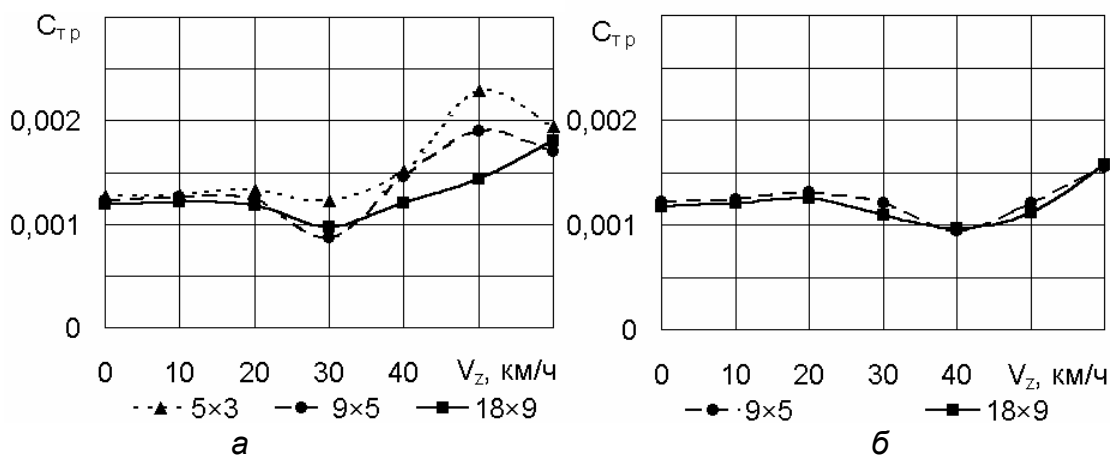


Рис. 2. Зависимость  $C_{Tp}(V_z)$  для изолированного РВ при различных разбиениях лопастей РВ: а – фиксированный  $Re$ , б – увеличивающийся  $Re$

В дальнейшем приведены результаты расчётов, выполненных при разбиении каждой лопасти НВ на 45 ячеек (9 по размаху и 5 по хорде), каждой лопасти РВ – на 162 ячейки (18 по размаху, 9 по хорде), киля – на 180 ячеек (18 в вертикальном, 10 в горизонтальном направлении). Применён увеличивающийся радиус вихря, соответствующий условному числу Рейнольдса  $Re^* = 4,7 \cdot 10^3$ .

### Взаимное влияние рулевого винта и киля вертолётa без учёта струи от несущего винта

Рассмотрим вначале результаты численного моделирования для комбинации рулевого винта и киля вертолётa. На рис. 3, а, б показаны зависимости тяги РВ (рис. 3, а) и суммарной поперечной силы РВ и киля (рис. 3, б) от скорости перемещения вправо для комбинации РВ и киля, где линия 1 соответствует расположению РВ слева (тянущий винт), а линия 2 – справа от киля (толкающий винт). Для сравнения показана тяга изолированного РВ (линия 3). Из графиков (рис. 3, а) видно, что тяга тянущего и толкающего винтов при небольших скоростях перемещения близки друг к другу и превышают тягу изолированного РВ (на режиме висения – на 6% для толкающего, на 4% для тянущего винта). В присутствии киля падение тяги РВ в режиме ВК проявляется в большей степени, чем для изолированного винта. Для оценки эффективности РВ как средства компенсации реактивного момента НВ представляет интерес рассмотрение суммарной поперечной силы РВ и киля. Как показывают графики (рис. 3, б), влияние киля приводит к уменьшению суммарной поперечной силы по сравнению с изолированным РВ. Особенно заметно оно проявляется для тянущего винта, отбрасывающего воздух на киль. На режиме висения такое уменьшение составляет 24% для тянущего, 6% – для толкающего РВ. Однако при увеличении скорости перемещения вертолётa вправо для тянущего РВ, затенённого от набегающего потока килём, падение суммарной поперечной силы начинается при

больших значениях скорости и выражено в меньшей степени, чем для толкающего.

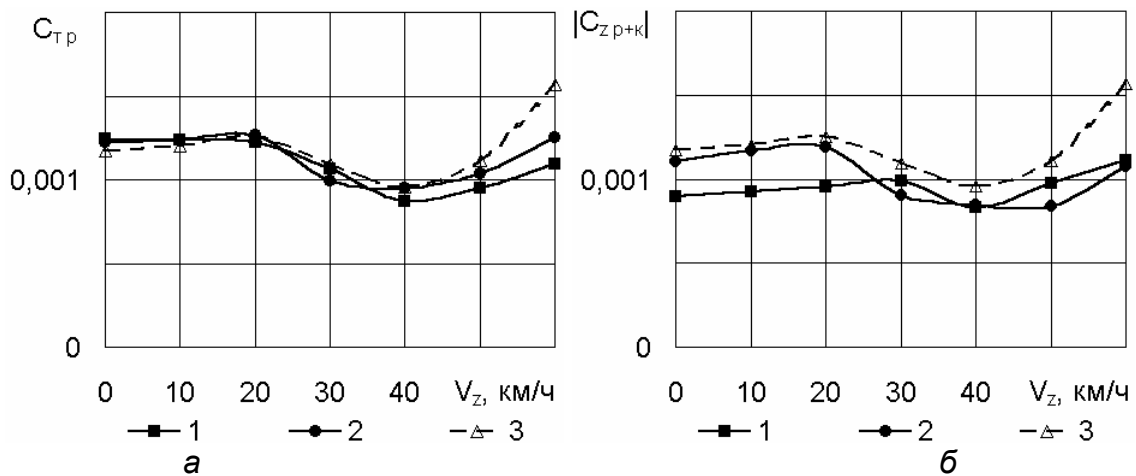


Рис. 3. Зависимости  $C_{T_p}(V_z)$  (а) и  $|C_{Z_{p+k}}(V_z)|$  (б) для комбинации РВ и килля: 1 – РВ слева от килля, 2 – РВ справа от килля, 3 – тяга изолированного РВ

### Влияние струи от несущего винта на обтекание рулевого винта и килля

На рис. 4, а, б показаны зависимости величин  $C_{T_p}$  и  $|C_{T_{p+k}}|$  соответственно от скорости перемещения вправо для компоновок 1 и 3, содержащих толкающий РВ, в сравнении с соответствующими величинами для компоновки РВ и килля. Рис. 5, а, б позволяет провести такое же сравнение для компоновки 2, в которой РВ тянущий.

Можно видеть, что для компоновки 3, в которой лопасть РВ движется навстречу струе от НВ и обтекается с большими местными углами атаки, чем при отсутствии НВ, тяга РВ и суммарная поперечная сила превышают соответствующие значения для компоновки 1, для которой углы атаки на лопасти РВ меньше, чем без НВ. На режиме висения тяга РВ компоновки 3 на 8% больше, а компоновки 1 – на 6% меньше, чем при отсутствии НВ. Для суммарной поперечной силы эти цифры составляют 12 и 1%. Здесь сказывается воздействие струи от НВ на киль, направленное влево. Характер поведения исследуемых величин при увеличении скорости перемещения и условия наступления режима вихревого кольца для компоновок 1 и 3 примерно одинаковы. Падение тяги и суммарной поперечной силы при воздействии НВ менее выражено, чем без него. Это обусловлено тем, что струя от НВ сносит часть вихрей от РВ из зоны работы винта. По сравнению с максимумом, достигаемым при начальном увеличении скорости, наибольшее падение тяги РВ составляет: для компоновки 1 – 11%, для компоновки 3 – 17%, при отсутствии НВ – 25%, суммарной поперечной силы – соответственно 17, 18 и 30%.

Для компоновки 2 наблюдаются те же проявления влияния струи от НВ. Здесь происходит увеличение тяги РВ и суммарной поперечной силы при наличии НВ, обусловленное ростом местных углов атаки для лопасти, движущейся навстречу струе от НВ. Последствия режима вихревого кольца для данной компоновки наименее выражены, поскольку РВ закрыт от набегающего потока килем. Падение тяги РВ для компоновки 2 на режиме вихревого кольца

составляет 7%, суммарной поперечной силы – 5%. Для комбинации РВ и киля эти величины составляют 29 и 16%.

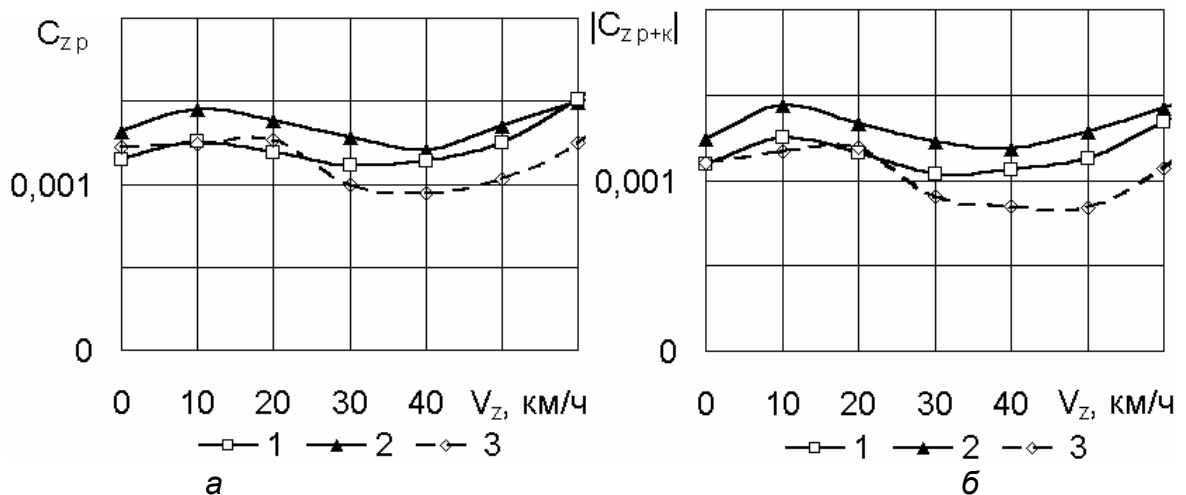


Рис. 4. Зависимости  $C_{T_p}(V_z)$  (а) и  $|C_{z_{p+k}}(V_z)|$  для компонок с толкающим РВ: 1 – компоновка 1; 2 – компоновка 3; 3 – комбинация РВ и киля (РВ справа)

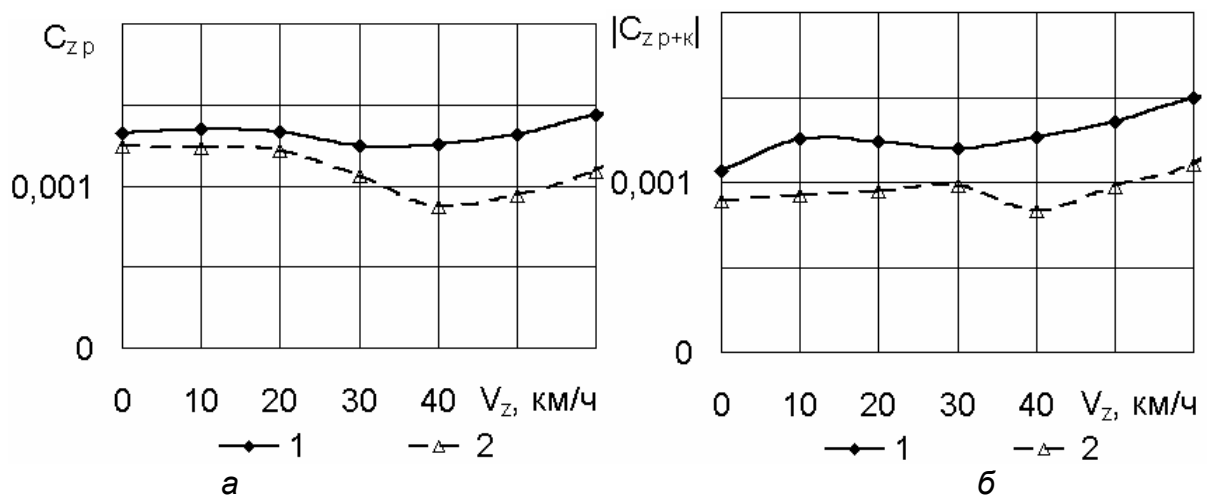


Рис. 5. Зависимости  $C_{T_p}(V_z)$  (а) и  $|C_{z_{p+k}}(V_z)|$  для компонок с тянущим РВ: 1 – компоновка 2; 2 – комбинация РВ и киля (РВ слева)

Рис. 6, а, б позволяет сопоставить графики исследуемых величин для компонок 1, 2, 3. Величина суммарной поперечной силы для компоновки 3 при небольших скоростях перемещения превосходит соответствующие величины для остальных компонок. Для компоновки 1 она меньше вследствие меньших местных углов атаки на лопасти, движущейся в направлении струи от НВ (на висении – на 12%), для компоновки 2 – из-за меньшей эффективности тянущего винта (на 14% при  $V_z=0$ ). При этом для компоновки 2 уменьшение суммарной поперечной силы происходит прежде всего за счёт киля, значения тяги самого винта на висении для компонок 2 и 3 примерно равны. Для компоновки 1 решающую роль в уменьшении  $|C_{z_{p+k}}|$  играет снижение  $C_{T_p}$ , на висении тяга РВ на 13% меньше, чем для компоновки 3. Графики позволяют также видеть менее выраженное проявление режима вихревого кольца для компоновки 2.

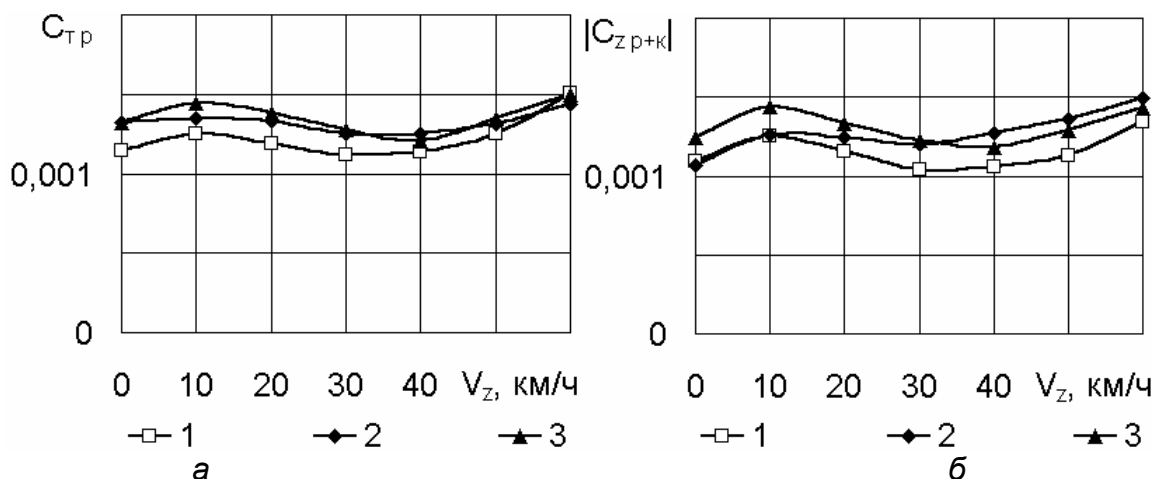


Рис. 6. Зависимости  $C_{T_p}(V_z)$  (а) и  $|C_{z_{p+k}}(V_z)|$  для компонок НВ, РВ и киль: 1 – компоновка 1; 2 – компоновка 2; 3 – компоновка 3

### Выводы

1. Описанная математическая модель обтекания компоновки, включающей в себя несущий, рулевой винт и киль вертолёта, позволяет проводить расчёты аэродинамических характеристик указанных элементов компоновки и исследовать их взаимное аэродинамическое влияние. В частности, возможно проведение численного моделирования обтекания указанной компоновки на режиме перемещения вправо в целях выяснения условий возникновения режима вихревого кольца рулевого винта.

2. На режимах висения и перемещения вправо влияние киль приводит к уменьшению суммарной поперечной силы РВ и киль по сравнению с изолированным РВ, особенно для тянущего РВ. Однако для тянущего РВ с ростом скорости перемещения вправо режим вихревого кольца наступает позже и выражен в меньшей степени, чем для толкающего.

3. Влияние струи от несущего винта приводит к увеличению суммарной поперечной силы РВ и киль вследствие воздействия на киль. Для винта, лопасть которого, находящаяся в зоне интенсивного влияния НВ, движется навстречу струе от НВ, влияние НВ приводит к увеличению тяги РВ. В случае противоположного направления вращения РВ его тяга уменьшается.

4. В присутствии струи от несущего винта режим вихревого кольца РВ выражен слабее, чем без неё, особенно для тянущего винта.

5. В дальнейшем для более достоверного и всестороннего исследования аэродинамических характеристик вертолёта на различных режимах полёта целесообразно построить более полные математические модели и провести расчёты обтекания компоновок, включающих различные элементы: фюзеляж, крыло, горизонтальное оперение и т.д.

### Список литературы

1. Leishman J.G., Bhagwat M.J., Ananthan S. Free-Vortex Wake Predictions of the Vortex Ring State for Single-Rotor and Multi-Rotor Configurations // American

Helicopter Society 58th Annual Forum. Montreal, Quebec, Canada, June 11-13, 2002. – 30 p.

2. Newman S., Brown R., Perry J., Lewis S., Orchard M., Modha A.. Predicting the Onset of Wake Breakdown for Rotors in Descending Flight // J. Amer. Helicopt. Soc. – 2003. – Vol. 48. – No. 1. – P. 28 – 38.

3. Brown R. E. Rotor Wake Modeling for Flight Dynamic Simulation of Helicopters // AIAA Journal. – 2000. – Vol. 38. – No. 1. – P. 57–63.

4. Brown R.E., Leishman J.G., Newman S.J., Perry F.J. Blade Twist Effects on Rotor Behaviour in the Vortex Ring State // 28th European Rotorcraft Forum. Marriott Hotel, Bristol, UK, September 17-20, 2002. – 14 p.

5. Белоцерковский С.М., Ништ М. И. Отрывное и безотрывное обтекание тонких крыльев идеальной жидкостью. – М.: Наука, 1978. – 352 с.

6. Белоцерковский С.М., Васин В.А., Локтев Б.Е. К математическому нелинейному моделированию нестационарного обтекания несущего винта // ДАН СССР. – 1978. – Т. 240. – № 6. – С. 1320 – 1323.

7. Локтев Б.Е., Онушкин Ю.П. К изучению особых режимов работы воздушного винта вертолёта // Труды ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского. – 1979. – Вып. 1309. – С. 68 – 78.

8. Белоцерковский С.М., Локтев Б.Э., Ништ М.И. Исследование на ЭВМ аэродинамических и аэроупругих характеристик винтов вертолетов. - М.: Машиностроение, 1992. - 224 с.

9. Крицкий Б.С., Полуяхтов В.А. Численное моделирование взаимного влияния вертолётного рулевого винта и кия // 5-й форум Российского вертолетного общества (Чтения, посвященные памяти академика Б.Н. Юрьева). Москва, МАИ, 20 – 21 февраля 2002 года. – 10 с.

10. Полуяхтов В.А., Смолянский Д.А. Интерференция вертолётного рулевого винта и кия // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества: Тез. докл. Междунар. научно-техн. конф., посвящённой 80-летию гражданской авиации России, Москва, 17 – 18 апреля 2003. – М.: Изд-во МГТУ ГА, 2003. – С. 29.

11. Гладышев А.І., Ковтонюк І.Б. Дослідження режиму вихрового кільця рульового гвинта вертольота одновинтової схеми // Збірник наукових праць ХІЛ ВПС. – Харків, 1999. – Вип. 2(6). – С. 97 – 103.

12. Гладышев А.И., Удовенко В.А. Численное моделирование обтекания вертолётного винта методом дискретных вихрей с учётом диффузии вихрей в ближнем вихревом следе // Вестник Харьк. нац. ун-та. – 2003. – № 605. Сер. "Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления". – Вып. 2. – С. 15 – 23.

13. Лифанов И.К. Метод сингулярных интегральных уравнений и численный эксперимент (в математической физике, аэродинамике, теории упругости и дифракции волн). – М.: ТОО «Янус», 1995. – 520 с.

14. Апаринов В.А., Дворак А.В. Метод дискретных вихрей с замкнутыми вихревыми рамками // Труды ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского. – 1986. – Вып. 1313. – С. 424 – 432.

15. Балакирев А.Н., Гладышев А.И., Удовенко В.А. Сравнение различных способов определения аэродинамических нагрузок в методе дискретных вихрей // Труды X Международного симпозиума "Методы дискретных особенностей в задачах математической физики". – Херсон, 2001. – С. 47 – 51.

## Анализ эффективности преодоления системы ПВО противника

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

Преодоление противовоздушной обороны противника является важным этапом применения боевого авиационного комплекса любого типа и представляет собой одну из самых важных задач, без решения которой невозможны боевые действия авиации. Анализ эффективности преодоления системы ПВО противника существенно облегчает планирование боевых действий.

Основу ПВО составляют авиационные комплексы перехвата (АКП), зенитные ракетные комплексы (ЗРК), зенитные артиллерийские комплексы (ЗАК), функционирующие совместно или порознь в отведенных им зонах (рис.1).

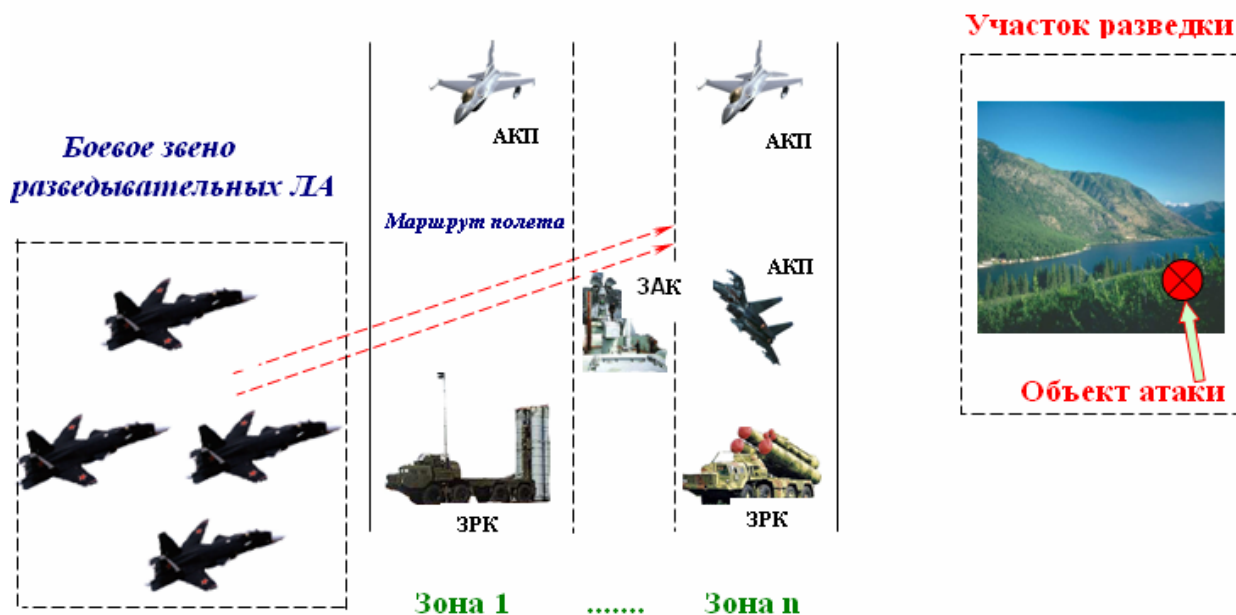


Рис. 1. Зоны противовоздушной обороны противника

В данной работе эффективность преодоления зон ПВО определяем в зависимости от тактико-технических характеристик средств ПВО, их численности, размещения и способа действия, а также тактико-технических характеристик разведывательного летательного аппарата (ЛА), профиля и маршрута его полета, применения мер противодействия ПВО (маневрирования, генерирования радиолокационных помех, действий по огневому подавлению средств ПВО и др.). Для оценки эффективности преодоления ПВО используем количественный показатель - вероятность преодоления ПВО одним ЛА. На основе этого критерия определяем как ожидаемые потери, так и вероятность того, что потери достигнут менее  $M$  из  $N$  вылетевших ЛА.

Определение критерия эффективности преодоления системы ПВО противника состоит из следующих этапов: нахождение числа огневых воздействий средств ПВО, которые могут быть сделаны по ЛА; расчет вероятности поражения цели при каждом воздействии; определение по данным, полученным на

предыдущем этапе, вероятности преодоления ПВО группой ЛА

Зависимости, используемые в данной работе для определения числа огневых воздействий по ЛА для каждого из рассматриваемых средств ПВО, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Средство ПВО	Расположение средства ПВО	Число огневых воздействий средств ПВО, которые могут быть сделаны по ЛА
ЗАК	Разведано полностью	$n_{ЗАК_1} = n_{СК}(t+t_p)$
	Неизвестно	$n_{ЗАК_{cp}} = n_{СК}(\bar{t}+t_p)k_{бу}n_{бн}$
ЗРК	Разведано полностью	$n_{ЗРК_1} = n_{ц}(1+E \frac{t+t_p}{t_{ц}})$
	Неизвестно	$n_{ЗРК_{cp}} = n_{ц}(1+E \frac{\bar{t}+t_p}{t_{ц}})n_{бн}k_{бн}$
ЗАК	Среднее ожидаемое число атак	$n_{акп_{cp}} = N_{ИА} \cdot m \cdot k_{б}$

Вероятность преодоления одного вида ПВО одним ЛА определяем по формулам, приведенным в табл. 2.

Таблица 2

Расположение средства ПВО	Характер огневого воздействия	Число огневых воздействий средств ПВО, которые могут быть сделаны по ЛА
Разведано полностью	Без переноса огня	$\bar{P}_{ПВО} = (1-p_1)^N$
	С переносом огня	$\bar{P}_{ПВО} = \sum_{m=0}^{N-1} (1-\frac{m}{N}) \cdot C_n^m \cdot p_1^m \cdot (1-p_1)^{n-m}$
Неизвестно	Без переноса огня	$n_{ЗРК_1} = n_{ц}(1+E \frac{t+t_p}{t_{ц}})$
	С переносом огня	$\bar{P}_{ПВО_1} = \sum_{m=0}^{N-1} (1-\frac{m}{N}) \cdot \frac{a^m}{m!} e^{-a}$



Условные обозначения, принятые в табл. 1, 2, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Обозначение	Параметр
$t$	Время пребывания одного (любого) ЛА группы в зоне поражения батареи ЗРК
$t_p$	Расчетная глубина боевого порядка ЛА во времени
$n_{ск}$	Скорострельность батареи ЗРК
$l_3$	Путь, пролетаемый каждым ЛА в зоне поражения батареей ЗАК
$l_2$	Длина боевого порядка группы ЛА
$\bar{l}_3$	Средний путь, пролетаемый каждым ЛА в зоне поражения батареи ЗАК
$t$	Среднее время пребывания одного (любого) ЛА группы в зоне поражения батареи ЗАК
$n_{\text{бн}}$	Число батарей ЗАК, которые могут обстреливать ЛА и расположение которых неизвестно
$k_{\text{бу}}$	Коэффициент боевого использования ЗАК
$n_{\text{ц}}$	Количество целей, которые ЗРК может обстреливать одновременно
$t_{\text{ц}}$	Продолжительность цикла стрельбы
$V$	Скорость полета ЛА (группы ЛА) в зоне ЗРК
$H$	Высота полета ЛА (группы ЛА) в зоне ЗРК
$E$	Обозначение целой части частного от деления
$n_k$	Число каналов наведения
$n_p$	Число ракет, наведение которых осуществляется одним каналом
$t_{\text{бп}}$	Общая глубина боевого порядка по времени
$\Delta t_i$	Интервалы между ЛА, превышающие $(t_{\text{ц}}+t)$
$m$	Количество интервалов между ЛА, превышающих $(t_{\text{ц}}+t)$
$N_{\text{ИА}}$	Среднее количество истребителей, раскрытых разведкой на аэродромах и способных оказывать огневое воздействие по ЛА при отражении налета
$m$	Среднее число атак, которые может выполнить истребитель
$k_{\text{б}}$	Коэффициент боеспособности истребителей

Вероятность поражения ЛА одним выстрелом в общем виде определяем следующим образом:

$$p_1 = p_{\text{нав}} (1 - p_{\text{сб}}) p_{\text{над}} (1 - p_{\text{ГП}}) (1 - p_{\text{ИП}}) (1 - p_{\text{М}}) p_1^*$$

где  $p_1^*$  - условная вероятность поражения ЛА одним выстрелом (характеризует тактические характеристики средств поражения и уязвимость цели). Это вероятность поражения в полигонных условиях; ее значение приводится в справочниках соответствующего боевого комплекса ПВО;

$p_{нав}$  – вероятность обнаружения цели и наведения на нее средств поражения;

$p_{сб}$  – вероятность сбивания средств поражения оборонным огнем;

$p_{над}$  – вероятность надежной работы боевого комплекса ПВО;

$p_{гп}$ ,  $p_{ип}$ ,  $p_M$  – вероятности срыва наведения (атаки) за счет создания препятствий индивидуальными и групповыми средствами радиоэлектронного противодействия и применения летательным аппаратом тактических приемов (маневра ЛА).

Если средства ПВО действуют строго в своих зонах, вероятность преодоления ПВО для каждой зоны определяем как

$$\bar{P}_{ПВО}^{АКП} = e^{-\lambda^{АКП} t^{АКП} p_1^{АКП}} ;$$

$$\bar{P}_{ПВО}^{ЗРК} = e^{-\lambda^{ЗРК} t^{ЗРК} p_1^{ЗРК}} ;$$

$$\bar{P}_{ПВО}^{ЗАК} = e^{-\lambda^{ЗАК} t^{ЗАК} p_1^{ЗАК}} .$$

Если ЛА при полете к цели проходит несколько зон ПВО, то он достигнет цели, если не будет поражен ни в одной из зон ПВО. События преодоления каждой из зон ПВО являются независимыми. Поэтому вероятность преодоления всех зон (например, трех) определяем следующим образом:

$$\bar{P}_{ПВО} = \bar{P}_{ПВО}^{АКП} \cdot \bar{P}_{ПВО}^{ЗРК} \cdot \bar{P}_{ПВО}^{ЗАК} .$$

Если система ПВО полностью разведана, то

$$\bar{P}_{ПВО} = (1 - p_1^{АКП})^{n_{АКП}} \cdot (1 - p_1^{ЗАК})^{n_{ЗАК}} \cdot (1 - p_1^{ЗРК})^{n_{ЗРК}} .$$

Если система ПВО не разведана, то

$$\bar{P}_{ПВО} = e^{-\left(\lambda^{АКП} t^{АКП} p_1^{АКП} + \lambda^{ЗРК} t^{ЗРК} p_1^{ЗРК} + \lambda^{ЗАК} t^{ЗАК} p_1^{ЗАК}\right)} .$$

Если все зоны действия средств ПВО являются смешанными и средства ПВО действуют одновременно, то вероятность преодоления ПВО противника определяем так:

$$\bar{P}_{ПВО} = e^{-\left(\lambda^{АКП} p_1^{АКП} + \lambda^{ЗРК} p_1^{ЗРК} + \lambda^{ЗАК} p_1^{ЗАК}\right)t}$$

Если проводятся мероприятия по подавлению комплексов ПВО противника, то вероятность преодоления этих комплексов

$$\bar{P}_{ПВО} = p_{под} + (1 - p_{под})\bar{P}_{ПВО_0} ,$$

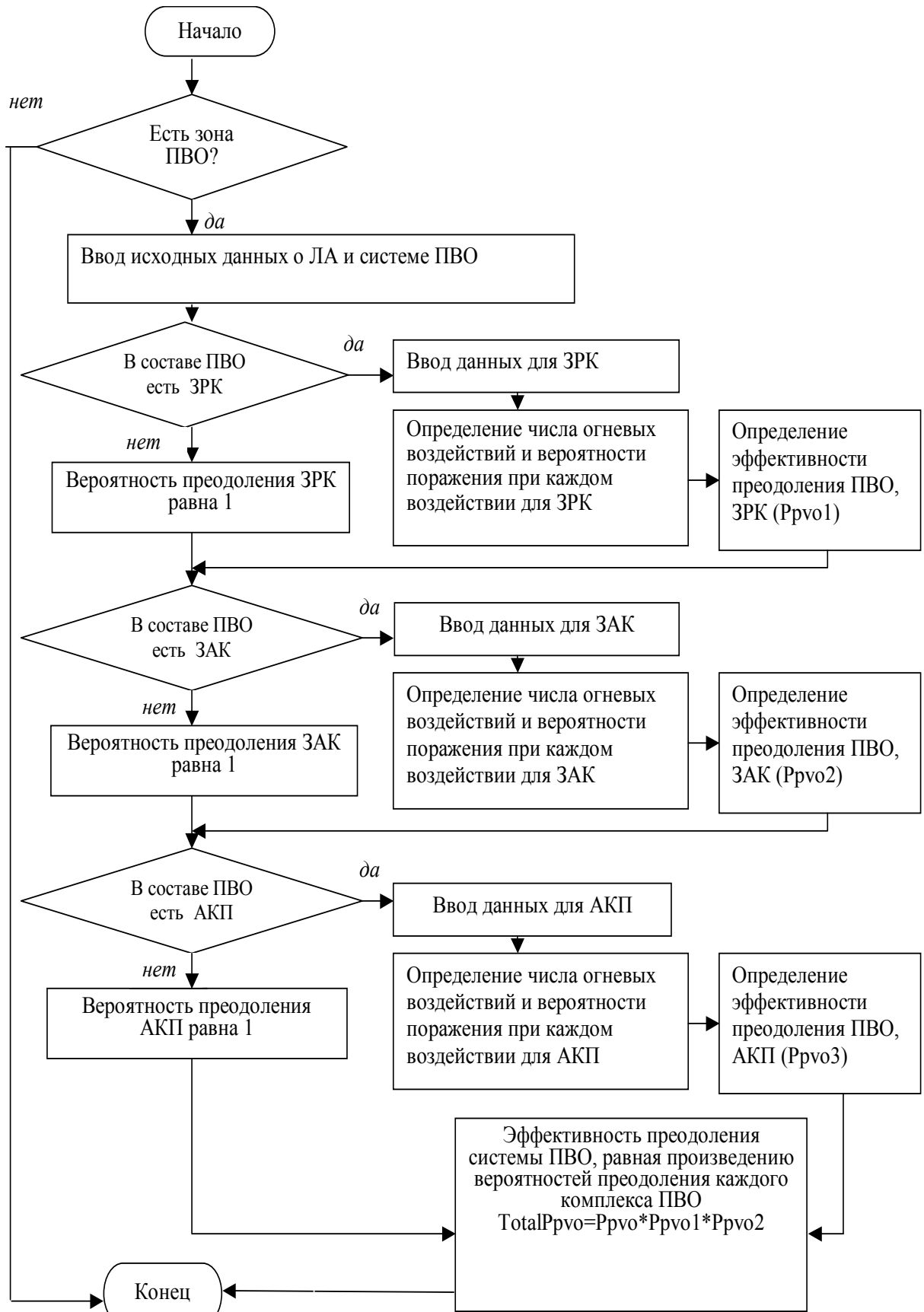


Рис. 2. Алгоритм расчета

где  $P_{под}$  - вероятность подавления комплекса ПВО;

$\bar{P}_{ПВО}$  - вероятность преодоления комплекса ПВО без его подавления.

Разработанный программный продукт позволяет решить как прямую задачу определения вероятности преодоления зоны ПВО противника, так и обратную - определение количества ЛА, которые с заданной вероятностью преодолеют систему ПВО. Алгоритм решения поставленной задачи показан на рис. 2.

### Выводы

1. В предложенном алгоритме оценка эффективности преодоления системы ПВО противника сводится к определению количественного показателя – критерия боевой эффективности. В качестве критерия эффективности преодоления системы ПВО противника использован базовый критерий - вероятность преодоления ПВО одним ЛА.

2. На основе базового критерия эффективности решены задачи, связанные с планированием преодоления системы ПВО противника боевыми или разведывательными ЛА.

3. Предложенный алгоритм может использоваться для оценки эффективности преодоления системы ПВО противника как пилотируемыми, так и беспилотными ЛА.

4. Оценка эффективности преодоления системы ПВО противника позволяет решить ряд чрезвычайно важных практических задач, необходимых при подготовке и ведении боевых действий:

- разработать наиболее эффективные тактико-технические мероприятия, направленные на повышение эффективности преодоления ПВО противника (выбор маршрута и профиля полета, рациональных тактических приемов, определение состава групп и их построение и т.п.);

- определить ожидаемые потери в ходе боевых действий;

- организовать ремонт ЛА, получивших повреждения в ходе боевых действий и т.д.

5. Разработанное программное обеспечение ориентировано на неквалифицированного пользователя, имеет простой и удобный интерфейс, развернутую встроенную справочную систему и систему тестирования правильности вводимых данных.

6. Программный продукт прошел тестирование и опытную эксплуатацию.

### Список литературы

1. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. - М.:Машиностроение, 1966. – 273с.
2. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности. – М.:Советское радио, 1962. – 363с.

## **Классификация технологических дефектов сотовых заполнителей из полимерных бумаг и пути ее реализации для повышения их качества**

*ОАО «Украинский научно-исследовательский институт  
технологии машиностроения» г. Днепропетровск*

Как уже отмечалось в [1], основными причинами снижения качества всех классов сотового заполнителя (СЗ), в том числе и из полимерных бумаг (ПБ), являются дефекты его изготовления.

Поэтому разработка классификации таких дефектов, учитывающей причинно-следственные связи между факторами их возникновения, проявления и трансформации, представляется необходимым условием последующего обоснованного выделения задач, направленных на повышение качества СЗ из ПБ путем целенаправленного совершенствования наиболее значимых операций технологического процесса в аспекте влияния их параметров на уровень самих дефектов и их последствий при использовании СЗ в конструкциях летательных аппаратов (ЛА).

Нами была предложена классификация дефектов, охватывающая четыре составляющие, формирующие качество сотовых конструкций (СК) [2-4]:

- дефекты СЗ;
- дефекты несущих слоев СК;
- дефекты узлов соединений СК;
- дефекты связей СЗ обшивками (несущими слоями СК).

При разработке этого классификатора авторы исходили из фундаментальных положений теории классификаций [5-7].

Схема структуры классификации и основанных на них классификаторов соответствует фундаментальному принципу математической логики деления объема понятия [7], отраженного схемой рис 1. Дальнейшие уровни логического деления объема понятия не регламентированы, что позволяет вводить их при необходимости относительно свободно. Эта свобода выбора терминологии нижних уровней деления понятия, по-видимому, может опираться на встречающиеся в практике определения типа «составляющая», «вариант», «тип», «часть», «позиция» и т.д.

В качестве высшей структуры деления объема понятия-категории может быть выбрано любое, достаточно общее понятие, которое, в свою очередь, можно дифференцировать по схеме рис.1 [5].

В рассмотренной нами сфере понятий наивысшим его объемом (иерархом) является «дефекты конструкций технических систем». Первичным сужением этого понятия можно считать понятие «дефекты конструкций авиакосмической техники (АКТ)», а вторичным – «дефекты СК АКТ». Именно такое понятие, по-видимому, следует принять в качестве исходного иерарха рассматриваемой нами классификации.

Основанием деления объема этого понятия на видовые является общий признак – происхождение (природа) дефектов СК АКТ.



Рис.1. Схема структуры деления объема понятия

В соответствии с этим в качестве видов приняты виды дефектов СК, включающие в себя: дефекты, являющиеся следствием ошибок проектирования объекта (нормирования воздействий, расчета и выбора конструктивных решений); дефекты, возникающие в нормированных условиях эксплуатации, и дефекты, связанные с технологией изготовления объекта.

Деление понятия на классы осуществляют на основе общего для них признака (основания) – конструктивный элемент СК АКТ, в котором проявляется дефект того или иного вида.

Для всех классификационных ветвей данного видового понятия, в том числе и для дефектов технологии производства СК АКТ, в качестве основания деления понятия принят этот общий признак, реализуемый четырьмя конструктивными элементами СК [3].

В дальнейшем классификационном делении на подклассы рассматривают только ветвь подклассов дефектов технологии производства СК АКТ, для которых основанием деления на подклассы является общий признак – род технологического дефекта любого конструктивного элемента СК АКТ.

Именно эта классификационная ветвь подкласса, формирующая собой исходное интегральное эксплуатационное качество СК, показана на схеме в работе [3]. Каждая составляющая подклассов такого вида дефектов представлена соответствующим числом групп.

Дальнейшее членение групп на подгруппы не нашло отражения в классификаторе [3], так как оно связано уже со специфическими особенностями материала сотов, несущих обшивок, узлов соединений и соответствующими технологическими процессами их изготовления. Именно этот классификатор был положен в основу исследований С.М. Мельникова [8], посвященных разработке методов нормирования технологических допусков в производстве СЗ из металлической фольги для изделий АКТ [8-9]. В классификаторе в качестве подклассов и групп дефектов СЗ использованы предложенные нами в [2-4]. При этом дефекты, связанные с электрическими свойствами материала СЗ из металлической фольги, не возникают и, следовательно, не рассматриваются автором [8].

Классификационные подклассы, сохраняющие общий признак деления «род технологических дефектов конкретного конструктивного элемента СК АКТ», можно представить в виде пространственной двумерной структуры (рис. 2), общим признаком деления которой во втором измерении является тип материала конструктивного элемента СК АКТ. Для каждого материала конструктивного элемента (металлы, ПКМ, бумага, полимерная пленка) изменяется технологический процесс его изготовления.

На этом уровне классификационного членения проявляются и подлежат учету особенности взаимосвязи «конструктивный материал - технологический процесс», и дальнейшая подробная разработка всех составляющих каждого подкласса требует отдельных исследований.

Так, в классификаторе [8] рассмотрена только классификационная ветвь технологических дефектов СЗ из металлической фольги, возникающих при конкретном технологическом процессе его изготовления.

Классификационные ветви уровня групп имеют основанием деления технологические дефекты, возникающие на конкретной операции конкретного технологического процесса, и жестко связаны с соответствующими им подклассами в рассматриваемой двумерной пространственной структуре (рис.2).

Классификационные ветви подгрупп имеют основанием деления признак влияния (последствия, проявления) типа технологического дефекта конкретного представителя конкретной группы двумерной пространственной структуры на соответствующий показатель качества конструктивного элемента СК.

Последние два классификационных уровня и явились предметом исследования [8] для задачи нормирования полей допусков на параметры технологического процесса изготовления СЗ из металлической фольги с определенными ограничениями, касающимися выбора самого процесса. Анализ этих уровней позволяет установить их относительно расширенный характер, допускающий частично использовать полученные автором результаты и для других подклассов СЗ, в частности для разрабатываемого ниже классификатора СЗ из полимерных бумаг.

Как отмечалось в [10], СЗ из ПБ изготавливают по нескольким технологическим процессам, отличающимся отдельными операциями. Наиболее прогрессивным является технологический процесс, применяемый для производства СЗ из ПБ для СК АКТ (рис.3) в УкрНИИТМе – единственном разработчике и поставщике этой продукции в Украине [11].

Технологическая линия создана в 2001 г. на базе технологического процесса, разработанного в 2000 г. на основе исследований В.И. Сливинского [11]. В промышленной технологии изготовления СЗ из полимерной бумаги реализована технологическая структура, показанная на рис.3.

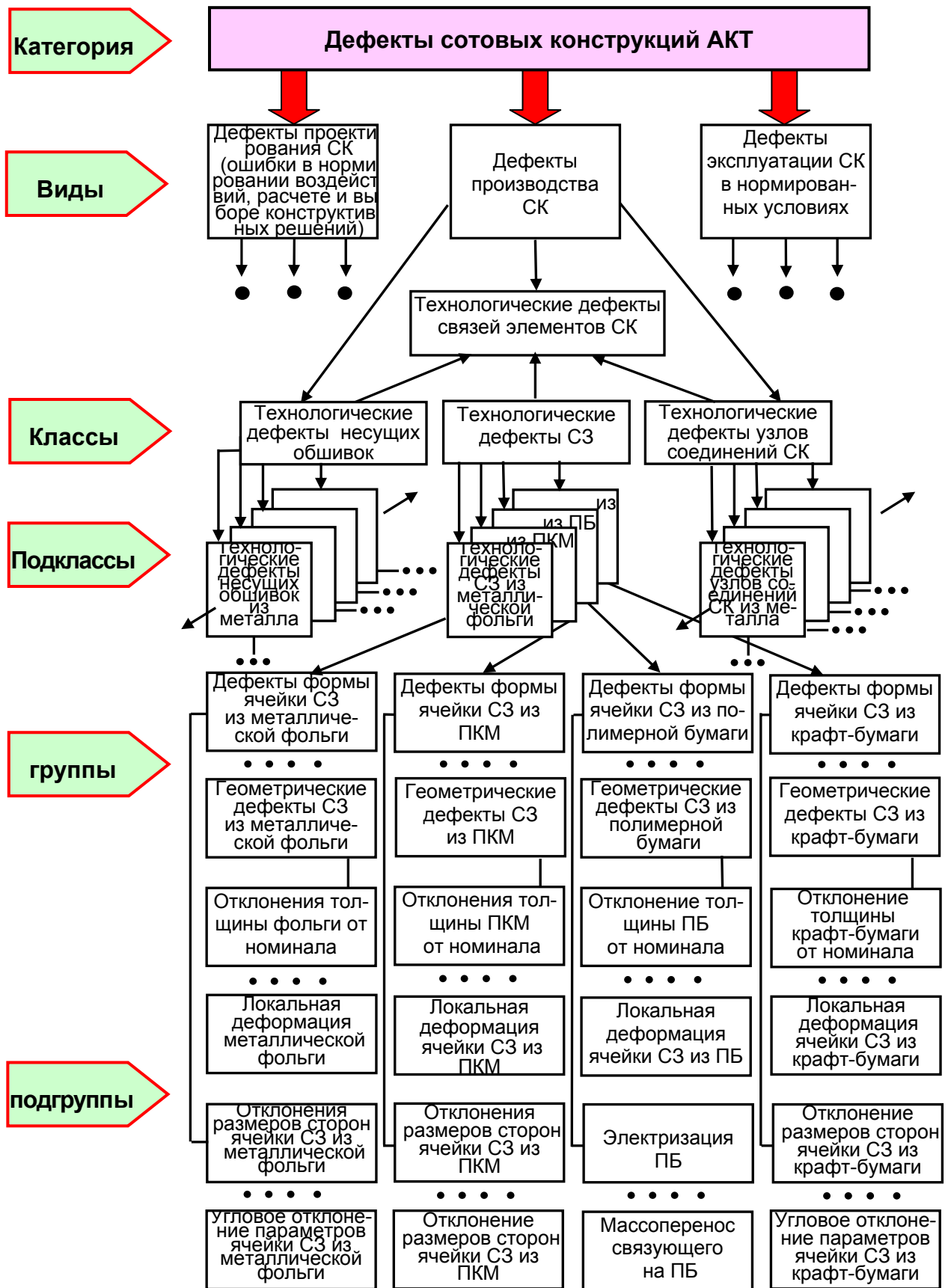


Рис 2. Схема многоуровневой структурной классификации технологических дефектов СК АКТ



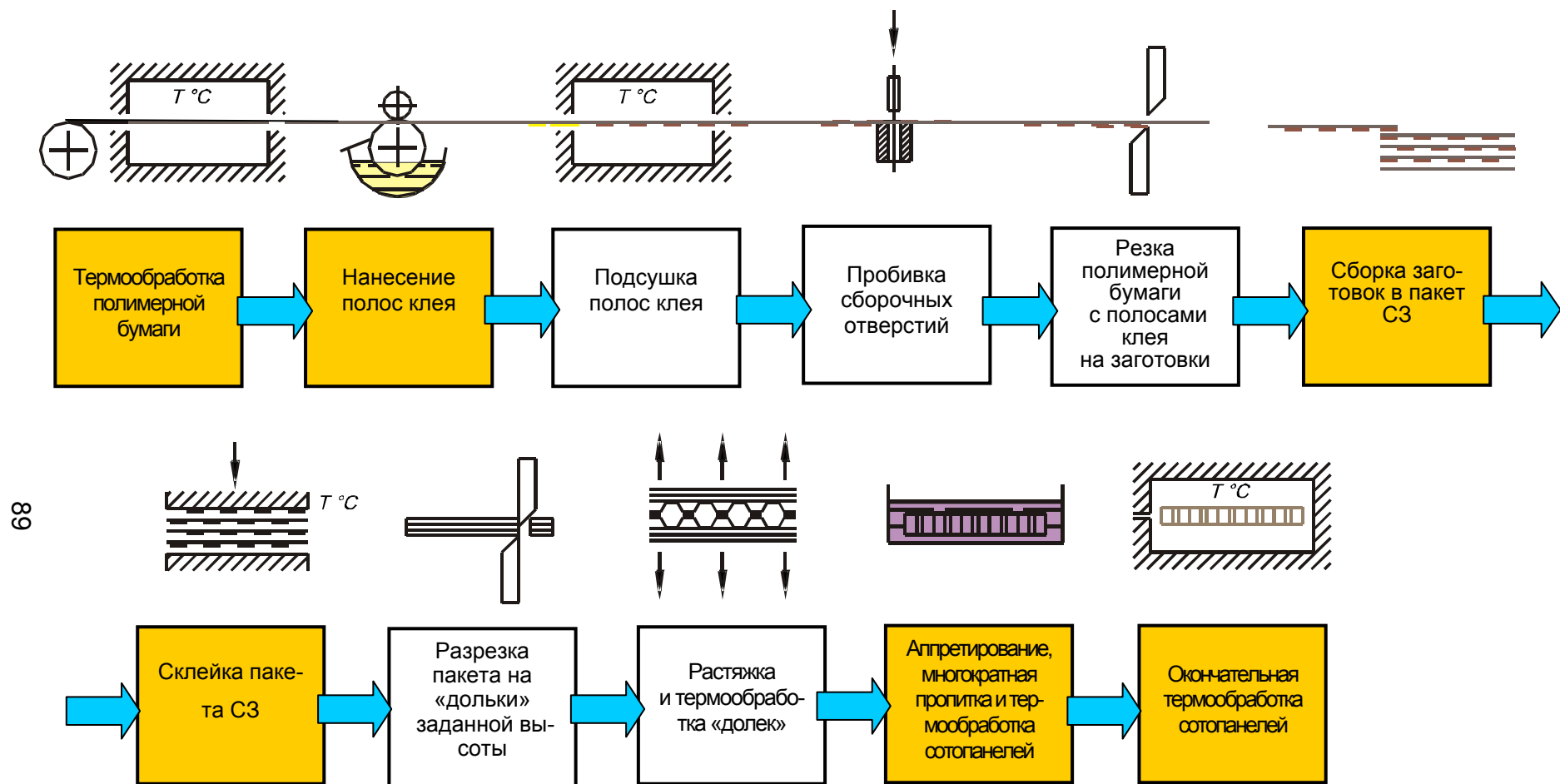


Рис. 3. Технологическая схема изготовления сотовых заполнителей из полимерной бумаги «Номекс» (ОАО «УкрНИИТМ»)

По сравнению с аналогами, существующими в ОНПО «Технология» (РФ) и США, реализованная в УкрНИИТМе схема имеет ряд преимуществ:

- не требует супердорогостоящего оборудования;
- экономный расход полимерной бумаги (безотходная резка пакета);
- высокие точность нанесения клеевых полос по шагу и ширине, а также их качество;
- стабильность массовых характеристик сотопанелей, обеспечиваемая многократной пропиткой, а, следовательно, и высокая стабильность ФМХ СЗ;
- возможность изготовления сотопанелей больших размеров за счет поперечного расположения полос клея.

К недостаткам схемы относится повышенная трудоемкость изготовления, связанная с операциями пропитки и термообработки большого количества сотопанелей.

Технико-экономические расчеты показали, что данная технологическая схема эффективна для производства с годовым объемом 200...300м<sup>3</sup> СЗ, приемлемого для нынешнего экономического развития Украины.

Технологическая линия включает установку нанесения клеевых полос УНКП-1, приспособление для пробивания отверстий под фиксатором, плиту для сборки сотопакета, пресс для прессования сотопакета модели ДГ2432А и бумагорезательную машину модели БР-125К для обрезки сотопакета в размер 800x430 мм.

Дальнейшая часть линии включает приспособления: для приклейки растягивающих элементов к сотопакету; оборудование для разрезки сотопакета на сотодольки – бумагорезательная машина модели БР-125К; приспособление для растяжки сотоблока; печь для термообработки; ванну для пропитки СЗ аппретирующим составом АП-1; приспособление для сушки сотопанелей; ванну для пропитки сотопанели связующим БФОС; печь для термообработки по заданному режиму. Подробное описание промышленной технологии приведено в работе [12].

Особенности нанесения полос клея на полимерную бумагу и оценка влияния направления их расположения на механические свойства ПСП были исследованы в [11]. Выводы, сделанные в [11] по выбору способа нанесения полос клея ВК-25 на алюминиевую фольгу Амг2-Н, относятся и к полимерной бумаге БФСК, для которой способ глубокой печати при нанесении полос клея ВК-25 является более рациональным по сравнению с другими (истечение, высокая и трафаретная печать).

Эксперименты по нанесению на полимерную бумагу БФСК толщиной 55 мкм полос клея ВК-25 шириной 2,1 мм и шагом расположения 10 мм проводили при варьировании следующих параметров печатного процесса: скорости печати, вязкости клея, линиатуры раstra и глубины печатающих элементов - всего 87 вариантов сочетаний параметров.

Анализируя все приведенные в классификаторе [2-4] составляющие подклассов технологических дефектов применительно к СЗ из ПБ, дефекты можно разделить на два типа:

- дефекты ПБ в состоянии поставки;
- дефекты СЗ из ПБ, возникающие в процессе его изготовления.

К I типу относятся:

- геометрические дефекты ПБ в состоянии поставки (локальная и (или) континуальная, разнотолщинность ПБ);
- механические дефекты ПБ в состоянии поставки (анизотропия ФМХ ПБ);

- электризация (наличие электрических зарядов) ПБ, возникающая в состоянии поставки и на последующих операциях.

Ко II типу относятся:

- рассеяние ФМХ СЗ из ПБ, их снижение относительно прогнозируемых (расчетных);
- дефекты связей элементов ячеек СЗ из ПБ (непроклеи, разная ширина клеевых полос);
- дефекты искажения формы ячеек СЗ из ПБ.

Дефекты I типа частично выявляются в процессе входного контроля рулонов ПБ в процессе их перемотки или замеров.

К ним относятся:

- геометрические дефекты ПБ: разтолщинность ПБ (замеряется по установленной методике);
- механические дефекты ПБ: анизотропия ФМХ ПБ (определяется испытанием образцов по принятой методике).

Анизотропия свойств ПБ является следствием ее структуры, исследованной на электронном микроскопе (рис. 4).

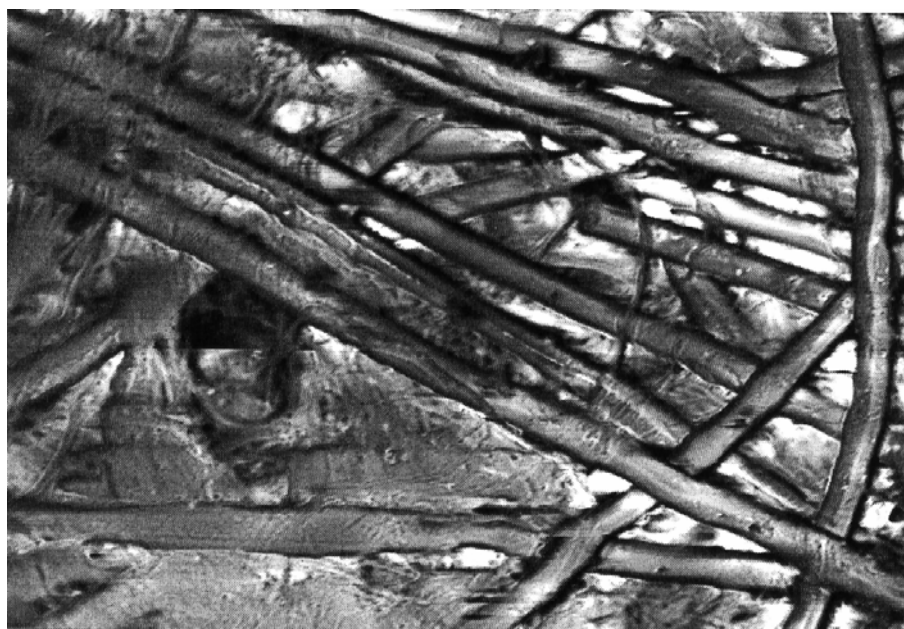


Рис. 4. Структура полимерной бумаги при уровне увеличения в электронном микроскопе в 250 раз

Наличие электрических зарядов исследовано нами в [13]. В состоянии поставки ПБ электризацию замеряют по определенной методике. Однако необходимы исследования количественного изменения величины электрических зарядов (поля) в каждой операции технологического процесса (ТП).

Дефекты II типа возникают и проявляются уже на основных операциях ТП изготовления СЗ. При этом принципиально то, что дефекты II типа в значительной степени зависят от дефектов первого типа, не устраненных на этапе входного контроля ПБ.

Для совершенствования качества СЗ из ПБ технологическими методами необходим анализ как самих дефектов, так и их взаимосвязи. Однако для анализа ряда факторов необходим и анализ породивших их причин, вскрываемых на клас-

сификационном уровне групп и подгрупп (см. рис. 2). Кроме того, дефекты II типа не являются независимыми. Здесь в отличие от дефектов I типа имеет место их иерархическая зависимость (рис. 2, правая часть), т.е. дефект одного типа является частично причиной появления другого.

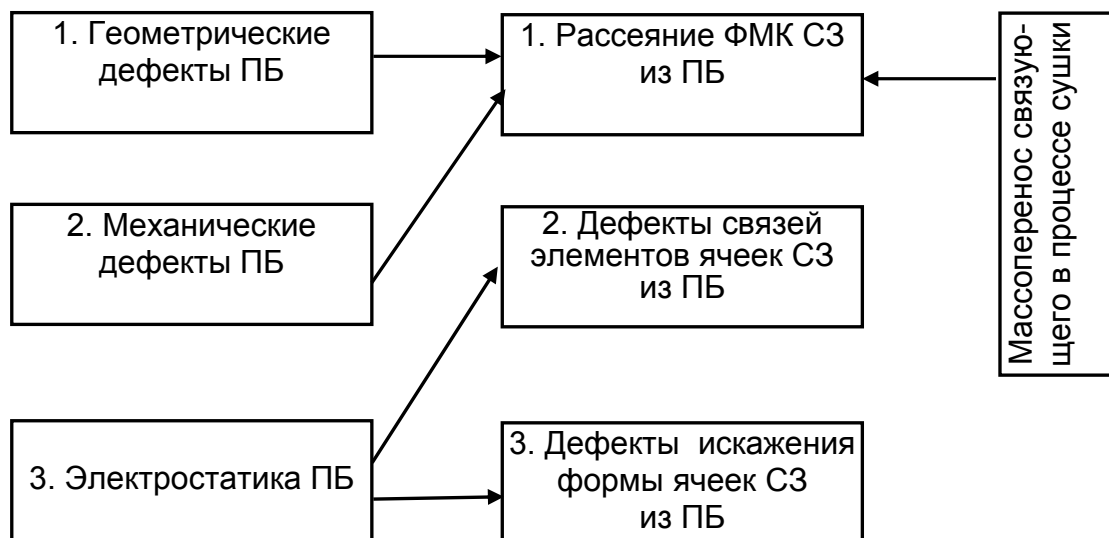


Рис. 5. Схема взаимосвязи технологических дефектов I и II типов СЗ из ПБ

В связи с этим классификатор [8] фиксирующий только первичную и вторичную стадии проявления дефекта, не только представляется информативно не полным, но и не вскрывает трансформацию дефекта, проявляющегося на предыдущей операции ТП в его последующей стадии по всей цепочке ТП, что особенно важно для ТП СЗ из ПБ. Поэтому представляется оправданным классифицировать дефекты по их трансформации на всех операциях ТП, одновременно строго выдерживая иерархию или последовательность такой трансформации.

Дефект массопереноса связующего в процессе сушки СЗ из ПБ в классификаторе рис.2 не выделен в самостоятельный вследствие того, что этот тип дефекта приводит к рассеянию ФМХ СЗ из ПБ по толщине сотопанели. Однако в то же время дефект неравномерного массопереноса является следствием только собственной природы, связанной с турбулентностью воздушного потока при сушке в печи, его эффективной организацией, а также с наличием дефекта I типа наличием электрического поля [14], что и явилось причиной его выделения в схеме рис.5. Иными словами, дефекты II типа являются частично производными от дефектов I типа (т.е. проявляются в процессе формирования дефектов II типа). Вопрос устранения дефектов I типа при их выявлении не совсем простой.

Сказанное выше относится к выявленной при входном контроле разнотолщинности и локальных зон отклонений ФМХ ПБ от регламентированного уровня. Для обоснованного принятия решения необходимы опережающие теоретические исследования степени влияния уровня или иных дефектов I типа на дефекты II типа и конечные критерии качества СЗ – допуск на отклонение ФМХ СЗ из ПБ, допуск на дефективность СЗ из ПБ, допуск на отклонение плотности СЗ из ПБ. Еще сложнее обстоит дело с дефектом I типа – наличием электрического поля в ПБ, являющегося ее свойством как диэлектрика, зависящим как от ее природы (состава), так и от характера взаимодействия с внешними факторами. Возникает аль-

тернатива устранения (снижения) уровня электризации ПБ применением специальных антистатиков (с необходимостью дополнительных исследований их влияния на последующее качество СЗ) или ее учета во всех (или наиболее подверженных влиянию электростатики) последующих операциях ТП производства СЗ из ПБ [15].

Второй путь представляется наиболее обоснованным, так как косвенно затрагивает (дает информацию) и о реализации первого способа.

Отметим еще одну особенность дефектов I типа – они независимы друг от друга как по природе, так и по взаимовлиянию (левая ветвь рис. 5). В то же время, как уже отмечалось выше, дефекты I типа, выделяемые, анализируемые на классификационном уровне групп (рис.2), прямо связаны с соответствующей операцией технологического процесса и взаимодействуют (усиливаются или ослабляются) на различных операциях.

В связи с этим представляется необходимым разработать классификатор взаимоднозначного соответствия технологических операций процесса производства СЗ из ПБ с групповым уровнем независимых дефектов I типа, который даст возможность в последующем выявить их интегральный вклад в соответствующие дефекты II типа (рис. 5). Ниже на схеме рис. 6 показан такой классификатор. В последовательности операций промышленного технологического процесса производства СЗ из ПБ (рис. 3) приведены и некоторые указанные в нем операции (входной контроль ПБ), а также дифференцирована на составляющие выделенная в интегральном виде на схеме рис. 3 операция «аппретирование, многократная пропитка и термообработка сотопанелей».

Кроме того, в классификатор введены операции «приготовление клея с возможными отклонениями в рецептуре и технологических параметров», «приготовление связующего для пропитки ПБ» после ее аппретирования. Эти операции проводят территориально вне технологической линии изготовления СЗ из ПБ, но их результаты включены в соответствующие места последовательно выполняемых операций, а связанные с ними последствия несовершенств (отклонения) зафиксированы в классификаторе в составляющих механических дефектов ПБ.

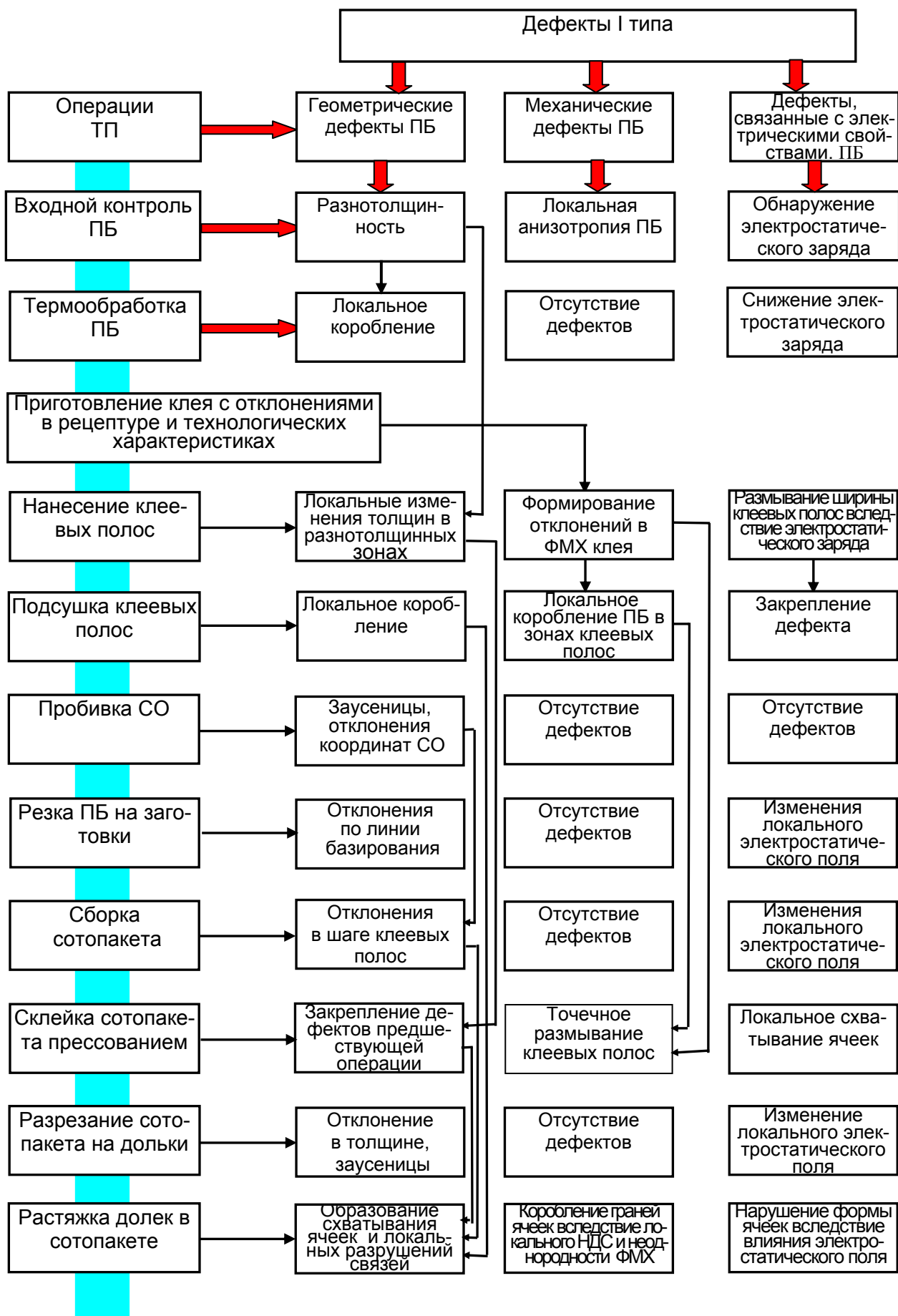
Полученный классификатор позволяет выявить интегральные составляющие дефектов группового уровня I типа на формирование дефектов II типа в целях их последующего анализа на классификационном уровне подгрупп.

Таким образом, дефекты II типа являются в значительной степени следствием дефектов I типа, которые интегрально в них трансформируются и проявляются как следствие их причинно-следственной связи и формируются непосредственно в рамках соответствующего дефекта и (или) их взаимовлияния (рис. 5).

Так, рассеяние ФМХ СЗ из ПБ является следствием:

- неравномерного по высоте СЗ и вследствие турбулентного потока в печи при сушке массопереноса аппрета и связующего, на который влияет и электрическое поле;
- геометрических и механических дефектов ПБ;
- дефектов связей элементов ячейки СЗ из ПБ;
- искажения формы ячеек СЗ.

Каждое из этих следствий в подавляющей степени непосредственно проявляется в каждой ячейке индивидуально, вызывая в общем случае различный уровень отклонений ФМХ в ее элементах. В то же время стохастическое распределение ячеек по всему СЗ приводит к интегральному снижению его общих ФМХ. Таким образом, интегральный дефект «рассеяние ФМХ СЗ из ПБ» является сово-



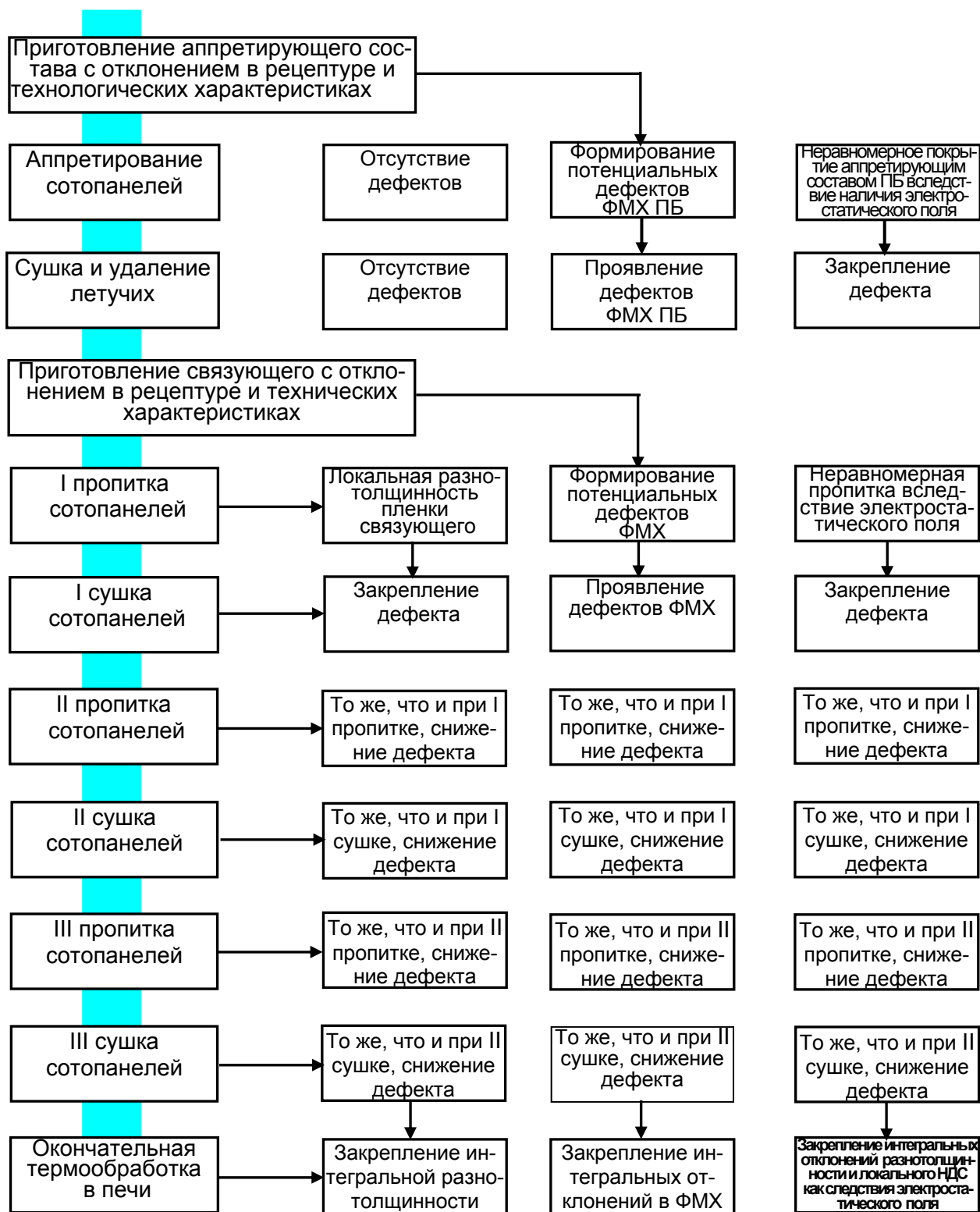


Рис. 6. Классификатор взаимно однозначного соответствия технологических операций процесса производства из ПБ с групповым уровнем дефектов I типа

купностью проявлений непосредственно всех дефектов I типа, их опосредованного проявления через остальные виды дефектов II типа, а также посредством интегральных дефектов II типа.

Дефекты связей элементов ячейки СЗ из ПБ - следствие интегрального проявления только дефектов I типа. Дефекты стохастического искажения формы ячеек СЗ из ПБ являются следствием интегрального проявления дефектов I типа и опосредствованного влияния дефектов связей элементов ячеек.

Анализ уровня групп классификатора С.М. Мельникова [8] позволяет заключить, что для нижестоящего классификационного уровня подгрупп нашего классификатора могут быть использованы те же математические модели и реализующие их методы исследования последствия дефектов группового уровня за исключением дефектов, связанных с электростатикой ПБ на всех операциях технологического процесса и массопереноса связующего в период сушки панелей СЗ. В связи с этим именно такие задачи являются предметом дальнейших исследований автора.

В заключение необходимо отметить, что конечная цель исследований - не только разработка методов анализа технологических дефектов, свойственных процессу производства СЗ из ПБ, но и повышение интегрального качества продукции с помощью этих методов.

Интегральное проявление дефектов СЗ из ПБ выражается в снижении его ФМХ, рассеяния этих характеристик и плотности СЗ, а также в росте очагов разрушаемости СЗ в зонах нарушения связей между его элементами. Это проявление вызывает снижение показателей качества СЗ из ПБ, ограничивающее его надежное применение в СК высокоответственных СК АКТ (рис. 7). Принципиальная схема реализации классификатора технологических дефектов СЗ из ПБ СК АКТ для повышения их качества показана на рис. 8.

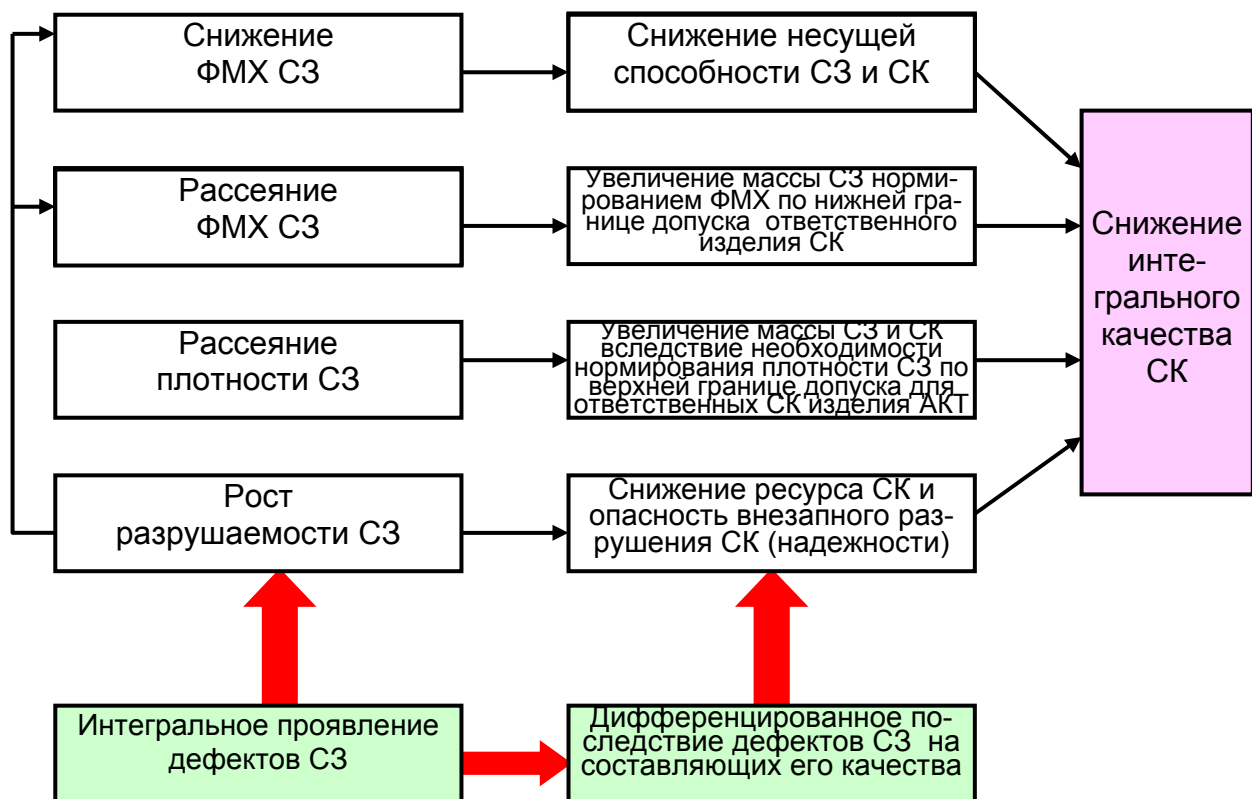


Рис. 7. Схема влияния дефектов СЗ из ПБ на показатели качества СЗ





Рис. 8. Принципиальная схема реализации классификатора технологических дефектов СЗ из ПБ СК АКТ для повышения их качества

## Выводы

1. На основе общей теории классификаций с учетом ранее проведенных исследований и анализа отечественного опыта промышленного производства СЗ из ПБ для конструкций АКТ предложена и обоснована многоуровневая классификация технологических дефектов СЗ из ПБ.

2. Показано место разработанного классификатора в структурной классификации дефектов СК на уровнях видов, классов, подклассов и групп, для которых проведено не противоречащее принятому в математической логике деление объема понятия для каждого уровня соответствующих классификационных ветвей. Это позволило установить взаимнооднозначное соответствие между операциями промышленного производства СЗ из ПБ и типом и характером возникающих на них дефектов, а также выделить два типа дефектов, их взаимосвязь и трансформацию по всей цепочке технологических операций.

3. Вскрыты общие и отличительные характеристики технологических дефектов, возникающих при производстве СЗ из металлической фольги и СЗ из ПБ, что позволило установить общность моделей и методов исследования ряда дефектов, исключающую необходимость их дальнейшего анализа для СЗ из ПБ, а также наличие дефектов СЗ из ПБ, отсутствующих в производстве СЗ из металлической фольги и предопределяющих качество заполнителей из ПБ.

Таковыми дефектами являются электростатические поля в полимерной бумаге, трансформирующихся в дефекты связей элементов ячеек СЗ из ПБ, и дефекты искажения формы ячеек СЗ из ПБ в процессе выполнения технологических операций, а также неравномерный массоперенос аппретирующего состава и связующего в процессе сушки панелей СЗ, вносящий вклад в рассеяние ФМХ СЗ из ПБ.

4. Показана необходимость дальнейшего исследования этих типов дефектов в рамках реализации разработанного классификатора для повышения интегрального качества СЗ из ПБ.

## Список литературы

1. Гайдачук В.Е., Мельников С.М., Сливинский М.В. О проблеме допусков в технологической механике сотовых заполнителей и конструкций // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2004. – Вып. 39(4).- С 35-49.
2. Гайдачук А.В., Сливинский М.В. Технологические дефекты сотовых конструкций из полимерных композиционных материалов // Новые материалы и технологии – НМТ-2004: Тез. докл. Всерос. научно-техн. конф. – М., 17-19 ноября 2004 г.: – В 3 т. - Т. 2. – М.: Изд.-тип. центр «МАТИ» - РГТУ им. К.Э. Циолковского, 2004. – С. 79-80.
3. Гайдачук А.В., Сливинский М.В. Классификация технологических дефектов, возникающих в производстве сотовых конструкций летательных аппаратов // Композиционные материалы в промышленности (Славполиком): Материалы Двадцать четвертой ежегодной международной конференции и выставки 31 мая – 4 июня 2004 г., Ялта – Киев: УИЦ «Наука. Техника. Технология», 2004. – С. 255-256.

4. Гайдачук А.В., Сливинский М.В. Технологические дефекты сотовых конструкций из полимерных материалов // *Авиационно-космическая техника и технология*. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2005. - Вып. 4(20). – С. 5-8.
5. Сливинский В.И. Основные предпосылки и концепция классификации сотовых конструкций и заполнителей // *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии*. – Х., 2001. - Вып. 9. – С. 147-155.
6. Классификация и кластер / Под ред. Дж. Вэн Райзнера: Пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – 389 с.
7. Кондаков Н.И. Логический словарь-справочник. – М.: Наука, 1975. – 720 с.
8. Мельников С.М. Многоуровневая классификация дефектов сотовых заполнителей из металлической фольги и вытекающие из нее задачи определения пролей допусков // *Вопросы проектирования и производства конструкций летальных аппаратов*. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2005. - Вып 41(2). – С. 88-100.
9. Гайдачук В.Е, Кириченко В.В., Мельников С.М. Методы нормирования допусков на технологические параметры процесса производства сотовых заполнителей из металлической фольги: Сб. материалов II междунар. научно-практ. конф. «Эффективность сотовых конструкций в изделиях авиационно-космической техники». – Д., 2007. – С. 87-94.
10. Сливинский В.И. Исследование технологии нанесения полос клея при изготовлении полимерсотопластов // XI Всесоюз. конф. по конструкциям и технологиям получения изделий из КМ. – Обнинск, 25 – 27 окт. 1988 г. – М.: ВИМИ, 1988. – Тезисы докладов. - Ч. 3. – С. 61.
11. Сливинский В.И. Конструктивно-технологические решения по созданию рациональных сотовых конструкций различного назначения // *Машиностроение Украины. Новые технологии* / Под ред. В.А. Ткаченко, Л.Ф. Иванова, А.А. Рябовола, З.Д. Черного. – Д.: ДГУ, 1993. – С. 51-88.
12. Технологический процесс № 923.0660.000.17. Промышленная технология изготовления сотовых заполнителей из полимерной бумаги «Номекс». Утв. предс. правления – директором ОАО «УкрНИИТМ» В.В. Шелухиным 10.07.2000. – Разработчик к.т.н. В.И. Сливинский. – Днепропетровск: УкрНИИТМ, 2000. – 37 с.
13. Гайдачук А.В., Островский Е.К., Сливинский М.В. Накопление электростатического заряда при производстве сотового заполнителя из полимерной бумаги «Номекс» // *Авиационно-космическая техника и технология*. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2004. - Вып. 2(10). – С. 43-48.
14. Гайдачук А.В., Островский Е.К., Сливинский М.В. Исследование массопереноса компонентов состава связующего при изготовлении сотового заполнителя из полимерной бумаги «Номекс» // *Авиационно-космическая техника и технология*. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2006. - Вып. 4(30). – С. 5-10.
15. Перераспределение компонентов в составе пропитки сотовых заполнителей из полимерной бумаги на этапах аппретно-пропиточных операций / А.В. Гайдачук, М.В. Сливинский, Е.К. Островский, В.А. Максименко // Сб. материалов II междунар. научно-практ. конф. «Эффективность сотовых конструкций в изделиях авиационно-космической техники». – Д., 2007. – С. 71-76.

## Оценка технологичности деталей в САПР ТП

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

Ускорение научно-технического прогресса требует комплексного преобразования элементов производства и эксплуатации изделия, перехода от разрозненных технологий и технических средств к целостным системам, охватывающим конструирование детали, технологическую подготовку производства, изготовление и эксплуатацию изделия. Поэтому основным направлением в современном авиационном производстве является комплексная автоматизация всех этапов создания изделия – от его проектирования до изготовления, испытаний, эксплуатации и утилизации.

Задачи, решаемые при технологической подготовке производства (ТПП), можно разделить на четыре группы:

Таблица №1

Группы задач ТПП

Группы задач ТПП	% общих затрат времени	Уровень автоматизации
Оформление документов	30 – 50 %	Полностью автоматизировано
Поиск информации	15 – 20 %	Автоматизирован, но имеет недостатки
Инженерные расчеты	20 – 40 %	Полностью автоматизированы (САЕ-модули)
Логические рассуждения и принятие решений	не более 10 %	Слабо автоматизированы

Как видно из табл.№1 первые три группы полностью автоматизированы. Четвертую группу задач составляют логические рассуждения и принятия решений. В современных условиях при традиционном проектировании на решение этих задач может быть выделено не более 10 % общего фонда времени. В то же время, именно эти задачи во многом определяют эффективность проектирования. К ним относятся, например, синтез структуры технологического процесса (ТП) т. е. выбор маршрута обработки, синтез структуры операции, выбор баз, разработка конструкции технологической оснастки, оценка технологичности и т. п. [1]

Широкое использование технологического классификатора деталей (ТКД) в промышленности при подготовке производства, в рамках внедрения в ЕСТПП, показало его высокую эффективность при решении производственных задач с применением современных средств вычислительной техники и новейших технико-математических методов. Опыт его внедрения в отраслях промышленности показал, что он создает предпосылки для решения следующих основных задач:

- анализ номенклатуры деталей по их конструктивно-технологическим характеристикам;
- группирование деталей по конструктивно-технологическому подобию для разработки типовых и групповых технологических процессов (ТП) с использованием ЭВМ;

- поддетальная специализация производственных подразделений (участков, цехов, заводов);
- повышение серийности и концентрация производства деталей;
- унификация и стандартизация деталей и ТП их изготовления;
- рациональный выбор типов технологического оборудования;
- тематический поиск и заимствование ранее разработанных типовых или групповых ТП;
- автоматизация проектирования деталей и ТП их изготовления.

Процесс кодирования деталей заключается в присвоении детали цифрового кода классификационной характеристики её конструкторских признаков по высшим классификационным группировкам ОКП и дополнении его буквенно-цифровыми кодами основных технологических признаков [2].

На базе единой классификации формируют конструкторско-технологический код детали. Этот код объединяет в одну группу родственные детали, которые могут быть обработаны по близким ТП. Поэтому сформированный код детали может служить ключом для поиска типового ТП или техпроцесса-аналога в экспертной системе.

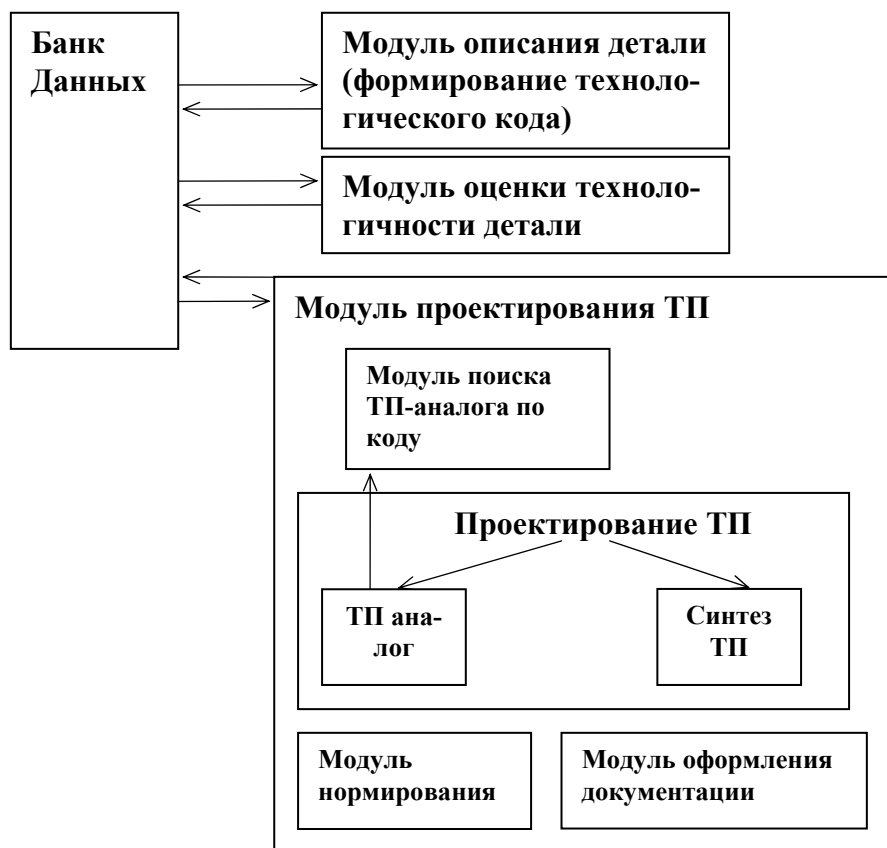


Рис.1 Схема автоматизированной технологической системы

На рис. 1 показана схема автоматизированной технологической системы. Фундаментом САПР является банк данных для хранения исходной информации. Для его функционирования создается система управления, обеспечивающая работу с базами данных и связь между ними.

Модуль описания детали позволяет технологу ввести значения всех необходимых параметров детали из трубы. Введенная информация хранится в элек-

тронном виде в базе данных. Некоторые из этих параметров автоматически используются в дальнейшем для формирования кода, который обеспечивает автоматизацию процесса проектирования ТП с минимальным участием человека. Таким образом, еще на этапе описания детали технологом, системой формируются правила ее изготовления. [3]

Помимо этого, применяя обратную операцию к КТК – его расшифровку, можно решить вопрос автоматизации оценки технологичности детали.

Параллельно с формированием КТК происходит оценка технологичности. Система обрабатывает значения указанных пользователем параметров и с помощью экспертной системы выдает рекомендации по их значениям. Таким образом происходит качественная и количественная оценка технологичности детали, степень ее технологичности.. Под степенью технологичности можно понимать оценку сочетания факторов влияющих на экономичность и трудоемкость изготовления детали.

На степень технологичности трубопроводов влияет множество факторов как по отдельности, так и в комбинации. При этом следует учитывать не только объективные факторы, но субъективные и условно субъективные. То, что с точки зрения одного предприятия является нетехнологичным, для другого таковым может и не являться. При оценке технологичности огромное влияние оказывает уровень оснащенности предприятия и возможностей его службы подготовки адаптироваться к конструктивным нововведениям.

Рассматривая проектирование ТП изготовления трубопроводов в качестве области применения описываемой методики оценки технологичности, можно выделить следующие основные геометрические характеристики трубопровода, входящие в состав КТК детали из трубы, которые позволяют экспертной системе автоматически оценить ее степень технологичности:

- длина трубы;
- диаметр трубы;
- толщина стенки трубы;
- радиусгиба;
- количество гибов;
- прямые участки на концах;
- прямые участки между гибом.

**Длина трубопровода.** Чем длиннее трубопровод, тем менее он технологичен. Особенно отрицательное влияние большой длины начинает сказываться при длинах свыше двух метров. Наиболее отрицательное влияние большой длины более характерно для «нежестких» трубопроводов (жесткость трубопровода падает с увеличением длины и уменьшением наружного диаметра) и трубопроводов, контроль конфигурации которых следует выполнять по УСП (вес балки УСП длиной только лишь 800мм с элементами навески составляет около 13кг.). В качестве примера рассмотрим один из трубопроводов топливной системы самолета. Его длина составляет около 8,5 метров. Материал его – Амг-2М, а диаметр 16мм. Этот трубопровод в довершение всего на концах имеет изгибы. Жесткость такого трубопровода, что называется, нулевая. Только переноска его требует наличия специальной оснастки и трех человек для этой цели. Поскольку материал подобной длины не поставляется, ствол трубопровода выполняется сварным. При внутреннем диаметре 14мм на удалении около двух метров от торца обеспечить сварку без проплава и не нарушить соосность свариваемых частей более чем проблематично. Разметка зонгиба, обеспечение углов между плоскостямигиба, контроль такого трубопровода (согласно нормативной документации для контроля должно применяться УСП) выходят за грани возможностей. На любом этапе изготовления,

начиная с раскроя и заканчивая испытаниями и покрытием приходится решать сложные проблемы разного свойства от технических до организационных.

**Диаметр трубы.** Диаметр трубы оказывает влияние на жесткость трубы, которая, в свою очередь, оказывает влияние на устойчивость стенки трубы при гибке. Чем больше диаметр трубы, тем сложнее бороться с появлением гофров и с обеспечением допустимой овальности. Применительно к конкретному предприятию можно считать нетехнологическим фактором, если диаметр нового трубопровода не совпадает с диаметрами ранее изготавливавшихся трубопроводов. Следует учитывать и то, что с уменьшением диаметра могут возникать проблемы с формообразованием. Так, например развальцовка труб диаметром 3мм и 4мм вызывает достаточные трудности и, по-хорошему, требует разработки и внедрения формообразования при помощи нагрева. Зиговка труб диаметром менее 20мм также сопряжена с большими проблемами ввиду недостаточной жесткости и прочности инструмента.

**Толщина стенки.** Влияние ее величины похоже на влияние диаметра. Стенка толщиной менее 1мм, как правило, влечет за собой снижение технологичности. В то же время, увеличение стенки свыше 2мм-2,5мм также можно отнести к факторам нетехнологичности, т.к. требует или применения более мощного оборудования или ограничивает возможности ручного изготовления

**Радиус гиба.** Этот параметр оказывает существенное влияние на оценку технологичности трубопровода. Статистика показывает, что в большинстве случаев технологичная конструкция имеет гибы величиной не менее  $3,5D_n$  трубы. При этом все гибы в пределах одного элемента ствола должны быть одинаковыми по величине радиуса. Нарушение такого подхода создает проблемы при внедрении гибки на СЧПУ (станки, позволяющие согнуть трубу разными радиусами, дороги и мало распространены). С точки зрения конкретного предприятия одна и та же труба может считаться и технологичной и нет. Если для гибки трубы необходимо изготовление новой оснастки, то это снижает оценку технологичности трубы для конкретного предприятия. При этом следует помнить, что бесконечное увеличение оснастки для гибки нельзя отнести к положительным моментам производства.

**Прямые участки на концах.** На качество и даже возможность выполнения законцовки существенное значение имеет величина прямого участка на концах. В тех случаях, когда она недостаточна (для каждого типа законцовки и каждого типоразмера трубы такая длина различна), то законцовку выполнить либо невозможно, либо вероятность качественного выполнения законцовки становится проблематичной. Такая, казалось бы, простая операция, как торцовка, при недостаточной величине прямого участка для зажима в станке приводит к необходимости применения ручной торцовки, что не только ведет к увеличению трудоемкости при одновременной предпосылке к снижению качества. Малая величина прямых участков порой требует изготовления дополнительной оснастки, что нельзя признать положительным. Практически большая часть того, что ниже изложено для прямых участков между гыбами может быть отнесено и к прямым участкам на концах.

**Прямые участки между гыбами.** Недостаточные прямые участки между гыбами могут привести к тому, что невозможна будет гибка не только на СЧПУ, но даже механизированная ручная гибка. Чем больше диаметр и тоньше стенка, тем сильнее проявляется этот фактор. Он усугубляется при изготовлении трубопроводов из нержавеющей сталей. Одним из способов компенсации недостаточной длины прямых участков между гыбами является уменьшение радиуса гыба. Однако это в свою очередь отрицательно влияет на качество согнутого участка, т.к. с уменьшением радиуса гыба увеличивается овальность и гофрообразование. В отдельных случаях для возможности обеспечения достаточного прямого участка приходится вводить в конструкцию крутоизогнутые колена или даже штампованные патрубки

**Конфигурация трубопровода.** Чем больше изгибов и плоскостей изгибов заложено в конструкции (особенно при наличии больших длин), тем менее технологичным следует считать трубопровод. Особенно сильно этот фактор проявляется при отсутствии необходимого оборудования для гибки на СЧПУ. Примером может служить трубопровод противопожарной системы по кабины самолета. Помимо проблем изготовления такого трубопровода и его контроля пришлось решать и целый ряд проблем в монтаже. На каждой новой модификации приходилось менять один и тот же участок длиной менее 1 метра с небольшим количеством гибов. Проблема была решена в конечном итоге тем, что была выполнена замена одного трубопровода на два. Один из них условно постоянен, ибо от модификации к модификации остается неизменным. А второй, более короткий, имеет ряд исполнений, различных для каждой модификации самолета.

Вторым примером может служить трубопровод подачи топлива к двигателю, проходящий по балке мотогондолы. Он имеет в целом удовлетворительную конфигурацию – достаточную величину прямых участков между гибом и величины радиусов. Однако на одном из концов на коротком промежутке необходимо было разместить 2 гибом. При этом пришлось уменьшить даже радиус гибом (по нейтральной линии до величины  $1,5D_n$  трубы). Это повлекло за собой вместо изготовления ствола из одной цельнотянутой трубы выполнять ствол из трех частей: одной части с удовлетворительными геометрическими характеристиками, и двух крутоизогнутых колен.

Указанные выше геометрические характеристики являются показателями качественной технологичности. Эти характеристики выражаются числовыми значениями.

Как известно, существует еще и количественные показатели технологичности – время, себестоимость и т.д., которые тоже надо учитывать при оценке общей технологичности.

Для автоматизации процесса оценки технологичности необходимо привести параметры качественной технологичности к «общему знаменателю». Это можно сделать путем разработки системы оценок. Значение параметров представим в виде диапазонов и каждому диапазону присвоим оценку. Таким образом, мы получим сочетание нескольких цифровых значений. Их сумма и будет оценкой качественной технологичности.

Подобные характеристики можно выделить и для других групп деталей – из листа и профиля. Конечно, они будут отличаться от вышеперечисленных, но подход к оценке технологичности с помощью КТК останется прежним.

Следовательно, систематизировав значения характеристик детали, влияющих на ее технологичность, и «обучив» им экспертную систему, можно с помощью КТК автоматизировать одну из задач, входящих в состав группы «Логические рассуждения и принятие решений».

### **Список литературы**

1. Сухов В.В. Оптимизация конструктивно-технологического облика деталей заготовительно-штамповочного производства в авиастроении.—К.: Техніка, 1997.— 161 с: ил.—Библиогр.: с.151-159
2. Компьютерные интегрированные технологии авиационного производства. Ч. 6. Автоматизированные системы технологической подготовки производства. Учеб. пособие /Кривцов В.С., Дьяченко Ю.В., Зайцев В.Е., Коллеров В.В., Павленко А.А. - Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2003. – 92 с.
3. Мельников М.С. Создание САПР технологических процессов заготовительно-штамповочного производства. // Авиационно-космическая техника и технология. – 2007. – № 3(39). – С. 42-46.



## **Метод построения системных моделей мультипроекта инвестиционно-строительной корпорации**

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

Основным методом, используемым для изучения инвестиционно-строительной корпорации, является системный подход – направление методологии специального научного познания, в основе которого лежит исследование объектов как систем, где система понимается как совокупность элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, образующая определенную целостность, единство. Системный подход к управлению широко рассматривался в работах современных отечественных и зарубежных авторов: В.М. Илюшко [1, 2], О.Е.Федоровича [2], А.Р. Емада [3], Г. Коллинза [4], Р.З. Акберина [5], Р. Уотермана, [6], С. Бира [7] и др.

При определении понятия «система» необходимо учитывать теснейшую взаимосвязь его с понятиями целостности, структуры, связи, элемента, отношения, подсистемы др. Лишь в рамках такого семейства определений удастся отразить основные системные принципы: целостности, структурности, взаимозависимости системы и среды, иерархичности, множественности описания каждой системы. Важной особенностью большинства систем является передача в них информации и наличие процессов управления. Как часть системного подхода используется системный анализ. Привлечение методов системного анализа для решения указанных проблем необходимо, прежде всего, потому, что в процессе принятия решений приходится осуществлять выбор в условиях неопределенности, которая обусловлена наличием факторов, не поддающихся строгой количественной оценке. Процедуры и методы системного анализа направлены именно на выдвижение альтернативных вариантов решения проблемы, выявление масштабов неопределенности по каждому из вариантов и сопоставление вариантов по тем или иным критериям эффективности.

Важнейшие принципы системного анализа сводятся к следующему: процесс принятия решений должен начинаться с выявления и четкого формулирования конечных целей; всю проблему следует рассматривать как целое, как единую систему и выявлять все последствия и взаимосвязи каждого частного решения; необходимы выявление и анализ возможных альтернативных путей достижения цели. Изучение любой системы, обусловленной эффективным существованием целостных комплексов элементов в материальном мире, предполагает наличие объекта исследования, исследователя и цели. Наличие двух последних приводит к тому, что один и тот же реально существующий объект становится источником выявления целого ряда систем.

Как известно, системы классифицируются по степени сложности. В данной работе в качестве объекта исследования будем рассматривать инвестиционно-строительную корпорацию, относящую к сверхсложным (большим) системам, которые практически не поддаются полному, исчерпывающему описанию ввиду своей динамичности, являются вероятностными и проявляют свойства, не вытекающие непосредственно из свойств, составляющих систему элементов. Кроме того, инвестиционно-строительная корпорация как объект изучения относится к классу целенаправленных систем, стремящихся к целесообразному

поведению, к достижению наиболее предпочтительных состояний (стратегия/тактика).

Сложность корпорации как системы предопределяет и методологию её исследования. Важнейшей особенностью при ее исследовании и представлении является неразрывное единство двух подходов: процессного (событийного – динамического) и структурного (статического) [8].

Исследование корпорации как системы образует две составляющие – собственно систему управления (корпорацию) и объект управления (мультипроект) [9]. Функция системы проявляется в ее поведении, и при процессном подходе исследователя интересует не столько то, из чего состоит система, сколько то, как она себя ведет. Это легло в основу современного очень популярного направления исследования – бизнес-моделирование [10, 11], главным в котором являются определенные закономерности (бизнес-процессы, алгоритмы) функционирования (поведения) системы. Разрывы в бизнес-процессах приводят к невозможности или некорректности достижения конечных целей.

При всей важности процессного подхода к исследованию корпорации как сверхсложной системы он далеко не исчерпывает возможности его познания. Из философии известно, что всеобщим принципом развития познания служит переход от явления к сущности вещей. В системном анализе этот принцип конкретизируется в переходе от исследования процессов (функции) систем к изучению их структуры.

Цель анализа – возможно полное познание закономерностей функционирования системы при существующей структуре. Задача синтеза – спроектировать такую структуру, при которой наилучшим образом будут реализованы заданные функции. Центральной процедурой системного анализа является построение обобщенной (системной) модели (или моделей), отображающей все факторы и взаимосвязи реальной ситуации, которые могут проявиться в процессе осуществления решения.

А.М. Гаджинский [12] в своих работах наиболее наглядно показал, что существо системного подхода отчетливо проявляется при его сравнении с классическим индуктивным подходом к формированию систем.

Таким образом, проведенный анализ свидетельствует о том, что для управления любой системой требуется понимание процессов, происходящих внутри ее. Поэтому для эффективного управления инвестиционно-строительной корпорацией важно понимание того, что есть мультипроект как объект управления, как системный бизнес-процесс, а для этого необходим анализ его как системы взаимосвязанных свойств, структур, алгоритмов, уровней иерархии представления и управления и т.д. Решению данной задачи и посвящена эта статья, **целью** которой является разработка метода системного, наглядного и формализованного представления мультипроекта.

Для системного представления мультипроекта используем методику, предложенную В.М. Илюшко [1, 2]. В основу данной методики положены определенные последовательные действия: необходимо представить объект управления (в нашем случае – мультипроект) и систему управления (в нашем случае – корпорацию) в виде логической совокупности свойств (страт) системы, декомпозированных по уровням иерархии системы. Исходя из сложности объекта и системы управления, невозможности сразу описать их полно и достоверно – предложена система страт, регламентирующая последовательность накопления

знаний об объекте. Для описания нашего объекта предлагается выделить следующие страты: целевую ( $C$ ), функциональную ( $\Phi$ ), организационной структуры ( $OC$ ), инфологическую ( $ИЛ$ ), алгоритмическую ( $A$ ). Каждая из этих страт будет, в свою очередь, декомпозироваться (иерархически разделяться) со следующей степенью подчиненности уровней:

$$MultProj \rightarrow Proj \rightarrow UnProj \rightarrow GrTask \rightarrow Task ,$$

где  $MultProj$  – мультипроект;

$Proj$  – составная часть мультипроекта – проект;

$UnProj$  – подпроект;

$GrTask$  – группа задач;

$Task$  – единичная задача.

Любые операции для представления, анализа, оптимизации мультипроекта как сложного объекта на сегодня трудно представить без использования компьютерных средств. В связи с этим следующим шагом к системному (стратифицированному, иерархическому) представлению мультипроекта является создание компьютерной системной модели, т.е. совокупности взаимосвязанных моделей по всем стратам представления объекта [13]. Процесс формирования компьютерной системной модели заключается в последовательном переходе от словесного описания к наглядному и формализованному представлению, а затем к компьютерному представлению моделей на различных стратах и уровнях мультипроекта. Данный подход к процессу формирования компьютерных имитационных моделей для сложных систем высказывался в работах Н.П. Бусленко [14], В.Н. Бусленко [15], И.В. Максимея [16].

В процессе формирования компьютерной системной модели мультипроекта важным вопросом есть выбор методов формализованного представления моделей. Причем наглядность представления и удобство работы с ними на всех уровнях и стратах представления также являются основными требованиями к методу и языку описания моделей. Поэтому для описания моделей можно выдвинуть следующие основные требования:

– наглядность в представлении модели, легкость построения компьютерными средствами;

– возможность проведения анализа, преобразований, оптимизации над моделями, в том числе компьютерными способами.

Анализ мультипроекта на различных стратах показал, что для представления страт (целевой, функциональной, организационной структуры, ресурсной, инфологической) необходимо сформировать структурные модели, а для алгоритмической страты – событийную модель. Структурные модели описывают состав (структуру) мультипроекта на определенной страте представления, а событийные – процессы (с учетом временного параметра, в отличие от структурных моделей), происходящие в мультипроекте. Структурные и событийные модели являются взаимосвязанными – одни являются прообразом для других, как по стратам, так и по уровням декомпозиции проектных решений, вследствие чего необходимо использовать единый способ представления структурных и событийных моделей.

Для описания структур, удовлетворяющих требованию наглядности, используется аппарат теории графов [17, 18]. Математический аппарат теории графов имеет достаточный набор теорем, аксиом, что помогает производить над графовыми моделями разнообразные операции и преобразования [19]. Для

описания событийных процессов предлагается использовать аппарат регулярных схем алгоритмов (РСА), впервые предложенный В.М. Глушковым [20], который позволяет наглядно, однозначно и строго описывать действия алгоритмов, осуществлять равносильные преобразования алгоритмов из любых языков описания в РСА и т.д. В своих работах В.М. Илюшко, на основании проведенного сравнительного анализа формализованных языков описания структур и алгоритмов, показал, что наиболее соответствующим средством для описания и преобразования моделей может служить модифицированный язык регулярных схем алгоритмов с построением на базе его регулярных схем системных моделей (РССМ) [21].

Таким образом, в соответствии с последующим процессом формирования компьютерной системной модели мультипроекта, для наглядного представления моделей применяется теория графов, для формализованного представления моделей используются РССМ, компьютерное представление моделей базируется на основных понятиях и принципах объектно-ориентированного программирования.

Как было сказано ранее, процессы реализации и управления мультипроектом в инвестиционно-строительной корпорации являются системными, поэтому с помощью методов декомпозиции и стратификации представим его в виде набора структурных и событийных моделей, используя теорию графов и язык РССМ.

#### **Наглядное представление структурных моделей мультипроекта инвестиционно-строительной корпорации.**

Наглядное представление структурных моделей мультипроекта осуществляется следующим образом.

Фиксируем элемент структуры на уровне *MultiProj* и производим его декомпозицию на элементы уровня *Proj* на основании словесного описания, предоставляемого руководителем мультипроекта:  $MultiProj = \Omega_{\dots i} Proj$ . Присваиваем каждому элементу структуры уровня *Proj* значение узла графа  $\alpha_i$ . Строим систему узлов графа  $\Omega \alpha_i$ . Получаем графовое представление структурной модели на уровне проектов (рис. 1):  $MultiProj = \Omega_{\dots i} Proj \rightarrow \Gamma_{\dots i} Proj$ .

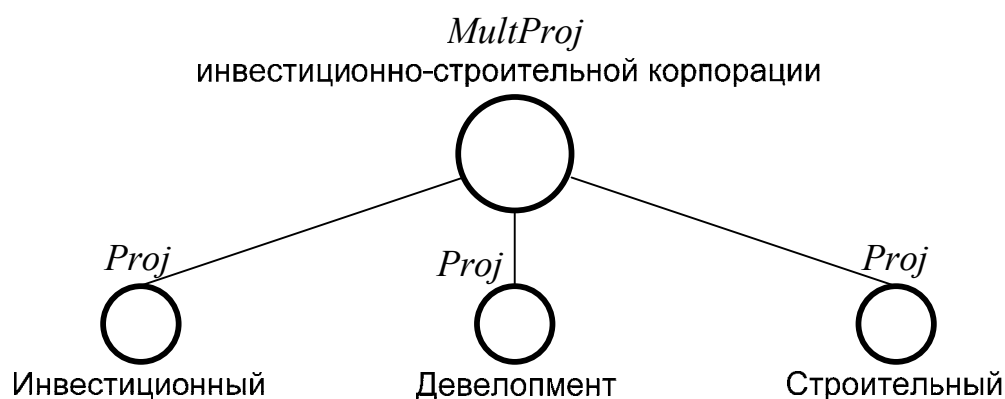


Рис. 1. Графовое представление структурной модели на уровне проектов

Фиксируем элементы структуры на уровне *Proj* и производим их декомпозицию на элементы уровня *UnProj* на основании словесных описаний, предоставляемых руководителями проектов:  $Proj = \Omega_{\dots i} UnProj$ . Присваиваем

каждому элементу структуры уровня  $UnProj$  значение узла графа  $\alpha_i$ . Строим систему узлов графа  $\Omega\alpha_i$ . Получаем графовое представление структурной модели на уровне подпроектов:  $Proj = \Omega\dots_i UnProj \rightarrow \Gamma\dots_i UnProj$ .

Вставляя подграфы уровня  $UnProj$  в граф верхнего уровня  $Proj$ , получаем графовое представление структурной модели на уровне подпроектов (рис. 2).

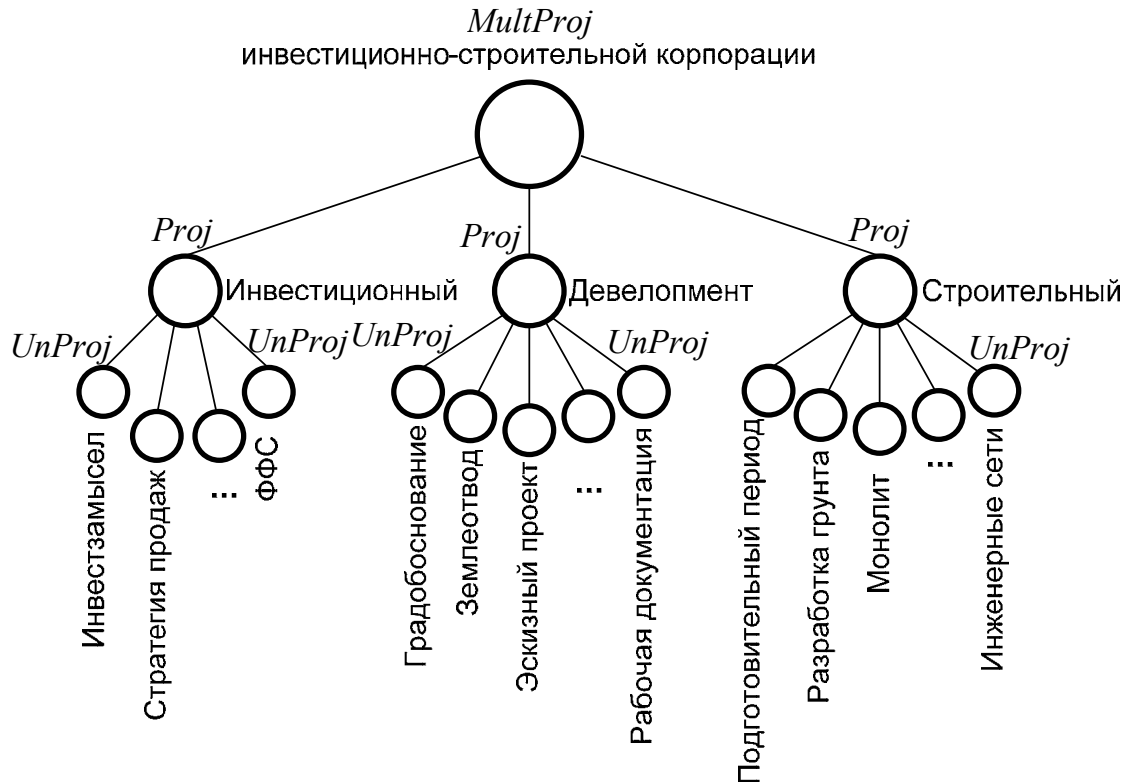


Рис. 2. Графовое представление структурной модели на уровне подпроектов

Фиксируем элементы структуры на уровне  $UnProj$  и производим их декомпозицию на элементы уровня  $GrTask$  на основании словесных описаний, предоставляемых руководителями подпроектов:  $UnProj = \Omega\dots_i GrTask$ . Присваиваем каждому элементу структуры уровня  $GrTask$  значение узла графа  $\alpha_i$ . Строим систему узлов графа  $\Omega\alpha_i$ . Получаем графовое представление структурной модели на уровне групп элементов:  $UnProj = \Omega\dots_i GrTask \rightarrow \Gamma\dots_i GrTask$ .

Вставляя подграфы уровня  $GrTask$  в граф уровня  $UnProj$ , получаем графовое представление структурной модели на уровне групп задач (рис. 3).

Фиксируем элементы структуры на уровне  $GrTask$  и производим их декомпозицию на элементы уровня  $Task$  на основании словесных описаний, предоставляемых руководителями групп задач:  $GrTask = \Omega\dots_i Task$ . Присваиваем каждому элементу структуры уровня  $Task$  значение узла графа  $\alpha_i$ . Строим систему узлов графа  $\Omega\alpha_i$ . Получаем графовое представление структурной модели на уровне задач:  $GrTask = \Omega\dots_i Task \rightarrow \Gamma\dots_i Task$ .

Вставляя подграфы уровня  $Task$  в граф верхнего уровня  $GrTask$ , получаем графовое представление структурной модели на уровне задач (рис. 4).

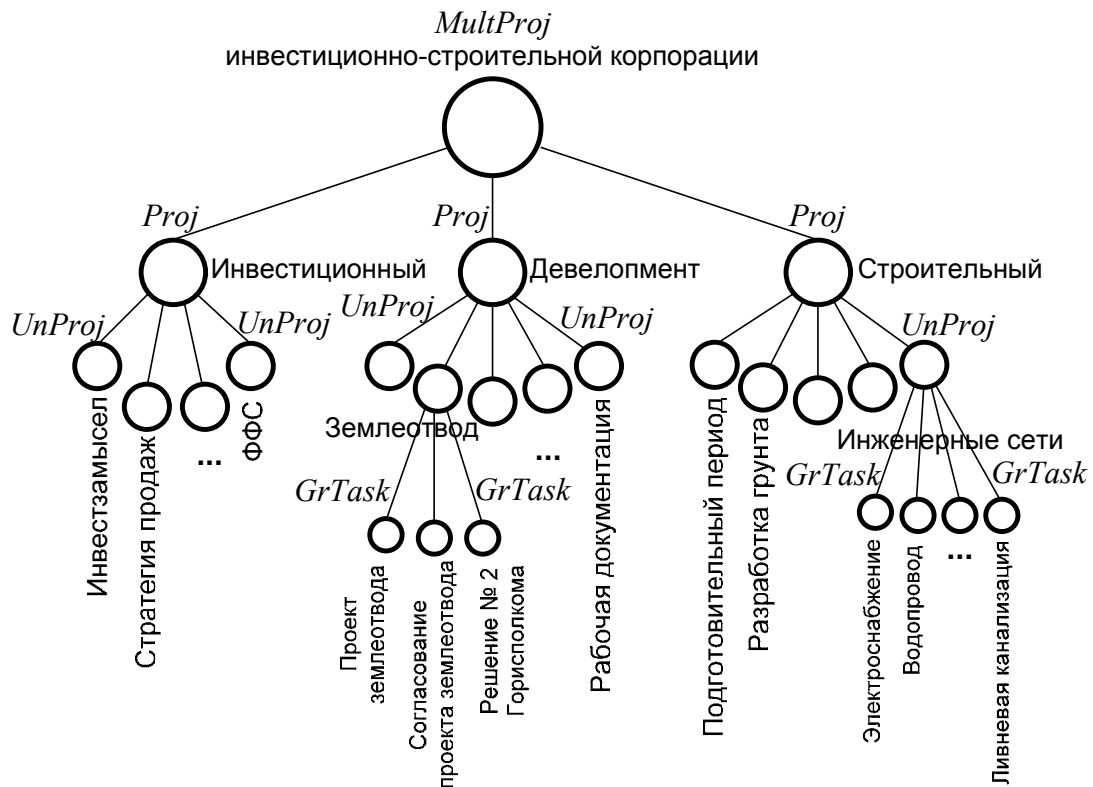


Рис. 3. Графовое представление структурной модели на уровне групп задач

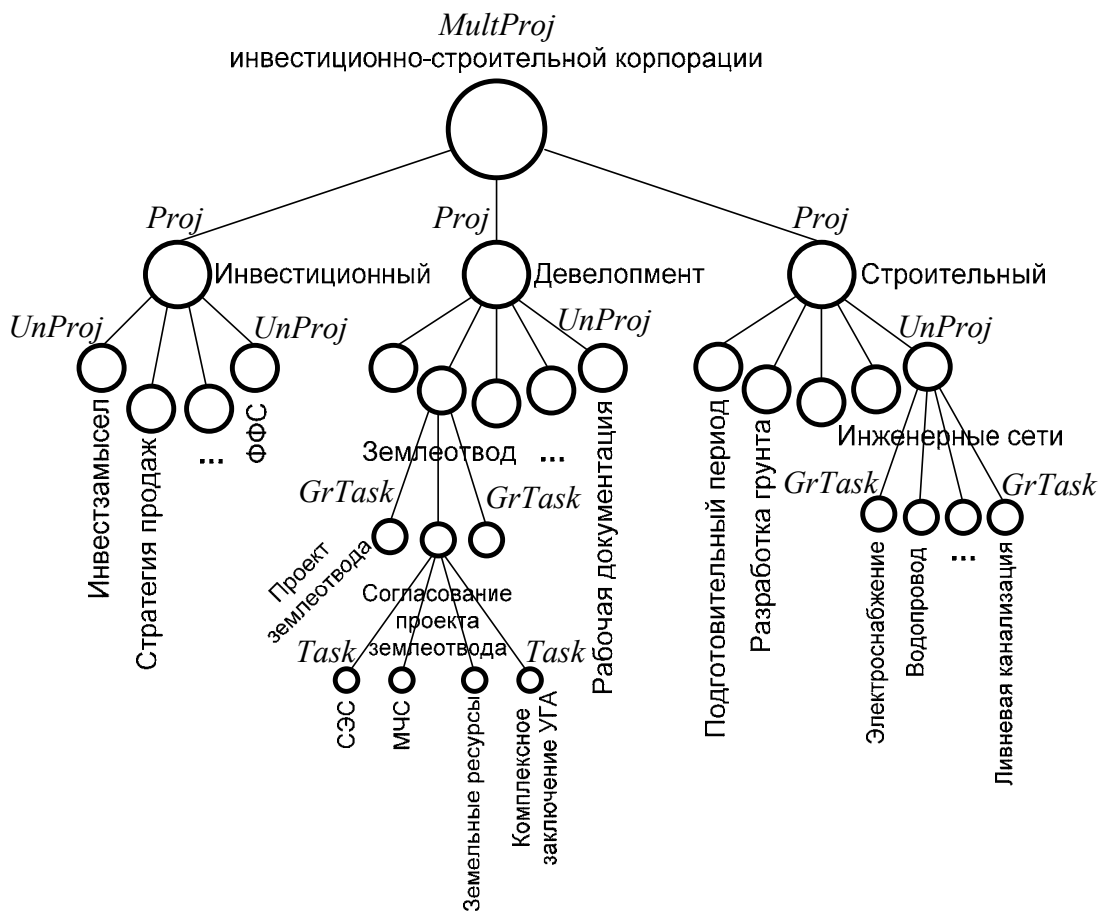


Рис. 4. Графовое представление структурной модели на уровне задач

**Наглядное представление событийных моделей мультипроекта.**  
 Данное представление осуществляется следующим образом.

Фиксируем событие на уровне *MultiProj* и производим его декомпозицию на события уровня *Proj* на основании словесного описания, предоставляемого руководителем мультипроекта:  $MultiProj = \Omega \dots_i Proj$ . Присваиваем каждому событию уровня *Proj* значение узла графа  $\alpha_i$ . Строим систему узлов графа  $\Omega \alpha_i$ .

Руководитель мультипроекта должен определить связи между событиями уровня *Proj*, т.е. последовательность их выполнения, начиная с первого события  $Proj_1$ . Возможны следующие варианты:

- последовательное выполнение элементов:  $Proj_i \rightarrow Proj_{i+1}$ ;
- параллельное выполнение элементов:  $Proj_i \begin{matrix} \rightarrow Proj_{i+1} \\ \rightarrow Proj_{i+2} \end{matrix}$ ;
- выполнение элементов по условию  $x_k$ :  $Proj_i \rightarrow \begin{matrix} x_k^0 \rightarrow Proj_{i+1} \\ x_k^1 \rightarrow Proj_{i+2} \end{matrix}$ .

Наносим связи между событиями уровня *Proj* в виде ребер графа на соответствующие узлы графа:  $\alpha_i \rightarrow \alpha_j$ . Получаем графовое представление событийной модели на уровне проектов (рис. 5):  $MultiProj = \Omega \dots_i Proj \rightarrow \Gamma \dots_i Proj$ .

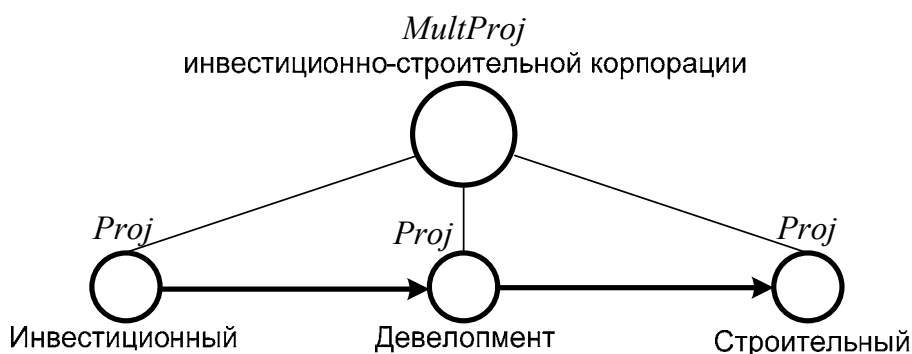


Рис. 5. Графовое представление событийной модели на уровне *Proj*

Фиксируем события на уровне *Proj* и производим их декомпозицию на события уровня *UnProj* на основании словесных описаний, предоставляемых руководителями проектов:  $Proj = \Omega \dots_i UnProj$ . Присваиваем каждому событию уровня *UnProj* значение узла графа  $\alpha_i$ . Строим систему узлов графа  $\Omega \alpha_i$ .

Руководители проектов должны определить связи между событиями уровня *UnProj*, т.е. последовательность их выполнения, начиная с первого элемента  $UnProj_1$ .

Наносим связи между событиями уровня *UnProj* в виде ребер графа на соответствующие узлы графа:  $\alpha_i \rightarrow \alpha_j$ . Получаем графовое представление событийной модели на уровне подпроектов:  $Proj = \Omega \dots_i UnProj \rightarrow \Gamma \dots_i UnProj$ . Вставляя подграфы событий уровня *UnProj* в граф верхнего уровня *Proj*, получаем графовое представление событийной модели в базисе подпроектов (рис. 6).

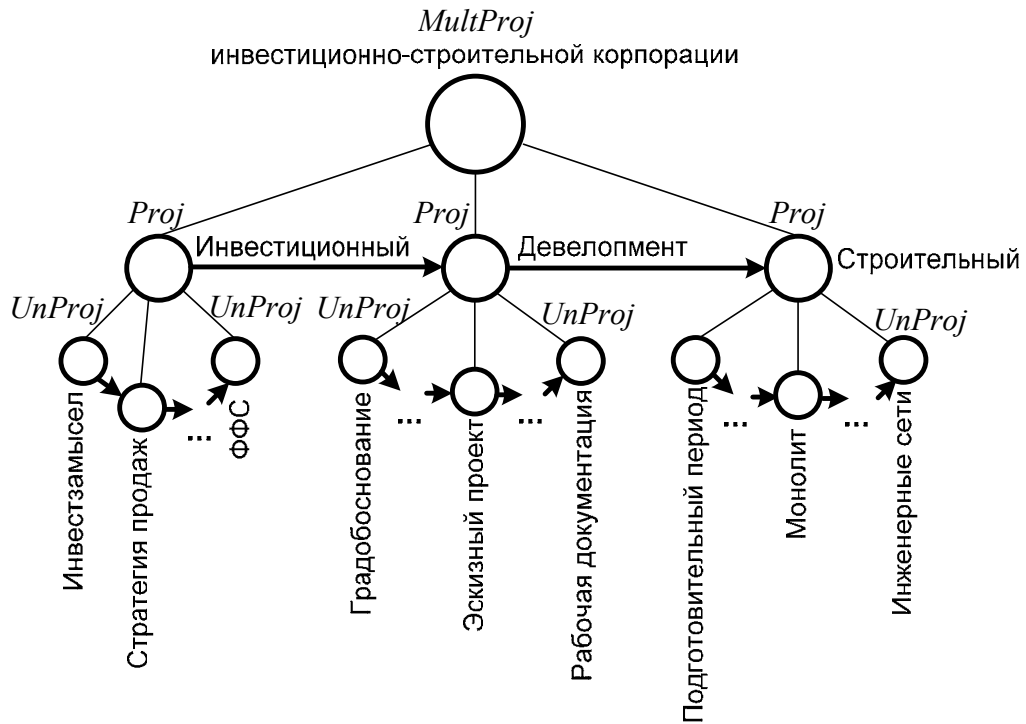


Рис. 6. Графовое представление событийной модели на уровне *UnProj*

Фиксируем события на уровне *UnProj* и производим их декомпозицию на события уровня *GrTask* на основании словесных описаний, предоставляемых руководителями подпроектов:  $UnProj = \Omega \dots_i GrTask$ . Присваиваем каждому событию уровня *GrTask* значение узла графа  $\alpha_i$ . Строим систему узлов графа  $\Omega \alpha_i$ .

Руководители подпроектов должны определить связи между событиями уровня *GrTask*, т.е. последовательность их выполнения, начиная с первого элемента  $GrTask_1$ .

Наносим связи между элементами уровня *GrTask* в виде ребер графа на соответствующие узлы графа:  $\alpha_i \rightarrow \alpha_j$ . Получаем графовое представление событийной модели на уровне групп задач:  $UnProj = \Omega \dots_i GrTask \rightarrow \Gamma \dots_i GrTask$ . Вставляя подграфы уровня *GrTask* в граф уровня *UnProj*, получаем графовое представление событийной модели в базе групп задач (рис. 7).

Фиксируем события на уровне *GrTask* и производим их декомпозицию на события уровня *Task* на основании словесных описаний, предоставляемых руководителями групп задач:  $GrTask = \Omega \dots_i Task$ . Присваиваем каждому событию уровня *Task* значение узла графа  $\alpha_i$ . Строим систему узлов графа  $\Omega \alpha_i$ .

Руководители групп задач должны определить связи между событиями уровня *Task* т.е. последовательность их выполнения, начиная с первого элемента  $Task_1$ .

Наносим связи между элементами уровня *Task* в виде ребер графа на соответствующие узлы графа:  $\alpha_i \rightarrow \alpha_j$ . Получаем графовое представление событийной модели на уровне задач:  $GrTask = \Omega \dots_i Task \rightarrow \Gamma \dots_i Task$ . Вставляя подграфы уровня *Task* в граф верхнего уровня *GrTask*, получаем графовое представление событийной модели в базе задач (рис. 8).



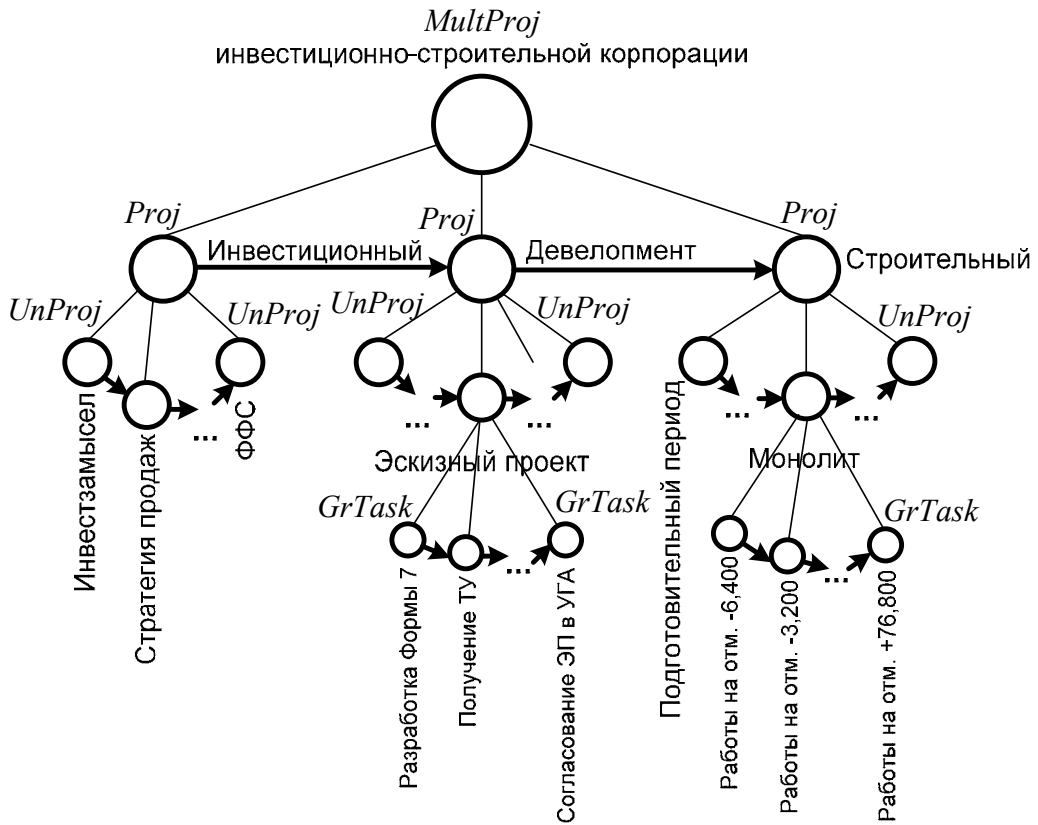


Рис. 7. Графовое представление событийной модели на уровне *GrTask*

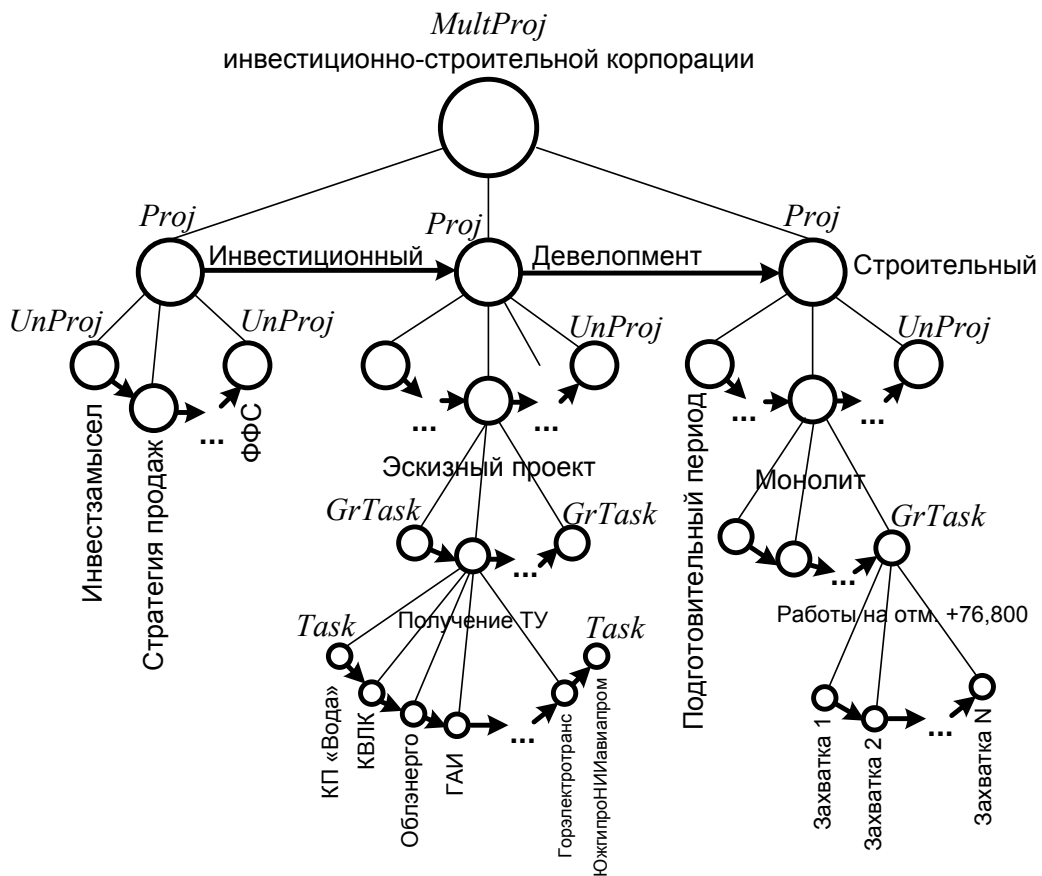


Рис. 8. Графовое представление событийной модели на уровне *Task*

Таким образом, используя предложенные правила, формируется наглядное представление системных стратифицированных моделей мультипроекта для последующего анализа компьютерными методами на любом уровне декомпозиции.

**Формализованное представление структурных и событийных моделей мультипроекта инвестиционно-строительной корпорации.**

Формирование формализованного представления структурных и событийных моделей мультипроекта осуществляется «сверху вниз», с помощью языка РССМ. Структурные модели мультипроекта в РССМ запишутся в виде

$$R = f(y_i, e, \otimes, \hat{y}).$$

Формализованное представление структурных моделей мультипроекта производится следующим образом.

Фиксируем графовое представление структурной модели на уровне *Proj*. Ставим в соответствие каждому узлу графа *Proj<sub>i</sub>* оператор  $y_i$  из РССМ. Так как структурные модели описывают состав элементов мультипроекта на определенной страте представления, то для связи между операторами  $y_i$  будем использовать базовую операцию конъюнкции  $\hat{y}$ . Таким образом, формализованное представление структурной модели на уровне проектов записываем через операторы РССМ в виде

$$R \text{ MultProj} = [y_1^{Proj} \wedge y_2^{Proj} \wedge y_3^{Proj}].$$

Фиксируем графовое представление структурной модели на уровне *UnProj*. Ставим в соответствие каждому узлу графа *UnProj<sub>i</sub>* оператор  $y_i$  из РССМ, а для каждой связи между операторами  $y_i$  будем использовать базовую операцию конъюнкции  $\hat{y}$ . Таким образом, формализованное представление структурной модели на уровне подпроектов записываем через операторы РССМ в виде

$$R \text{ Proj} = [y_1^{UnProj} \wedge \dots \wedge y_n^{UnProj}].$$

Вставляя алгоритмы уровня *UnProj* в алгоритм верхнего уровня *Proj*, получаем формализованное представление структурной модели в базисе подпроектов:

$$R \text{ MultProj} = [y_1^{Proj} \wedge y_2^{Proj} \wedge y_3^{Proj}] = [[y_1^{UnProj} \wedge \dots \wedge y_n^{UnProj}] \wedge \dots \wedge [y_1^{UnProj} \wedge \dots \wedge y_n^{UnProj}]].$$

Фиксируем графовое представление структурной модели на уровне *GrTask*. Ставим в соответствие каждому узлу графа *GrTask<sub>i</sub>* оператор  $y_i$  из РССМ, а для каждой связи между операторами  $y_i$  будем использовать базовую операцию конъюнкции  $\hat{y}$ . Таким образом, формализованное представление структурной модели на уровне групп задач записываем через операторы РССМ в виде

$$R \text{ UnProj} = [y_1^{GrTask} \wedge \dots \wedge y_n^{GrTask}].$$

Вставляя алгоритмы уровня *GrTask* в алгоритм верхнего уровня *UnProj*, получаем формализованное представление структурной модели в базисе групп задач:

$$R \text{ MultProj} = [y_1^{Proj} \wedge y_2^{Proj} \wedge y_3^{Proj}] = [[y_1^{UnProj} \wedge \dots \wedge y_n^{UnProj}] \wedge \dots \wedge [y_1^{UnProj} \wedge \dots \wedge y_n^{UnProj}]] = [[[[y_1^{Gr} \wedge \dots \wedge y_n^{GrTask} \dots] \wedge \dots \wedge [y_1^{GrTask} \wedge \dots]] \wedge \dots \wedge [[y_1^{Gr} \wedge \dots \wedge y_n^{GrTask} \dots] \wedge \dots \wedge [y_1^{GrTask} \wedge \dots]]]].$$

Фиксируем графовое представление структурной модели на уровне  $Task$ . Ставим в соответствие каждому узлу графа  $Task_i$  оператор  $y_i$  из РССМ, а для связи между операторами  $y_i$  будем использовать базовую операцию конъюнкции  $\hat{y}$ . Таким образом, формализованное представление структурной модели на уровне задач записываем через операторы РССМ в виде:

$$R \ GrTask = [y_1^{Task} \wedge \dots \wedge y_n^{Task}].$$

Вставляя алгоритмы уровня  $Task$  в алгоритм верхнего уровня  $GrTask$ , получим формализованное представление структурной модели в базисе задач:

$$\begin{aligned} R \ MultProj &= [y_1^{Proj} \wedge y_2^{Proj} \wedge y_3^{Proj}] = [[y_1^{UnProj} \wedge \dots \wedge y_n^{UnProj}] \wedge \dots \wedge [y_1^{UnProj} \wedge \dots \wedge y_n^{UnProj}]] = \\ &= [[[[y_1^{GrTask} \wedge \dots \wedge y_n^{GrTask} \dots] \wedge \dots \wedge [y_1^{GrTask} \wedge \dots]] \wedge \dots \wedge [[y_1^{GrTask} \wedge \dots \wedge y_n^{GrTask} \dots] \wedge \dots \wedge [y_1^{GrTask} \wedge \dots]]]] = \\ &= [[[[[ [y_1^{Task} \wedge \dots \wedge y_n^{Task} ] \wedge \dots \wedge [y_1^{Task} \wedge \dots] ] \wedge \dots \wedge [ [y_1^{Task} \wedge \dots \wedge y_n^{Task} ] \wedge \dots \wedge [y_1^{Task} \wedge \dots] ] ] ] \wedge \\ &\wedge [[ [ [y_1^{Task} \wedge \dots \wedge y_n^{Task} ] \wedge \dots \wedge [y_1^{Task} \wedge \dots] ] \wedge \dots \wedge [ [y_1^{Task} \wedge \dots \wedge y_n^{Task} ] \wedge \dots \wedge [y_1^{Task} \wedge \dots] ] ] ] ]. \end{aligned}$$

Событийные модели мультипроекта в РССМ записываем в виде

$$R = f(y_i, x_k, e, \otimes, 1, 0, \dot{y}, \hat{y}, \check{y}).$$

Формализованное представление событийных моделей мультипроекта производится следующим образом.

Фиксируем графовое представление событийной модели на уровне  $Proj$ . Ставим в соответствие каждому узлу графа  $Proj_i$  оператор  $y_i$  из РССМ. Так как событийные модели описывают процессы происходящие в мультипроекте, то для связи между операторами  $y_i$ , начиная с оператора  $y_1$ , будем использовать базовые операции:

- умножение  $\dot{y}$  – последовательное выполнение операторов;
- конъюнкцию  $\hat{y}$  – параллельное выполнение операторов;
- дизъюнкцию  $\check{y}$  – условное выполнение операторов.

Таким образом, формализованное представление событийной модели на уровне проектов запишем, используя операторы РССМ, в виде

$$R \ MultProj = [y_1^{Proj} \cdot \dots \cdot y_n^{Proj}].$$

Фиксируем графовое представление событийной модели на уровне  $UnProj$ . Ставим в соответствие каждому узлу графа  $UnProj_i$  оператор  $y_i$  из РССМ, а для связей между операторами  $y_i$ , начиная с оператора  $y_1$ , будем использовать базовые операции  $\dot{y}$ ,  $\hat{y}$ ,  $\check{y}$ . Таким образом, формализованное представление событийной модели на уровне подпроектов запишем, используя операторы РССМ, в виде

$$R \ Proj = [y_1^{UnProj} \cdot \dots \cdot y_n^{UnProj}].$$

Вставляя алгоритмы уровня  $UnProj$  в алгоритм верхнего уровня  $Proj$ , получим формализованное представление событийной модели в базисе подпроектов:

$$R \ MultProj = [y_1^{Proj} \cdot \dots \cdot y_n^{Proj}] = [[y_1^{UnProj} \cdot \dots \cdot y_n^{UnProj}] \cdot \dots \cdot [y_1^{UnProj} \cdot \dots \cdot y_n^{UnProj}]].$$

Фиксируем графовое представление событийной модели на уровне *GrTask*. Ставим в соответствие каждому узлу графа *GrTask<sub>i</sub>* оператор  $y_i$  из РССМ, а для связей между операторами  $y_i$ , начиная с оператора  $y_1$ , будем использовать базовые операции  $\dot{y}$ ,  $\hat{y}$ ,  $\check{y}$ . Таким образом, формализованное представление событийной модели на уровне групп задач запишем, используя операторы РССМ, в виде

$$R \text{ UnProj} = [y_1^{GrTask} \dots y_n^{GrTask}].$$

Вставляя алгоритмы уровня *GrTask* в алгоритм верхнего уровня *UnProj*, получим формализованное представление событийной модели в базисе групп задач:

$$\begin{aligned} R \text{ MultProj} &= [y_1^{Proj} \cdot y_2^{Proj} \cdot y_3^{Proj}] = [[y_1^{UnProj} \dots y_n^{UnProj}] \dots [y_1^{UnProj} \dots y_n^{UnProj}]] = \\ &= [[[[y_1^{GrTask} \dots y_n^{GrTask} \dots] \dots [y_1^{GrTask} \dots]] \dots [y_1^{GrTask} \dots y_n^{GrTask} \dots] \dots [y_1^{GrTask} \dots]]]. \end{aligned}$$

Фиксируем графовое представление событийной модели на уровне *Task*. Ставим в соответствие каждому узлу графа *Task<sub>i</sub>* оператор  $y_i$  из РССМ, а для связей между операторами  $y_i$ , начиная с оператора  $y_1$ , будем использовать базовые операции  $\dot{y}$ ,  $\hat{y}$ ,  $\check{y}$ . Таким образом, формализованное представление событийной модели на уровне задач запишем, используя операторы РССМ, в виде

$$R \text{ GrTask} = [y_1^{Task} \dots y_n^{Task}].$$

Вставляя алгоритмы уровня *Task* в алгоритм верхнего уровня *GrTask*, получим формализованное представление событийной модели в базисе элементов:

$$\begin{aligned} R \text{ MultProj} &= [y_1^{Proj} \cdot y_2^{Proj} \cdot y_3^{Proj}] = [[y_1^{UnProj} \dots y_n^{UnProj}] \dots [y_1^{UnProj} \dots y_n^{UnProj}]] = \\ &= [[[[[y_1^{GrTask} \dots y_n^{GrTask} \dots] \dots [y_1^{GrTask} \dots]] \dots [y_1^{GrTask} \dots y_n^{GrTask} \dots] \dots [y_1^{GrTask} \dots]]] = \\ &= [[[[[[y_1^{Task} \dots y_n^{Task} \dots] \dots [y_1^{Task} \dots]] \dots [y_1^{Task} \dots y_n^{Task} \dots] \dots [y_1^{Task} \dots]]] \times \dots \\ &\dots \times [[[[y_1^{Task} \dots y_n^{Task} \dots] \dots [y_1^{Task} \dots]] \dots [y_1^{Task} \dots y_n^{Task} \dots] \dots [y_1^{Task} \dots]]]]. \end{aligned}$$

Используя предложенные правила, формируем формализованное представление системных стратифицированных моделей мультипроекта, которое можно анализировать компьютерными методами на любом уровне декомпозиции.

Таким образом, в статье предложен метод наглядного и формализованного представления мультипроектов инвестиционно-строительной корпорации. Данный метод прошел практическую апробацию на реальных мультипроектах и продемонстрировал реальную эффективность по сравнению с другими методами.

### Список литературы

1. Илюшко В.М. Системный анализ проектных решений разработчика по проектированию сложных систем // Управление и связь. – Х.: НАНУ ПАНИ «ХВУ». – 1996. – С. 35 – 40.

2. Илюшко В.М., Федорович О.Е., Губка С.А., Коваленко В.И. Проекты сложных систем. Системные средства моделирования, анализа и контроля // Proceeding sixth international conference "New Leading - adge technologies in machine building". – Rybachie, Ukraine. – 1997. – P.139 – 144.
3. Емад А.Р., Мелешенко С.Ю., Махер Ниаф Х. Хилал. Модели представимости формальных языков в сложных проектах // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: НАКУ «ХАИ». – 2004. – Вып. 22. – С. 157 – 165.
4. Коллинз Г., Блей Дж. Структурные методы разработки систем: от стратегического планирования до тестирования. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 264 с.
5. Акберин Р.З., Кибанов А.Я. Совершенствование структуры функций и экономических взаимоотношений управленческих подразделений предприятий при разных формах хозяйствования: Учеб. пособие. – М.: ГАУ, 2006. – 258 с.
6. Уотерман Р. Фактор обновления: как сохраняют конкурентоспособность лучшие компании: Пер. с англ. – М.: Прогресс, 1988. – 368 с.
7. Бир С. Мозг фирмы: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993. – 416 с.
8. Чудаков А.Д. Логистика. – М.: Изд-во РДЛ, 2001. – 480 с.
9. Илюшко В.М., Некрасов И.Б. Мультипроект, как субъект управления корпорации // Радиоэлектронные компьютерные системы. – 2005. – Вып. 4(12). – С. 133 – 136.
10. Реинжиниринг бизнес-процессов. Полный курс MBA / Н.М. Абдикеев, Т.П. Данько, С.В. Ильдеменов, А.Д. Киселев. – М.: Эксмо, 2007. – 592 с.
11. Хаммер Майкл, Чампи Джеймс. Реинжиниринг корпорации: Манифест революции в бизнесе: Пер. с англ. Ю.Е. Корниловича. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2006. – 287 с.
12. Гаджинский А.М. Логистика: Учебник для высших и средних специальных учебных заведений – 2-е изд. – М.: Информационно-внедренческий центр «Маркетинг», 1999. – 160 с.
13. Латкин М.А. Формирование компьютерной модели представления систем управления // Авіаційно-космічна техніка та технологія. – Х.: ХАІ. – 1998. – Вып. 6. – С.261 – 264.
14. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
15. Бусленко В.Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем. – М.: Наука, 1977. – 240 с.
16. Максией И.В. Математическое моделирование больших систем. – М.: Высш. шк., 1985. – 119 с.
17. Басакер Р., Саати Т. Конечные графы и сети: Пер. с англ. – М.: Наука, 1974. – 366 с.
18. Харарри Ф., Палмер Э. Перечисление графов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1977. – 324 с.
19. Вунш Г. Теория систем. – М.: Сов. радио, 1978. – 288 с.
20. Глушков В.М., Цейтлин Г.Е., Ющенко Е.Л. Алгебра, языки программирования. – К.: Наук. думка, 1974. – 327 с.
21. Смирнов О.Л., Падалко С.Н. САПР: формирование и функционирование проектных модулей – М.: Машиностроение, 1987. – 272 с.

## **Имитационное моделирование 2D-фильтрации на основе событийного подхода**

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

### **Введение**

Математическая теория процессов внутри рабочих областей фильтров очень сложна. Это связано, в первую очередь, с неньютоновским характером течений, поскольку частицы включений имеют, как правило, особые химико-физические свойства. В частности, размеры частиц, из которых состоят включения, могут быть гораздо большими, чем размеры частиц основного вещества. К тому же форма частиц включений может быть самой разнообразной [1 – 3].

В данной работе использован подход, описанный в работах [4 – 8] и заключающийся в следующем.

Вещество представлено в виде совокупности модельных частиц. Рабочая область разбита на подобласти, обычно имеющие вид квадратов (или кубов в 3D случае). Каждая частица и каждая подобласть являются объектами, обладающими свойствами автоматов. Свойства объектов-частиц – это их размеры, массы, координаты, скорости, локальное время, время наступления ближайшего события и т.п. Свойства объектов-подобластей – это геометрические параметры, а также списки частиц, принадлежащих подобласти. Ведущим параметром является время. События считаются происходящими мгновенно в некоторый момент времени. Событиями являются столкновения модельных частиц, пересечения частицами границ подобластей, столкновения частиц с границами рабочей области, влет – вылет частиц из рабочей области и вывод информации.

События в целом упорядочены по возрастанию моментов времени их наступления. В наименьший момент времени структуры объектов, участвующих в соответствующем событии, перестраиваются. Законы такой перестройки являются методами, присущими рассматриваемым объектам. К методам относится также расчет тех событий, которые могут произойти в дальнейшем. Новые события ставятся в очередь.

Одной из простейших моделей вещества является модель твердых сфер. К ней полностью применим и является эффективным событийный подход [3 – 8].

### **Формулирование проблематики**

С помощью стандартного метода твердых сфер невозможно описать тела сложной формы. В данной работе предлагается рассмотреть не только внешние, но и внутренние столкновения. Предположим, две сферы расположены так, что расстояние между их центрами меньше, чем сумма радиусов. В какой-то момент времени в процессе их равномерного перемещения расстояние между центрами станет равным сумме радиусов. Это и есть момент внутреннего столкновения. Если предусмотреть обработку события, аналогичную упругому отражению, то в дальнейшем сферы останутся связанными.

Свойство связанности будет соблюдаться также и для целой совокупности сфер, если для каждой из них найдется в начальный момент времени соседняя, т.е. такая, что расстояние между их центрами не превысит суммы радиусов.

Если же в начальный момент времени две сферы расположены далеко друг от друга, то их возможное столкновение будет внешним, и после отталкивания они разлетятся.

Таким образом, решению подлежат следующие задачи.

1. Разработать алгоритм начального формирования частиц включений.
2. Осуществить алгоритмическое распознавание модельных частиц основного вещества и включений.
3. Реализовать алгоритм течения основного вещества с включениями в рабочей области фильтра в целом.

### **Решение поставленных задач**

Пусть отдельное включение задано как область, описываемая неравенством  $f(x,y) \leq 0$ . Рассмотрим множество окружностей, центры которых образуют правильную треугольную сетку. Шаг сетки выберем несколько меньшим, чем диаметр модельных частиц, из которых состоят включения. Отберем те частицы, координаты  $(x,y)$  центров которых удовлетворяют неравенству  $f(x,y) \leq 0$ , и произведем их последовательную нумерацию. Для каждой из отобранных частиц предусмотрим отдельное поле, представленное в виде динамического одномерного массива. Заполним этот массив, занеся в него номера тех частиц, центры которых удалены от центра рассматриваемой частицы на расстояние, меньшее диаметра. Это соответствует составлению массива номеров соседних частиц. В плоском случае максимальное количество соседей равно шести. Всем частицам припишем их типы. Для частиц, входящих в состав всех включений, этот тип задан в виде числа «1». Тип модельных частиц основного вещества зададим равным нулю. Тем самым осуществляется начальная классификация всех частиц.

Предположим, исследуется возможное столкновение двух частиц. Для этого производится поиск моментов их взаимных столкновений. Если такие моменты действительны, то их обычно два. Пусть частицы имеют тип «0», или принадлежат к одному типу «1», но не являются соседними, или их типы различны. Тогда из двух моментов анализируется наименьший; в случае его положительности событие «столкновение» считается возможным. Если частицы принадлежат типу «1» и являются соседними, то из двух моментов рассматривается наибольший. Он может считаться моментом наступления возможного столкновения, которое в данном случае является внутренним.

Обработка любого события, соответствующего столкновению двух модельных частиц, производится единообразно, вне зависимости от того, внутренним или внешним оно является, поскольку сводится к вычислению новых скоростей после упругого столкновения.

### **Результаты расчетов**

Рассматривается двумерное течение газа или жидкости в прямоугольной области. Вектор основного течения направлен слева направо. Движение среды осуществляется таким образом, что в рабочей области сохраняется количество движущегося вещества. С этой целью то количество вещества, которое покидает

рабочую область на правом срезе, передается на вход, т.е. на левый срез. Верхняя, нижняя и левая границы области считаются отражающими.

В рабочей области располагаются фильтры. Каждый фильтр – это набор одинаковых прямоугольников с отражающими границами, расположенных параллельно верхней и нижней границам рабочей области с соблюдением постоянства расстояний между последовательными прямоугольниками.

Кроме основного вещества в движении участвуют включения, представленные частицами, обладающие формой, близкой к прямоугольной. Включения обладают теми или иными свойствами упругости или изгибаемости. В начальный момент в данной задаче включения считаются расположенными в некотором порядке между передним срезом и первым слева фильтром. С течением времени включения перемещаются под действием сил, оказываемых со стороны основного вещества. Они изменяют сопротивление фильтров движению вещества. При большом их количестве движение может совсем прекратиться, что означает заклинивание тракта.

Требуется описать изменение со временем количества вещества, проходящего через правый срез, в зависимости от количества включений и их геометрических параметров.

Вещество с включениями – это двухфазная среда. Основное вещество, перемещающееся в рабочей области, представлено абсолютно упругими сферами. При решении рассматриваемой задачи основным является метод описания включений, использующий дискретно-событийный подход. Включения представляются совокупностями окружностей, собранных в слои. Каждый слой – это нить, составленная из окружностей, причем расстояния между центрами соседних окружностей меньше суммы радиусов этих сфер. Каждый слой сдвинут относительно соседних слоев так, что в целом окружности плотно упакованы, т.е. их центры расположены в начальный момент времени в вершинах правильных треугольников. Разнообразие форм включений обеспечивается выбором как количества окружностей в одной нити, так и количеством слоев. Чем меньше слоев, тем более гибкой является каждая частица включений. Если количество слоев превышает 3, то включения можно считать упругими отрезками, мало изменяющими форму при движении.

В данной работе используется также и тот вариант, когда скорости в системе центра инерции после расчета упругого отражения нормируются. Это делается для имитационного моделирования течения не газа, а жидкости.

С помощью разработанной программы Filter0 допустимо моделирование течения при наличии постоянной силы, действующей либо сверху вниз, либо слева направо. В этом случае включения могут перемещаться и без модельного вещества.

После каждого такта выводится значение глобального времени ( $t_{global}$ ), а в специальном окне – отношение количества частиц основного вещества, исчезнувших на правом срезе, к общему их количеству ( $stream$ ). Это позволяет контролировать поток газа (жидкости). Дополнительно в отдельный файл выводятся  $t_{global}$ ,  $stream$ , а также отношение количества частиц, покинувших рабочую область за один такт, к длительности такта ( $power$ ). Имя файла состоит из количества нитей, длины отдельной нити и количества слоев. Имя файла сопровождается соответствующие графики.



На рис. 1 приведен пример графического представления прохождения потока с включениями через рабочую область. Количество частиц основного вещества в обоих случаях равняется 5000.

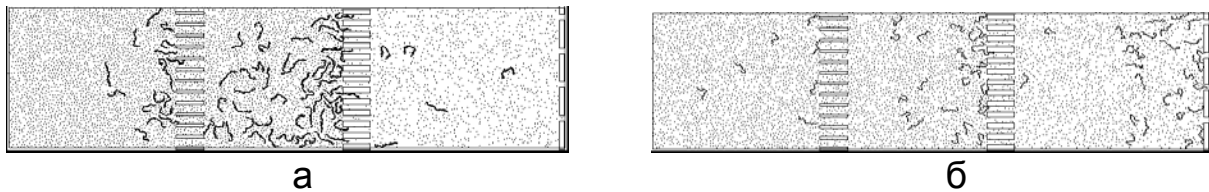


Рис. 1. Потoki с включениями :  
 а – количество включений – 144, длина нитей – 15, количество слоев – 2;  
 б – количество включений – 60, длина нитей – 15, количество слоев – 1

Эффективность конструкции фильтра в целом определяется зависимостью его пропускной способности от геометрических параметров фильтра и включений. Для ее вычисления сравниваются потоки, проходящие при отсутствии включений и в рабочем режиме. На рис. 2 приведены графики зависимости пропускной способности от времени для различных количеств включений в случае, когда каждое включение является нитью длины 3, а общее количество частиц основного вещества равно 20000. При каждом значении времени можно вычислить, как снижается пропускная способность по сравнению с потоком основного вещества без включений.

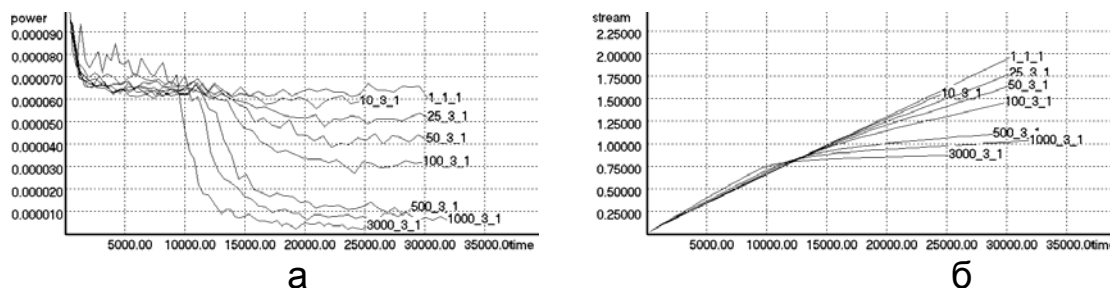


Рис. 2. Графики зависимости от времени:  
 а – пропускной способности; б – суммарного потока

### Дополнительные возможности предложенного метода

С помощью предложенного метода оказывается осуществимым в рамках той же программы Filter0 имитационное моделирование таких явлений, как сепь, просеивание взвесей и т.п. [7]. Достаточно положить количество модельных частиц основного вещества равным нулю и подключить гравитацию. На рис. 3 приведено несколько последовательных конфигураций селевого потока; количество модельных частиц включений равно 2400. На пути потока предусмотрены препятствия как вырожденные профили фильтров. Одна из задач – оптимизировать параметры препятствий, исходя из их стоимости. Целевой функцией является количество модельных частиц включений, оказавшихся справа от последнего из препятствий. Это количество подлежит минимизации.

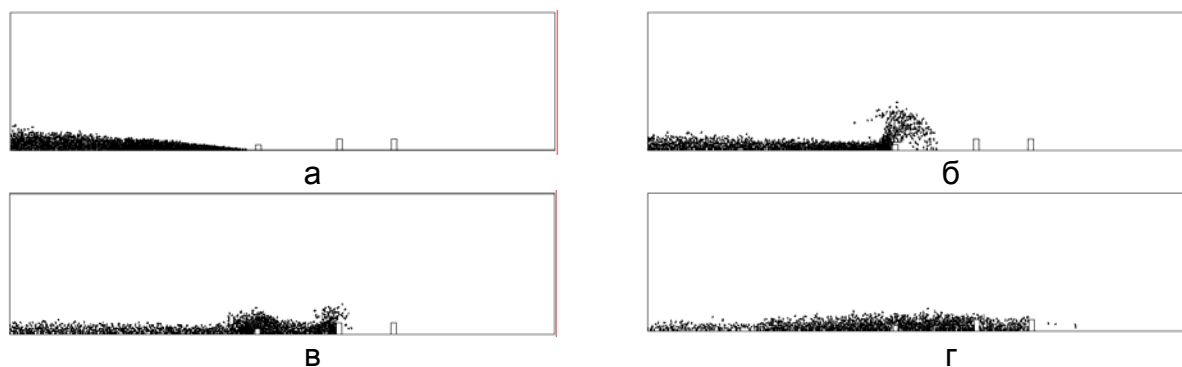


Рис. 3. Фрагменты развития селевого потока

### Выводы и заключение

Те изменения в методе твердых сфер, которые достаточны для описания связанных конфигураций, минимальны. Это позволяет без существенного усложнения алгоритма производить имитационное моделирование поведения многофазных сред, причем допустимы фазы, состоящие из крупных включений.

Процедура поиска событий и их обработка укладываются в схему парного взаимодействия при наличии потенциала типа отражающей стенки [8]. Однако во внимание принято то, что расстояния между частицами могут быть как больше, так и меньше предельного расстояния.

### Список литературы

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа – М.:Наука, 1987. – 840 с.
2. Schutyser Maarten, Belfort Georges. Dean vortex membrane microfiltration non-Newtonian viscosity effects. – Chem. Res. – 2002, 41. – № 3. – С. 494 – 504.
3. 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](mailto:wkerr@cs.uwyo.edu)
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. Слепичева М.А., Чернышев Ю.К. Имитационное моделирование потока объектов с учетом поля предпочтительных направлений // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т.»:– 2006. – Вып. 33. – С. 83 – 88.
8. Чернышев Ю.К. Дискретно-событийное моделирование процесса 2D-кристаллизации // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т.»:– 2007. – Вып. 34. – С. 102 – 109.

## **Моделирование электоральных процессов на основе концепции клеточных автоматов**

### **Проблемы моделирования социальных процессов**

В настоящее время математическое моделирование широко применяется в естественных науках, однако его применение для решения проблем в социальных науках, остается ограниченным. Причина этого заключается, прежде всего, в сложности формализации основных понятий социологии, и в частности, в теории и практике избирательного процесса. Глобальным социальным явлениям присущи многоуровневость, разномасштабность, при этом многие параметры зачастую на практике не поддаются формализации. Следует заметить, что, существенные трудности при моделировании вызывает также необходимость учета социально-психологических факторов.

Попытки детального учета такого типа параметров настолько усложняют модели, что они редко оказываются успешными. Вместе с тем, известно, что очень часто довольно небольшие изменения параметров могут привести к настолько значительным изменениям выходных значений, что полностью дискредитируют всю модель.

Таким образом, сегодня при моделировании социальных явлений, каковыми являются электоральные процессы, наибольший интерес представляют модели, не претендующие на детальное описание особенностей каждого конкретного случая, а позволяющие обобщать и вместе с тем учитывать некоторую социальную конкретику. Конечно, многие процессы, близкие к электоральным, можно моделировать достаточно точно, при условии достаточно четкой их параметризации с не менее четкими граничными условиями. К таким процессам, можно отнести, например, информационные потоки электронных СМИ (в частности, в Интернет), сопутствующих выборным процессам [1]. Однако, по-видимому, на данном этапе в области моделирования более сложных социальных процессов успех может быть достигнут только путем синтеза достаточно простых алгоритмов и концепций.

Так или иначе, сегодня достигнуты определенные успехи в моделировании социальных процессов, которые базируются на традиционных в этой области методах, как теория нелинейных дифференциальных уравнений, теория игр и математическая статистика.

Наряду с этим, по-видимому, следует признать перспективными в этой области и методы дискретной математики, к которым можно отнести и теорию клеточных автоматов, впервые предложенную более тридцати лет тому назад Дж. фон Нейманом [2].

### **Клеточные автоматы**

Клеточный автомат представляет собой дискретную динамическую систему, совокупность одинаковых клеток, образом соединенных между собой. Все клетки образуют сеть (решетку) клеточных автоматов. Состояние каждой клетки определяется состоянием клеток, входящих в ее локальную окрестность и называемых ближайшими соседями [3]. Окрестностью конечного автомата с номером  $j$  называ-

ется множество его ближайших соседей. Состояние  $j$ -го клеточного автомата в момент времени  $t + 1$ , таким образом, определяется следующим образом:

$$y_j(t+1) = F(y_j(t), O(j), t),$$

где  $F$  – некоторое правило, которое можно выразить, например, языком булевой алгебры. Во многих задачах, считается, что сам элемент относится к своим ближайшим соседям, т.е.  $y_j \in O(j)$ , в этом случае формула упрощается:  $y_j(t+1) = F(O(j), t)$ . Клеточные автоматы в традиционном понимании удовлетворяют таким правилам:

- изменение значений всех клеток происходит одновременно (единица измерения – такт);
- сеть клеточных автоматов является однородной, т.е. правила изменения состояний для всех клеток одинаковы;
- на клетку могут повлиять лишь клетки из ее локальной окрестности;
- множество состояний клетки конечно.

Теоретически клеточные автоматы могут иметь любую размерность, однако чаще всего рассматривают одномерные и двумерные системы клеточных автоматов.

Предлагаемая автором в данной статье модель является двумерной, поэтому дальнейший формализм будет относиться к этому случаю. В двумерном клеточном автомате решетка реализуется двумерным массивом. Поэтому, в данном случае целесообразно, перейти к двум индексам, что вполне корректно для конечных (и даже счетных) решеток.

В случае двумерной решетки, элементами которой являются квадраты, ближайшими соседями, входящими в окрестность элемента  $y_{i,j}$ , можно считать либо только элементы, расположенные сверху, внизу, слева и справа от него (т.н. окрестность фон Неймана:  $y_{i-1,j}, y_{i,j-1}, y_{i,j}, y_{i,j+1}, y_{i+1,j}$ ), либо добавленные к ним еще и диагональные элементы (т.н. окрестность Мура:  $y_{i-1,j-1}, y_{i-1,j}, y_{i-1,j+1}, y_{i,j-1}, y_{i,j}, y_{i,j+1}, y_{i+1,j-1}, y_{i+1,j}, y_{i+1,j+1}$ ). В модели Мура каждая клетка имеет восемь соседей. Для устранения краевых эффектов решетка топологически «натягивается на сферу», т.е. первая строка считается продолжением последней, а последняя – предшествующей первой. То же самое относится и к столбцам. Это позволяет определять общее соотношение значения клетки на шаге  $t + 1$  по сравнению с шагом  $t$  [4]:

$$y_{i,j}(t) = F(y_{i-1,j-1}(t), y_{i-1,j}(t), y_{i-1,j+1}(t), y_{i,j-1}(t), y_{i,j}(t), y_{i,j+1}(t), y_{i+1,j-1}(t), y_{i+1,j}(t), y_{i+1,j+1}(t)).$$

С. Вольфрам, классифицируя различные клеточные автоматы [5] выделил те, динамика которых существенно зависит от начального состояния. Подбирая различные начальные состояния, можно получать самые разнообразные конфигурации и типы поведения. Именно к таким системам относится классический пример - игра "Жизнь", изобретенная Дж. Конвеем и известная широкому кругу читателей благодаря публикации в книге М. Гарднера [6].

Некоторые примеры клеточных автоматов, применяемых в задачах социологии, приведены в [3]. В частности, описывается модель процесса расовой сегрегации при выборе места жительства [7]. В рассматриваемом примере предполагается, что каждая расовая группа предпочитает иметь определенный процент соседей с тем же цветом кожи. Если это условие не выполняется, то семья перебирается в ближайший дом, где процентный состав соседей является приемлемым. В [7] использовалась модель конечных автоматов с простыми правилами и окрестностью Мура. Построенная модель вполне реалистично описала процесс разделения региона на несколько расово-однородных областей.

Клеточные автоматы с успехом применяются и при моделировании процессов распространения новостей, инноваций [8]. Подобная модель функционирует по следующим правилам: каждый индивид соответствует одной клетке, которая может находиться в двух состояниях: 1 - новинка принята; 0 - новинка не принята. Предполагается, что автомат, приняв новинку один раз, остается в состоянии 1 навсегда. Автомат принимает решение о принятии новинки, ориентируясь на мнение ближайших соседей (используется окрестность Мура), т.е. если в окрестности данной клетки имеется  $m$  сторонников новинки и,  $p$  - вероятность принятия новинки (генерируется по ходу работы модели), то при  $pm$  превышающем некоторое пороговое значение клетка воспринимает нововведение (принимает значение 1). По мнению авторов этой модели, клеточное моделирование позволяет строить значительно более реалистические модели рынка инноваций, чем традиционные подходы к исследованию распространения инноваций. В статье Т. Брауна [9] рассматривается модель электорального процесса. Он считает (с чем вполне солидарны авторы), что избирательные предпочтения индивида определяются установками его ближайшего окружения. В одной из моделей предполагается, что индивид принимает решение голосовать в момент  $t + 1$  за республиканцев или демократов в соответствии с правилом простого большинства. Учитываются взгляды индивида и четырех его ближайших соседей в момент  $t$  (окрестность фон Неймана). Модель исследовалась на большом временном горизонте - до 20 000 тактов. Оказалось, что партийная борьба приводит к очень сложным конфигурациям, существенно зависящим от исходного распределения.

### Описание модели

Авторами рассматривалось обобщение модели Брауна на случай, когда учитываются взгляды индивида и восьми его ближайших соседей (окрестность Мура). При этом электорат делится не на 2, как у Брауна, а на 4 части: нейтральный (40% - белые клетки) и симпатизирующий трем партиям (30% - черные клетки, 20% - серые клетки и 10% - светло серые клетки), т.е. клетки могут принимать 4 значения. Именно поведение нейтральной части электората принципиально отличает эту модель от других и позволяет приблизиться к реалиям избирательной кампании в условиях многопартийности.

Онлайн-вариант модели, разработанной авторами и размещенной по адресу <http://edu.infostream.ua/vyb1.pl>, позволяет наблюдать за решеткой 40 x 40 клеток. На начальном этапе клетки случайным образом распределяются по решетке (рис. 1). На каждом следующем такте модели клетки перекрашиваются в цвет, соответствующий цвету большей части клеток из окрестности (включая ее саму), кроме одного случая - исключения. Если клетка цветная, то она не может перекрашиваться в белый цвет, а перекрашивается в цвет, соответствующий цвету большинства «окрашенных» соседей. Это исключение соответствует тому факту, что в реальной жизни безразличные к политическим процессам люди редко переубеждают «симпатиков» той или иной партии. Формально эти правила можно записать следующим образом:

$$y_{i,j}(t+1) = \begin{cases} \arg \max_{k=1,3} C(k, O(i,j), t), & \text{if } y_{i,j}(t) \neq 0; \\ \arg \max_{k=0,3} C(k, O(i,j), t), & \text{if } y_{i,j}(t) = 0, \end{cases}$$

Здесь  $O(i,j)$  – окрестность клетки с индексами  $i, j$ ,

$C(k, O(i,j), t)$  – количество элементов со значением  $k$  в окрестности  $O(i,j)$  в момент времени  $t$ .

Авторами были выполнены исследования модели, которые вполне может повторить читатель, которые свидетельствуют о том, что процесс достаточно быстро стабилизируется (10-40 тактов), принимая разнообразные конечные состояния (рис. 2).

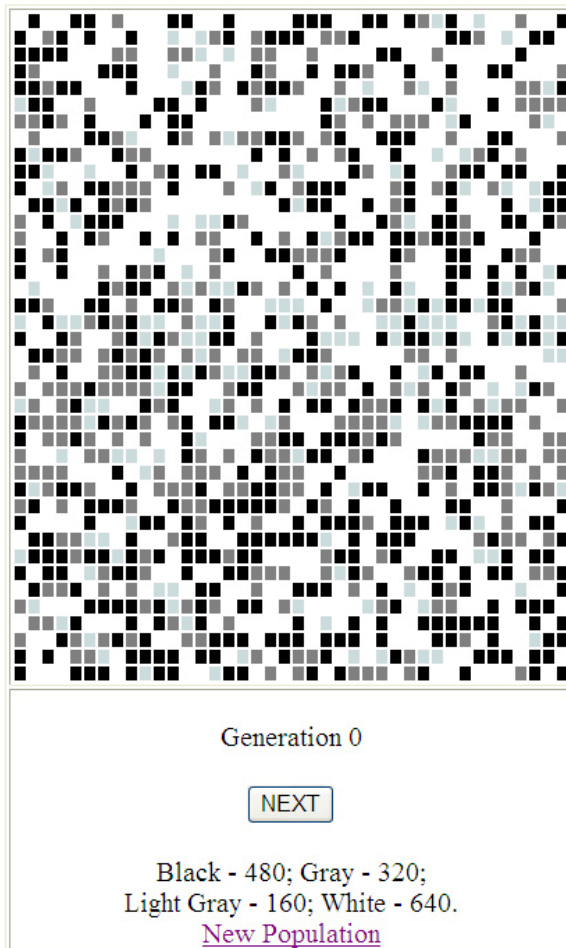


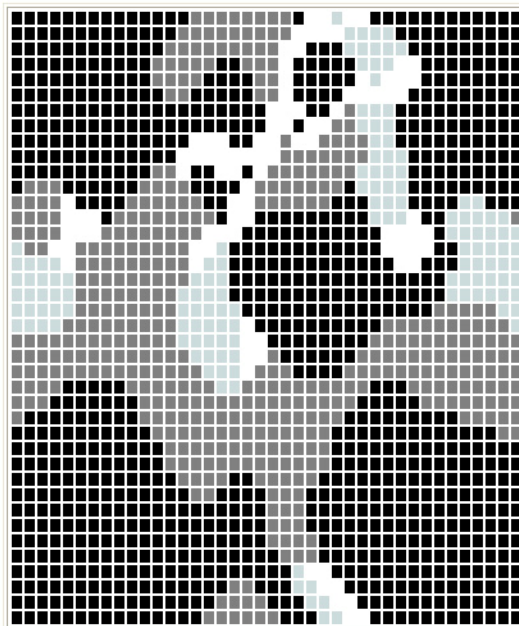
Рис.1. Вариант исходного состояния таблицы клеточных автоматов

На рис. 3 приведена динамика эволюционных предпочтений электората в рамках предложенной модели, которая позволила сделать некоторые выводы, оказавшиеся вполне реалистичными.

«Островки» электората, относящегося к «малым» партиям чаще всего гибнут, оставаясь существовать лишь в двух случаях: когда их конфигурация стабильна (в нашем случае, образует, например квадрат со срезанными углами), либо когда они находятся в непосредственной близости к электорату других партий, которые взаимно компенсируют свое влияние.

Рассмотренная модель позволила выявить некоторые общие свойства, которые вполне могут применяться к прогнозной практике стратегии и тактики подготовки и проведения реальных избирательных кампаний:

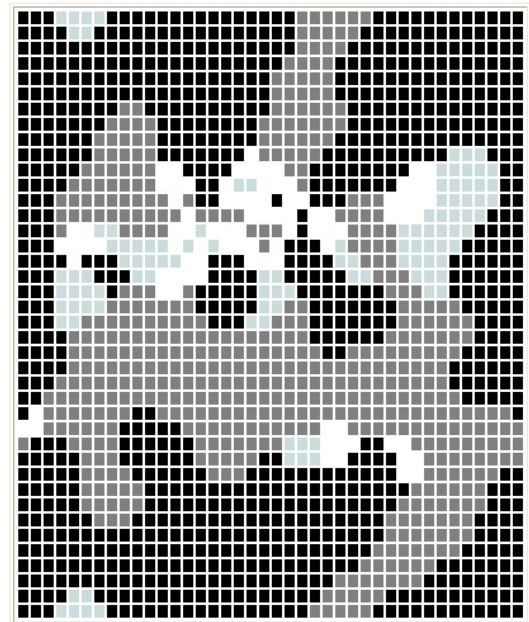
- высокая сходимость - полная стабилизация происходит за 10 – 40 тактов;
- при стабилизации процент электората лидирующей партии возрастает с 30% до 55-65%;



Generation 33

[NEXT](#)

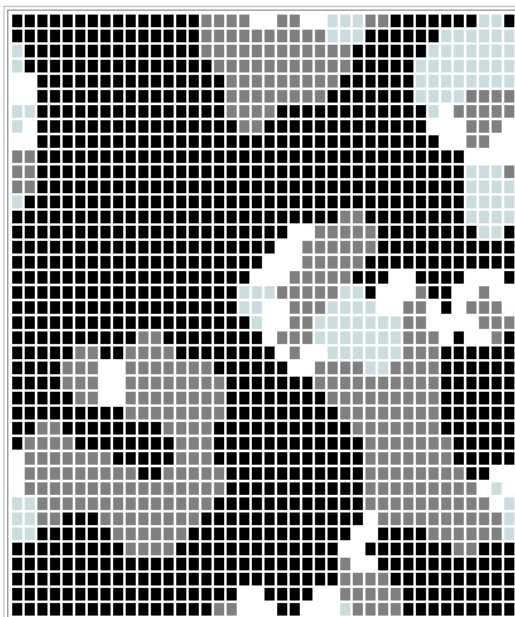
Black - 923; Gray - 438;  
Light Gray - 142; White - 97.  
[New Population](#)



Generation 26

[NEXT](#)

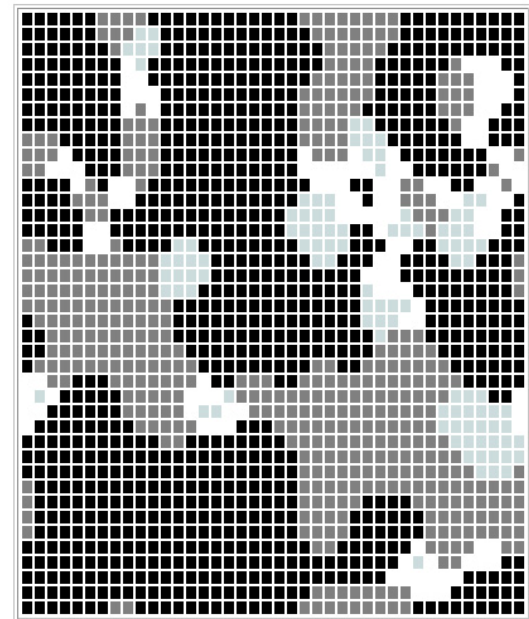
Black - 889; Gray - 514;  
Light Gray - 107; White - 90.  
[New Population](#)



Generation 37

[NEXT](#)

Black - 999; Gray - 392;  
Light Gray - 110; White - 99.  
[New Population](#)



Generation 26

[NEXT](#)

Black - 926; Gray - 440;  
Light Gray - 105; White - 129.  
[New Population](#)

Рис. 2. Варианты конечного стабильного состояния  
клеточных автоматов

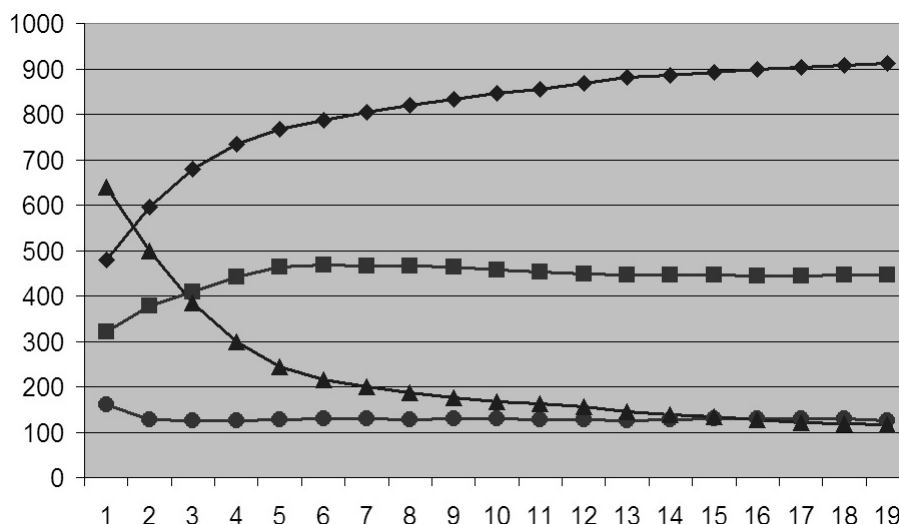


Рис.3. Динамика эволюции предпочтений электората (ось X – такты модели, ось Y – количество клеток, соответствующих электоратам): ◆ - черные, Δ - белые, □ - серые, о – светло серые клетки

- доля «симпатиков» партии с минимальным электоратом незначительно снижается до 5-8%;
- доля второй по числу электората партии остается стабильной;
- основной прирост сторонников лидирующей партий происходит за счет нейтральной части электората.

### Список литературы

1. Ландэ Д.В., Фурашев В.Н., Брайчевский С.М., Григорьев А.Н. Основы моделирования и оценки электронных информационных потоков - К.: Инжиниринг, 2006. - 176 с.
2. Нейман Дж. Теория самовоспроизводящихся автоматов - М.: Мир, 1971. – 382 с.
3. Плотинский Ю.М. Модели социальных процессов. – Изд. 2-е. –М.: Логос, 2001. – 296 с.
4. Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С. Введение в синергетику. М.: Наука, 1990. - 272 с.
5. S.Wolfram ed. Theory and Applications of Cellular Automats. Singapore:World Scientific. 1986.
6. Гарднер М. Математические досуги. – М.: Мир, 1972.
7. Casti J.L. Searching for Certainty. N.Y.: W.Morrow, 1990.
8. Bhargava et al. A Stochastic Cellular Automata. Model of Innovation Diffusion // Technological Forecasting and Social Change. 1993. Vol. 44. № 1. P. 87-97.
9. Brown T.A. Nonlinear Politics // Chaos Theory in the Social Sciences / Eds. L.D.Kiel, E.Elliot. Ann Arbor.: The Univ. Of Michigan Press. 1996. P. 119-137.



## Позиционная игра преследования как модель конкуренции

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

### Введение

В условиях конкуренции любой производитель товаров или услуг не является изолированным объектом, а взаимодействует с другими аналогичными структурами, стремясь занять ведущее положение на конкретных сегментах мирового рынка путем повышения конкурентоспособности своей продукции. Если уровень потребительских свойств продукции рассматриваемого производителя ниже уровня лидирующей на данном сегменте рынка компании, который считается известной константой, то проблема сводится к решению задачи оптимального управления методами вариационного исчисления и математического программирования, где имеется одна оперирующая сторона, которая, выбирая ту или иную стратегию развития своего производства, стремится как можно быстрее достичь заданного мирового уровня конкурентоспособности выпускаемой продукции.

На самом деле значения показателей потребительских свойств продукции лидеров мирового рынка не являются постоянными величинами, а целенаправленно изменяются с течением времени в сторону увеличения конкурентоспособности производимых товаров. В связи с этим предлагается рассматривать проблему управления конкурентоспособностью объектов производства как задачу преследования, где имеются не одна, а две оперирующие стороны, каждая из которых (лидирующая и преследующая) имеет возможность выбирать стратегию повышения потребительской привлекательности своей продукции. При этом лидирующий производитель стремится как можно дольше сохранять свое преимущество, а преследователь стремится как можно быстрее ликвидировать свое отставание.

Управляющие воздействия заключаются в распределении определенных ресурсов (денежных, трудовых, материальных, информационных и т.п.), которые используются для улучшения тех или иных показателей потребительских свойств продукции как лидирующего, так и исследуемого производителей. Задача заключается в нахождении такой стратегии распределения ограниченных ресурсов, которая при рациональном расходовании финансовых средств и в кратчайшее время обеспечила бы совпадение или близость показателей конкурентоспособности объектов производства лидирующего и преследующего производителей.

Анализ сформулированной проблемы в качественных терминах не достаточен, что делает актуальным вопрос о формализации и количественном решении задачи управления конкурентоспособностью на основе разработки игровой модели.

### Основная часть

Рассматривается игра преследования, моделирующая конкурентную борьбу двух производителей однотипной продукции, в которой непрерывные процессы повышения конкурентоспособности производимых товаров заменяются последовательностью дискретных шагов, улучшающих показатели

потребительских свойств выпускаемых изделий на основе решения так называемой задачи многошагового выбора распределения финансовых ресурсов.

Пусть потребительские свойства объектов производства (лидирующего  $i = 1$  и исследуемого  $i = 2$  производителей) характеризуются наборами количественных показателей, которые могут изменяться с течением времени и представляют собой компоненты вектор-функций

$$\overline{P}_i(t) = \left\{ P_{ij}(t) \right\}, i = 1, 2; j = \overline{1, (m+n)}.$$

Если компоненты  $P_{ij}(t), i = 1, 2, j = \overline{1, m}$  представляют собой значения показателей, уменьшение которых приводит к увеличению конкурентоспособности продукции (так называемые минимизируемые

показатели), а величины  $P_{ij}(t), i = 1, 2; j = \overline{(m+1), (m+n)}$  соответственно являются значениями показателей, увеличение которых приводит к росту конкурентоспособности (максимизируемые показатели), то в каждый

момент времени  $0 \leq t_k \leq T$  относительные значения потребительских

свойств  $U_{ij}(t), i = 1, 2; j = \overline{1, (m+n)}$  лидирующего и исследуемого объектов производства определяются следующим образом:

$$U_{ij}(t_k) = \begin{cases} \frac{\min_i \{ P_{ij}(t_k) \}}{P_{ij}(t_k)}, & \forall j \in \{ \overline{1, m} \}; \\ \frac{P_{ij}(t_k)}{\max_i \{ P_{ij}(t_k) \}}, & \forall j \in \{ \overline{(m+1), (m+n)} \}. \end{cases}$$

В качестве фазовой координаты, характеризующей состояние объекта производства, используется обобщенный показатель конкурентоспособности [1], формализующий предпочтения потребителей на основе экспертных оценок приоритетов различных потребительских свойств продукции соответственно

лидирующего ( $i = 1$ ) и исследуемого ( $i = 2$ ) производств,

$$K_i(t) = \sum_{j=1}^{m+n} \gamma_j U_{ij}(t_k), i = 1, 2; t_k \in [0, T];$$

где

$$\gamma_j = \frac{\overline{a_j}}{\sum_{j=1}^{m+n} \overline{a_j}}; \overline{a_j} = \frac{\sum_{g=1}^N a_{jg}}{N}; j = \overline{1, (m+n)};$$

$a_{jg}$  - оценка в баллах  $g$  - м экспертом приоритета  $j$  - го показателя;

$N$  - количество экспертов.

Изменение абсолютной величины отдельных показателей потребительских свойств производимой продукции на интервале времени

$\Delta t_k = t_k - t_{k-1}$  формализуется с помощью факторных моделей

$$\Delta P_{ij}(\Delta t_k) = A_{ij} P_{ij}^{\alpha_{ij0}}(t_{k-1}) \prod_{l=1}^4 X_{ijl}^{\alpha_{ijl}}(\Delta t_k), i = 1, 2;$$

$$j = \overline{1, (m+n)}; k = 1, 2, \dots,$$

где

$X_{ijl}(\Delta t_k)$  - объемы финансовых средств, выделяемых в период

$\Delta t_k = t_k - t_{k-1}$  для улучшения  $j$  - го показателя потребительских свойств продукции соответственно лидирующего ( $i = 1$ ) и исследуемого ( $i = 2$ )

производств по  $l$  - му фактору ресурсного обеспечения;

$A_{ij}, i = 1, 2; j = \overline{1, (m+n)}$  - параметры (коэффициенты пропорциональности), отражающие влияние на результирующий показатель не учтенных в модели факторов;

$\lambda_{ijl}, i = 1, 2; j = \overline{1, (m+n)}; l = \overline{0, 4}$  - параметры модели (коэффициенты регрессии), отражающие степень влияния на результирующий показатель каждого выбранного фактора.

В качестве финансируемых факторов принимаются технические, кадровые, инновационные и информационные ресурсы производства.

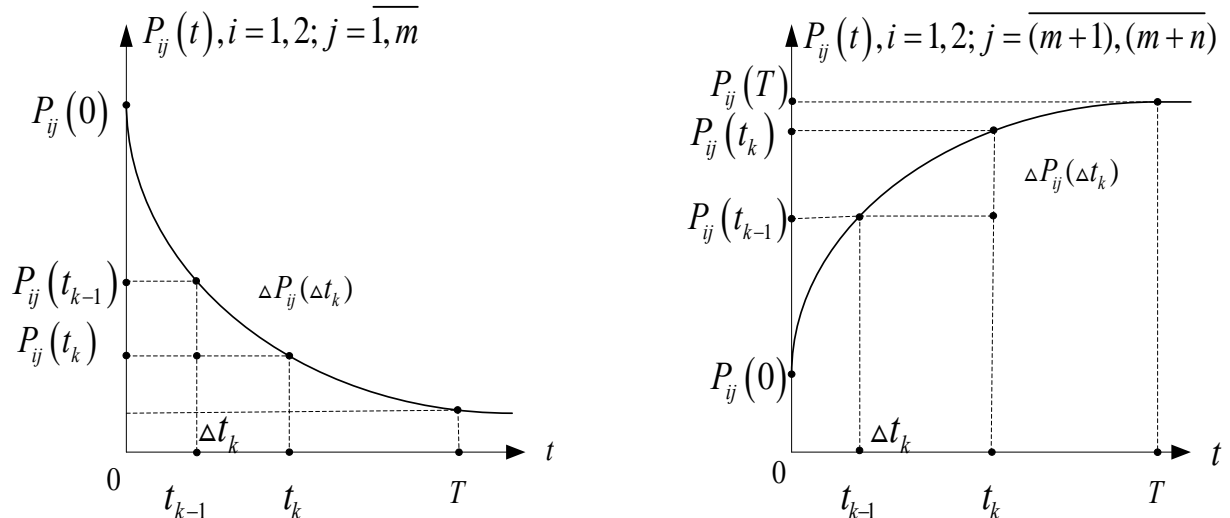


Рис. 1. Динамика абсолютных показателей потребительских свойств объектов производства

В каждый момент времени  $t_k \in [0, T]$  значения минимизируемых  $P_{ij}(t), i = 1, 2; j = \overline{1, m}$  и максимизируемых  $P_{ij}(t), i = 1, 2; j = \overline{(m+1), (m+n)}$  показателей потребительских свойств продукции, качественный характер изменения которых представлен на рис. 1, определяются следующим образом:

$$P_{ij}(t_k) = \begin{cases} P_{ij}(t_{k-1}) - \Delta P_{ij}(\Delta t_k), & \forall j \in \overline{1, m}; \\ P_{ij}(t_{k-1}) + \Delta P_{ij}(\Delta t_k), & \forall j \in \overline{(m+1), (m+n)}. \end{cases}$$

Конкурентная борьба двух производителей однотипной продукции, один из которых лидирует на конкурентном сегменте рынка, а другой стремится достичь его уровня, моделируется многошаговой игрой преследования в пространстве позиций  $\{t_k, K(t_k)\}_{k=1,2,\dots}$ , качественный характер которой показан на

рис. 2, где функции  $K_i(t), i = 1, 2$  отображают изменения во времени конкурентоспособности объектов производства соответственно лидирующего и исследуемого производителей.

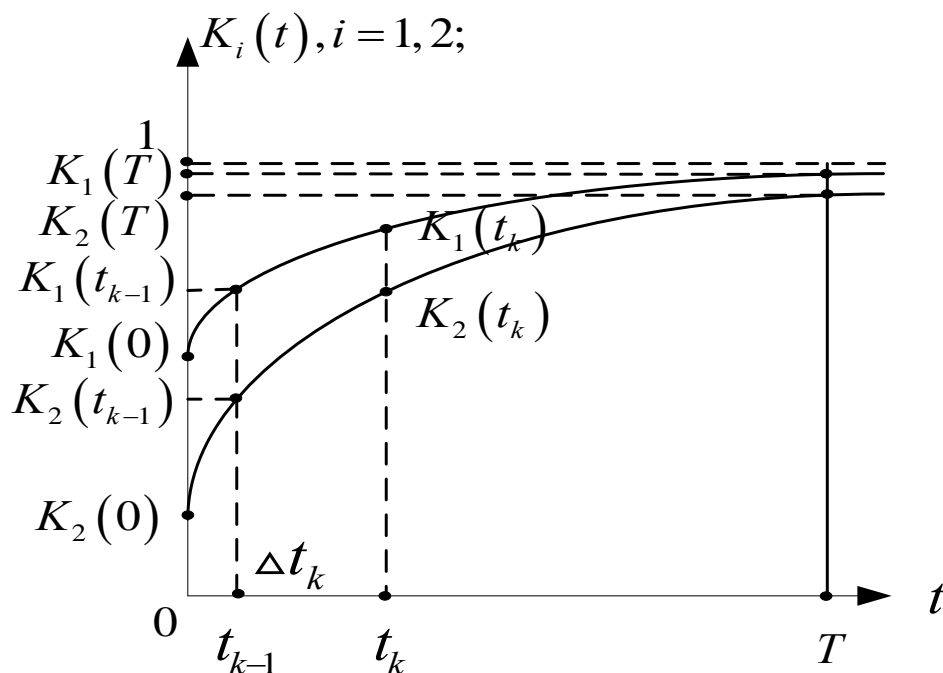


Рис. 2. Динамика обобщенных показателей конкурентоспособности объектов производства

Если принять в качестве условия окончания игры выполнение требования

$$K_1(T) - K_2(T) \leq \epsilon, \epsilon \geq 0,$$

то задача позиционного управления заключается в нахождении оптимальных стратегий финансирования повышения конкурентоспособности объектов производства лидирующего ( $i = 1$ ) и исследуемого ( $i = 2$ ) производителей

$$\overline{X_1}(t) = \{X_{1jl}(\Delta t_k)\}; \overline{X_2}(t) = \{X_{2jl}(\Delta t_k)\}; t \in \{t_1, \dots, t_k, \dots, T\},$$

где:

$$X_{ijl}(\Delta t_k) \geq 0, \Delta t_k = t_k - t_{k1}; i = 1, 2;$$

$$j = \overline{1, (m+n)}; l = \overline{1, 4}; K = 1, 2, \dots,$$

реализующих цену игры

$$T = \max_{X_1(t)} \min_{X_2(t)} \sum_{k=1} \Delta t_k = \min_{X_2(t)} \max_{X_1(t)} \sum_{k=1} \Delta t_k$$

при выполнении условий

$$\sum_{j=1}^{m+n} \sum_{l=1}^4 X_{ijl}^*(\Delta t_k) \leq d_i, i = 1, 2; k = 1, 2, \dots,$$

$$\sum_{j=1}^m \frac{\gamma_j}{\max_i \{P_{ij}(T)\}} [P_{2j}(T) - P_{1j}(T)] + \sum_{j=m+1}^{m+n} \frac{\gamma_j}{\max_i \{P_{ij}(T)\}} [P_{2j}(T) - P_{1j}(T)] \leq \epsilon,$$

где

$$P_{ij}(T) \begin{cases} P_{ij}(0) - A_{ij} \sum_{k=1} P_{ij}^{\alpha_{ijo}}(t_{k-1}) \prod_{l=1}^4 X_{ijl}^{\alpha_{ijl}}(\Delta t_k), \forall j \in \{\overline{1, m}\}; \\ P_{ij}(0) + A_{ij} \sum_{k=1} P_{ij}^{\alpha_{ijo}}(t_{k-1}) \prod_{l=1}^4 X_{ijl}^{\alpha_{ijl}}(\Delta t_k), \forall j \in \{\overline{(m+1), (m+n)}\}. \end{cases}$$

$$i = 1, 2;$$

$$P_{ij}(O) + A_{ij} \sum_{k=1} P_{ij}^{\alpha_{ij^o}}(t_{k-1}) \prod_{l=1}^4 X_{ijl}^{\alpha_{ijl}}(\Delta t_k),$$

$$\forall j \in \overline{\{(m+1), (m+n)\}},$$

если заданы в момент времени  $t_o = O$  исходные значения показателей потребительских свойств кооперирующих объектов производства  $P_{ij}(O), i = 1, 2; j = \overline{1, (m+n)}$  и известны предельно возможные темпы финансирования рассматриваемых производств  $d_i, i = 1, 2$ .

### Заключение

Таким образом, проблема обеспечения конкурентоспособности выпускаемой продукции сводится к задаче позиционного управления, которая заключается в том, что распределение финансовых средств, определяемое в тот или иной момент времени  $t = t_k$ , является функцией от позиции  $\{t_k, K_1(t_k), K_2(t_k)\}$ , реализовавшейся к этому моменту времени в игре преследования одного объекта производства другим в фазовом пространстве обобщенных показателей конкурентоспособности  $K_i(t), i = 1, 2; O \leq t \leq T$ .

Сформулированная дискретная игра преследования может быть рассмотрена при ограниченных темпах расходования финансовых ресурсов либо как задача о предельном быстродействии с интегральной платой  $\sum_{k=1} \Delta t_k$ , либо как задача с фиксированным временем игры  $T = \sum_k \Delta t_k$  и терминальной платой  $K_1(T) - K_2(T)$ .

Если считать, что обе платы, как интегральная, так и терминальная, зафиксированы, а темпы финансирования лидирующего производства известны, то задача сводится к определению минимального объема финансовых средств, гарантирующих достижение исследуемым производителем уровня конкурентоспособности продукции лидера.

### **Список литературы**

1. Кучмиев В. Г., Лысенко А. И., Сорокина И. А. Игровая модель минимизации коммерческого риска в условиях монополистической конкуренции // Вестник НТУ «ХПИ» Сб. науч. тр. «Системный анализ, управление и информационные технологии».- Харьков: НТУ «ХПИ». – 2002, №8, Т.1.- с. 114-120.

## **Модель формирования структуры технологической подготовки производства в проектах создания наукоемкой техники**

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

### **Введение**

Стабильный рост экономического уровня Украины в нынешних условиях может быть обеспечен за счет внедрения новейших достижений науки и техники, т.е. через проекты создания высокотехнологичной продукции. Эти проекты, как правило, базируются на использовании методов математического моделирования и оптимизации технологических процессов, а также современных информационных моделей, при этом в первую очередь создается общая методика выбора адекватной технологии и параллельно разрабатывается инструмент управления процессом ее применения. С этой точки зрения возникает потребность в построении такой формализованной модели выбора технологии и схемы технологической подготовки производства, на основе которых можно было бы оценить возможность применения соответствующих технологических процессов с учетом сформулированных требований к продукту и выделенных ресурсов, а в последующем контролировать ход и результаты проекта.

Известные методы сетевого планирования и управления проектами решают только одну часть поставленной проблемы, а именно отражают последовательность технологических операций с временными и ресурсными характеристиками. При этом не раскрывается в полной мере содержательная сторона процессов, необходимая как для понимания сущности и оценки эффективности технологии, так и для использования в качестве руководящих материалов для непосредственных исполнителей.

### **Модель выбора технологии создания сложной технической системы на основе требований заказчика**

При разработке модели выбора технологии учитывался как зарубежный опыт [1,2], так и работы украинских авторов [3,4]. Модель учитывает аспекты влияния требований и пожеланий заказчика на параметры технологических операций на каждом этапе жизненного цикла создаваемого продукта, которые гарантируют получение конечного результата, соответствующего ожиданиям потребителя.

Первым элементом модели является уточнение тактико-технических требований (ТТТ) заказчика  $\{t_k, k = 1..n_1\}$ . Задача исполнителя состоит в том, чтобы требования могли быть поставлены в прямую взаимосвязь с общими характеристиками продукта, т.е. могли быть измеряемыми. При необходимости, за каждым элементом ТТТ закрепляется весовой коэффициент, отображающий важность требования при оценке качества продукта  $\{\alpha_k, k = 1..n_1\}, \alpha_k \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$ .

Вторым элементом модели является формирование логических взаимосвязей между ТТТ и характеристиками элементов продукта (ХЭП)  $\{h_k, k = 1..n_2\}$ . Для исследования этой взаимосвязи составляются матричные диаграммы связи (рис. 1).

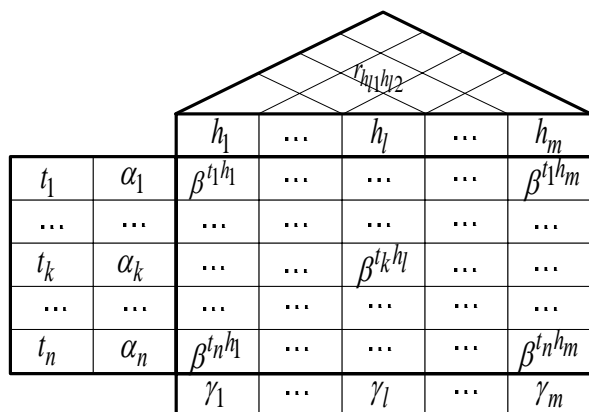


Рис.1. Матричная диаграмма связи

Наряду с рейтингом важности технических характеристик продукта для каждой колонки указывают также рейтинг сложности технического воплощения ХЭП. Он учитывается при проектировании дальнейших этапов жизненного цикла продукта.

Элементы корреляционной матрицы, заполняются значением положительной или отрицательной корреляционной связи между соответствующими ХЭП  $\{R_{h_1h_2}, l, l_2 = 1..n_2\}$ . Таким образом, можно определить, как может повлиять улучшение качества одной характеристики на другую. Например, повышение шероховатости заготовки уменьшает износостойкость детали конструкции. При наличии исходных данных на предприятии коэффициенты  $\{R_{h_1h_2}, l, l_2 = 1..n_2\}$  определяются с использованием статистических методов, в противном случае применяют методы экспертных оценок.

Описанные элементы являются основой для формирования матрицы планирования продукта.

Полная модель выбора технологии создания сложной технической системы включает в себя четыре матрицы (рис. 2): планирование продукта, планирование параметров процессов, планирование этапов проекта, планирование процессов контроля.

В матрице «Планирование параметров процессов» ХЭП трансформируются в параметры технологической системы (ПТС) -  $\{v_r, r = 1..n_3\}$ . Как и на первом шаге взаимосвязь ХЭП и ПТС выражают с помощью весовых коэффициентов  $\{\varphi^{h_l v_r}, l = 1..n_2, r = 1..n_3\}$ ,  $\varphi^{h_l v_r} \in \{0, 1, 2, 3\}$ . Таким образом, идентифицируются критические параметры каждой операции, а иначе – определяется вес ПТС  $\{\lambda_r, r = 1..n_3\}$ .

Обычно технологическую систему подразделяют на четыре подсистемы (заготовка, инструмент, приспособление, станок), каждая из которых включает ряд структурных единиц. Параметры, предъявляемые к технологической системе, для разных техпроцессов имеют свои особенности. При этом повышение технико-экономических показателей накладывают существенные ограничения на режимы работы, допустимые характеристики технологической системы. Вопросы анализа и синтеза технологической системы широко освещены в научно-технической литературе. Поэтому при формировании матрицы планирования параметров процессов необходимо учитывать взаимосвязь ПТС -  $\{R_{v_1 v_2}, r_1, r_2 = 1..n_3\}$ .

Коэффициент связи  $\{\beta^{t_k h_l}, k = 1..n_1, l = 1..n_2\}$ ,  $\beta^{t_k h_l} \in \{0, 1, 2, 3\}$  зависит от того, какой вклад вносит та или иная ХЭП в реализацию ТТТ.

Для каждой колонки (рис. 1) весовой коэффициент ТТТ умножается на весовой коэффициент, соответствующий степени связи ТТТ с ХЭП, и результат показывает важность той или иной характеристики элементов продукта, т.е. приоритетные показатели качества для заказчика:

$$\gamma_l = \sum_{k=1}^n \beta^{t_k h_l} \alpha_k, l = 1..n_2$$



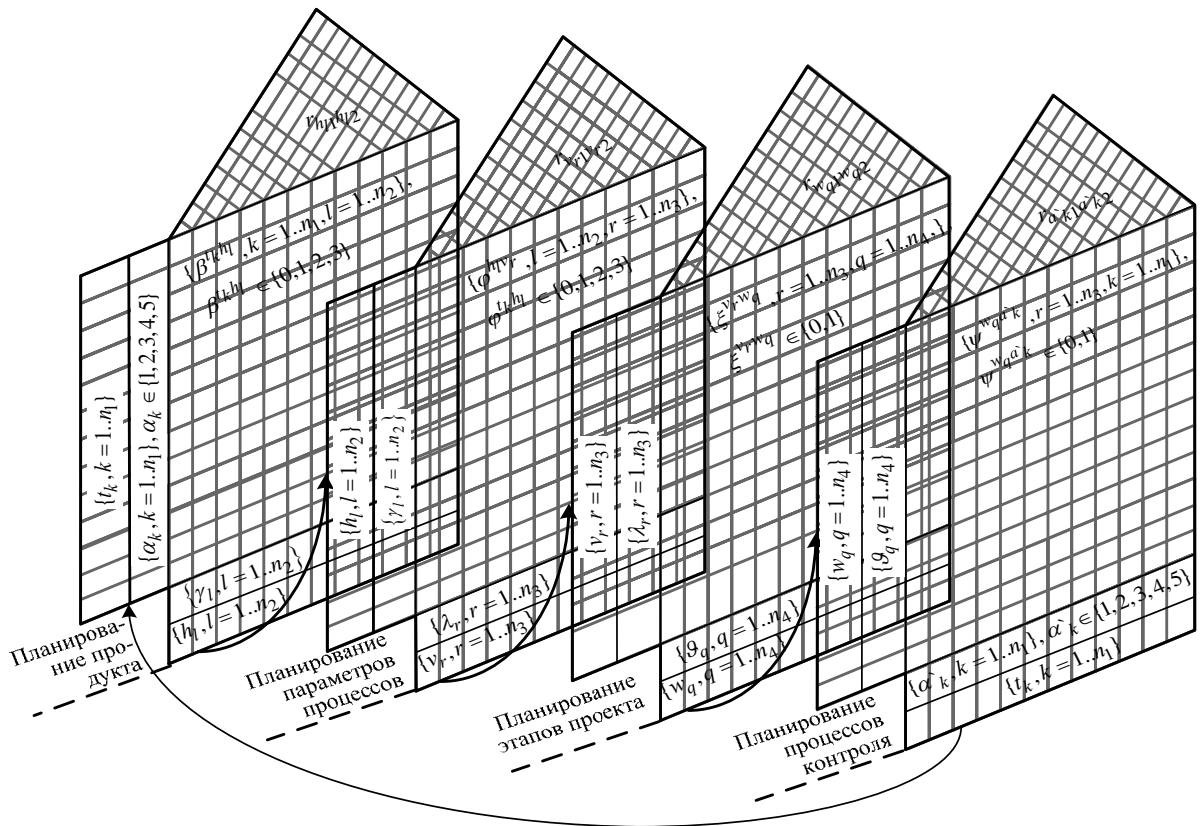


Рис. 2. Модель выбора технологии создания сложной технической системы

При построении матрицы «Планирование этапов проекта» в соответствии с весовыми коэффициентами ПТС  $\{\lambda_r, r=1..n_3\}$  определяются работы и этапы проекта  $\{w_q, q=1..n_4\}$ , на которых следует усилить контроль соблюдения технологии. ПТС закрепляются за работами (этапами) с использованием коэффициента  $\{\xi^{v_r w_q}, r=1..n_3, q=1..n_4\}$ ,  $\xi^{v_r w_q} \in \{0,1\}$ . После этого определяется весовой коэффициент работы (этапа) проекта  $\{g_q, q=1..n_4\}$ .

Верхняя составляющая матрицы «Планирование этапов проекта» отображает последовательность выполнения работ проекта. В случае, если работа  $w_{q+1}$  следует за работой  $w_q$ , то  $R_{w_q w_{q+1}} = 1$ , а если работы не связаны между собой -  $R_{w_q w_{q+1}} = 0$ .

Матрица «Планирование процессов контроля» отображает логические взаимосвязи этапов проекта  $\{w_q, q=1..n_4\}$  и ТТТ продукта  $\{t_k, k=1..n_1\}$ . Коэффициенты  $\{\alpha_k, k=1..n_1\}$  нормализуются, после чего сравниваются с весовыми коэффициентами, полученными от заказчика  $\{\alpha_k, k=1..n_1\}$ . Вносятся изменения, целью которых является уменьшение рассогласования в полученных коэффициентах:

$$\sum_{k=1}^{n_1} |\alpha_k^H - \alpha_k^N| = \Delta, \Delta \rightarrow 0, \text{ где } \alpha_k^H = \frac{\alpha_k - 1}{4}, \alpha_k^N = \frac{\alpha_k - \min\{\alpha_k\}}{\max\{\alpha_k\} - \min\{\alpha_k\}}.$$

Результатом построения модели является комплект документации, включающий согласно стандартам ISO 9000:2000 метрики для оценивания продукции и процессов; отчет о несоответствии, выявленных при согласовании требований; план корректирующих действий. Эти документы являются основой плана качества

проекта, который позволяет: повысить качество работ по технологической подготовке производства за счет сокращения ошибок планирования; значительно сократить сроки освоения выпуска новых изделий.

## Выводы

В работе рассмотрен метод структурирования функции качества (QFD), который позволяет решать сложные задачи, связанные с интеграцией усилий разработчиков, конструкторов и технологов для получения полного представления о том, каким качеством должен удовлетворять продукт проекта. С учетом положительного опыта использования метода QFD для решения задач в аэрокосмической, химической, оборонной и других отраслях [5-7], представляется оправданным его применение и для рассматриваемой задачи формализации модели выбора технологии создания сложной технической системы.

Основные этапы создания предложенной модели заключаются в построении ряда специальных таблиц: планирование продукта, планирование параметров процессов, планирование этапов проекта, планирование процессов контроля. Таким образом, предложенная технология работы позволяет наиболее полно учитывать требования потребителя на всех стадиях проекта, а также снизить затраты на подготовку производства.

Основная идея контроля полученных исполнителем проекта весовых коэффициентов ТТТ заключается в том, что потребительские свойства ("фактическими показателями качества") не всегда адекватны установленным в стандартах параметрами продукта ("вспомогательными показателями качества").

Вспомогательные показатели качества важны для производителя, но не всегда существенны для потребителя, поэтому предложенный метод направлен на установление взаимосвязей между указанными показателями качества и тем самым обеспечивает выполнение требований относительно качества подготовки производства.

## Список литературы

1. Брагин Ю.В., Корольков В.Ф. Путь QFD: Проектирование и производство продукции исходя из ожиданий потребителей – М.: Центр качества, 2003. – 239 с.
2. Суворова Л. А., Цвилов Р. П. Применение методологии QFD и статистических методов в управлении качеством продукции на промышленном предприятии. // Качество. Инновации. Образование. - 2005. - №2. - С. 72-78.
3. Бушуева Н.С. Управління якістю в проектах. Конспект лекцій. – К.: Київський національний університет будівництва і архітектури, 2004.– 45 с.
4. Автоматизация управления качеством на производстве / Е.А. Дружинин, О.К. Погодина, М.С. Мазорчук. – Учеб. пособие по лаб. практикуму. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2007.- 57 с.
5. Гиссин В.И. Управление качеством продукции: уч. пособие для студентов техн. и экон. специальностей вузов.- Ростов на Дону: Феникс, 2000. – 256 с.
6. Бурмистрова Е. В. Исследование мнений потребителей на этапе проектирования образовательной услуги // Образовательные технологии. – 2006. – № 4 (21). – С. 64–68.
7. Мазур И.И., Шапиро В.Д. Управление качеством: Учеб. пособие. - М.: Высш. шк., 2003. – 334 с.

## Генераторы вихрей, оптимизация геометрических размеров

*Национальный авиационный университет*

### Введение

Генераторы вихрей применяются как средство управления потоком, обеспечивая в определенной степени задержку отрыва пограничного слоя и ослабления вредных эффектов сильных локальных вторичных течений.

В настоящей статье Рассмотрены вопросы параметрических исследований, влияния геометрических характеристик генераторов вихрей на толщину пограничного слоя и коэффициент сопротивления плоской пластины.

### Цель работы

Целью работы являлось экспериментальное исследование зависимости коэффициентов сопротивления и толщины пограничного слоя плоской пластины от геометрических характеристик генераторов вихрей

### Описание плоской пластины и генераторов вихрей для экспериментальных исследований

В исследованиях использовалась плоская пластина с размерами  $(\delta \times l \times b) = (7 \times 270 \times 400)$  мм<sup>3</sup> (рис. 1.6). Передняя часть пластины срезана на «ус» с параметрами, показанными на рис. 1 а. Кроме того, в экспериментальных исследованиях использовались генераторы вихрей противоположно направленного вращения различной конфигурации. Расположение генераторов на пластине показано на рис. 1. б, а их общий вид и геометрические параметры приведены на рис. 2. и в табл. 1.

Предварительные исследования дали возможность выбрать тип и размеры генератора вихрей, который позволил получить наименьшую толщину пограничного слоя пластины. Следующим этапом экспериментальных исследований являлось определение лобового сопротивления и выявление взаимосвязи его изменения и изменения толщины пограничного слоя в зависимости от сочетания геометрических параметров генераторов вихрей.

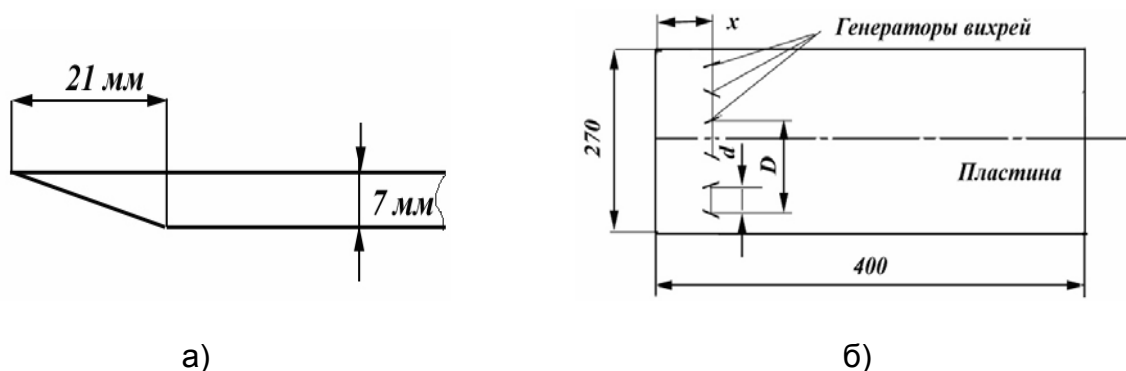


Рис. 1 Геометрические размеры плоской пластины и схема расположения генераторов вихрей

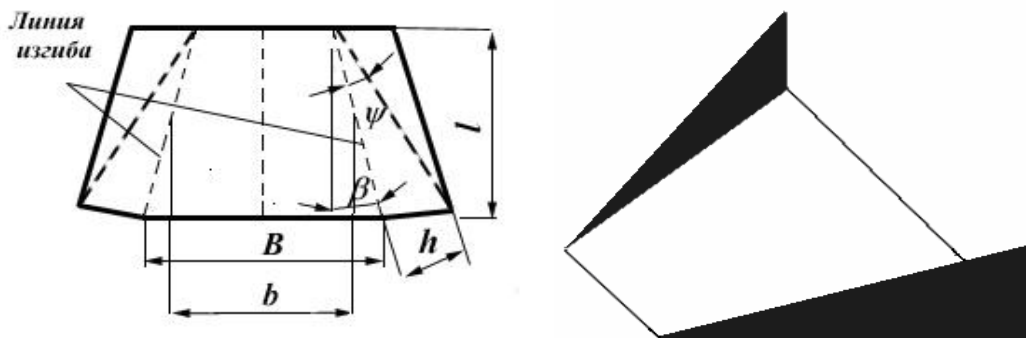


Рис. 2 Типы и геометрические параметры генераторов вихрей, используемых в экспериментальных исследованиях

Таблица 1

Геометрические параметры исследуемых генераторов вихрей

Исследуемый генератор	Параметры								
	$x$ , мм	$h$ , мм	$l$ , мм	$D$ , мм	$d$ , мм	$B$ , мм	$b$ , мм	$\beta$ , °	$\psi$ , °
Генератор № 1	60	4	13.6	46	14	19	10	20	16.4
Генератор № 2	60	4	21	41	15	23	7	20	20
Генератор № 3	60	6	18	48	14	19	12	15	–
Генератор № 4	60	3.5	18	48	12	19	12	15	–

### Методика проведения экспериментальных исследований

Перед началом экспериментальных исследований были проведены тестовые испытания изолированной пластины, в которых определялась зависимость толщины пограничного слоя от расстояния до ее передней кромки. Скорость потока в рабочей части установки в этом эксперименте составляла  $V_\infty = 33$  м/с, что соответствовало числу  $Re = 0.898 \cdot 10^6$ . Результаты эксперимента сравнивались с данными, полученными аналитически для плоской пластины, где при расчете толщины пограничного слоя использовались следующие соотношения

- для ламинарного пограничного слоя

$$\delta_l = 4.64 \cdot \sqrt{\frac{x \cdot \nu}{V_\delta}} = \frac{4.64 \cdot x}{\sqrt{Re_x}},$$

- для турбулентного пограничного слоя

$$\delta_T = 0.37 \cdot \sqrt[5]{\frac{x^4 \cdot \nu}{V_\delta}} = \frac{0.37 \cdot x}{\sqrt[5]{Re_x}}.$$

### Приведенные геометрические характеристики генераторов вихрей

На основе геометрических характеристик генератора № 3 были проведены параметрические исследования серии генераторов вихрей, у которых при

одинаковых величинах параметров  $\bar{D} = const$ ,  $\bar{L} = const$ ,  $\beta = const$ ,  $\psi = 0^\circ$  изменялись высота генератора  $\bar{h} = \frac{h_i}{b}$ , параметр  $\bar{d} = \frac{d_i}{b}$ ,  $\bar{\delta} = \frac{\delta_i}{\delta_{пл}}$ , где  $h_i$ ,  $d_i$ ,  $\delta_i$  – абсолютные текущие значения указанных величин,  $b$  – хорда пластины,  $\delta_{пл}$  – толщина пограничного слоя изолированной пластины.

Данные по приведенным геометрическим параметрам генератором вихрей приведены в табл. 2.

Таблица 2

Приведенные геометрические параметры генераторов вихрей

№ п/п	$\bar{h}$	$\bar{d}$	$\bar{L}$	$\beta^\circ$
б/г	0	0	0	0
1	0.0075	0.035	0.045	15
2	0.0150	0.045	0.045	15
3	0.0175	0.055	0.045	15
4	0.0225	0.070	0.045	15

В результате проведенных исследований были получены зависимости коэффициентов сопротивления и толщины пограничного слоя от 32 сочетаний вышеперечисленных параметров генераторов вихрей.

### Результаты экспериментальных исследований и их анализ

Результаты параметрических исследований влияния геометрических характеристик генераторов вихрей на лобовое сопротивление плоской пластины и толщину ее пограничного слоя приведены в табл. 3, 4, а также представлены в виде графических зависимостей (рис. 3 ... 6)

Таблица 3

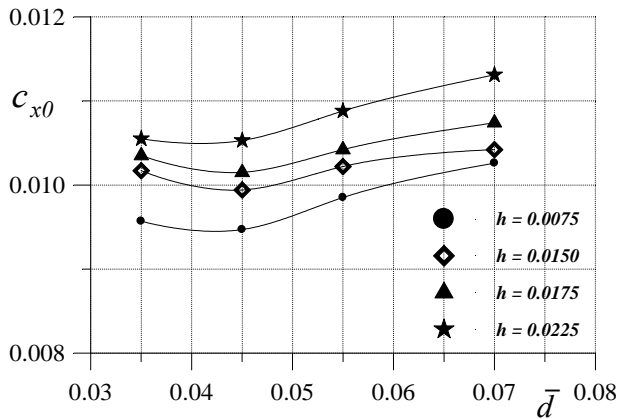
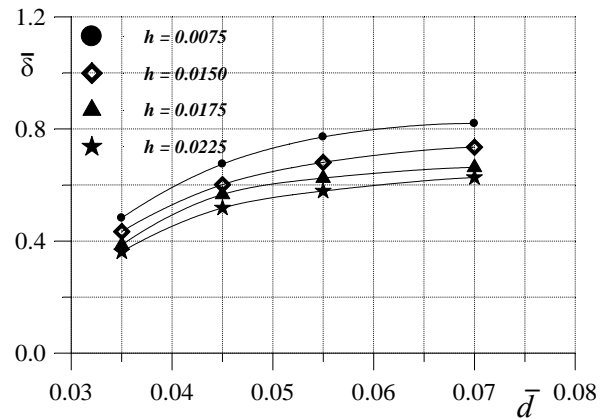
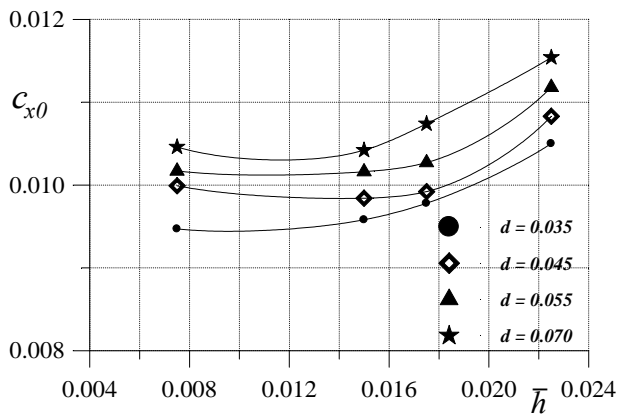
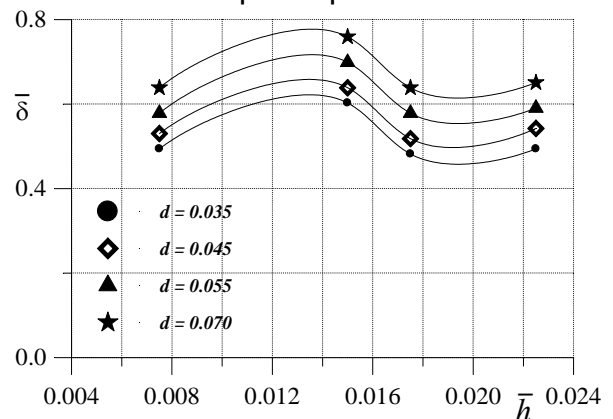
Характеристики генераторов вихрей  $\bar{L} = const$ ,  $\beta = 15^\circ$

№ п/п	$\bar{h}$	$\bar{d}$	$c_{x0}$	$\bar{\delta}$	$\bar{c}_{x0}$
б/г	0	0	0.00918	1.00	1.000
1	0.0075	0.035	0.00957	0.48	1.043
2	0.0075	0.045	0.00947	0.67	1.032
3	0.0075	0.055	0.00985	0.77	1.073
4	0.0075	0.070	0.01026	0.82	1.118
5	0.0150	0.035	0.01017	0.43	1.108
6	0.0150	0.045	0.00994	0.60	1.083
7	0.0150	0.055	0.01022	0.68	1.113
8	0.0150	0.070	0.01042	0.73	1.135
9	0.0175	0.035	0.01035	0.38	1.127
10	0.0175	0.045	0.01015	0.57	1.106
11	0.0175	0.055	0.01042	0.62	1.135
12	0.0175	0.070	0.01074	0.66	1.167
13	0.0225	0.035	0.01055	0.36	1.149
14	0.0225	0.045	0.01153	0.52	1.256
15	0.0225	0.055	0.01188	0.58	1.294
16	0.0225	0.070	0.01131	0.62	1.232

Таблица 4

Характеристики генераторов вихрей  $\bar{L} = const$ ,  $\beta = 15^\circ$ 

№ ГВ	$\bar{h}$	$\bar{d}$	$c_{x0}$	$\bar{\delta}$	$\bar{c}_{x0}$
17	0.0075	0.035	0.00947	0.49	1.032
18	0.0150	0.035	0.00958	0.60	1.044
19	0.0175	0.035	0.00978	0.48	1.065
20	0.0225	0.035	0.01050	0.49	1.144
21	0.0075	0.045	0.00999	0.53	1.088
22	0.0150	0.045	0.00984	0.64	1.072
23	0.0175	0.045	0.00992	0.52	1.081
24	0.0225	0.045	0.01083	0.54	1.179
25	0.0075	0.055	0.01017	0.58	1.108
26	0.0150	0.055	0.01016	0.70	1.107
27	0.0175	0.055	0.01027	0.58	1.119
28	0.0225	0.055	0.01118	0.59	1.218
29	0.0075	0.070	0.01046	0.64	1.139
30	0.0150	0.070	0.01042	0.76	1.135
31	0.0175	0.070	0.01074	0.64	1.170
32	0.0225	0.070	0.01154	0.65	1.257

Рис. 3. Зависимости коэффициента  $c_{x0}$  от параметра  $\bar{d}$ Рис. 4. Зависимости относительной толщины пограничного слоя  $\bar{\delta}$  от параметра  $\bar{d}$ Рис. 5. Зависимости коэффициента  $c_{x0}$  от параметра  $\bar{h}$ Рис. 6. Зависимости относительной толщины пограничного слоя  $\bar{\delta}$  от параметра  $\bar{h}$

Обратная картина наблюдается в случае постоянства значения параметра  $\bar{d}$  и увеличения относительного параметра  $\bar{h}$  (рис. 2.6.).

Были построены также трехмерные графические зависимости вышеперечисленных параметров, которые показаны на рис.7.

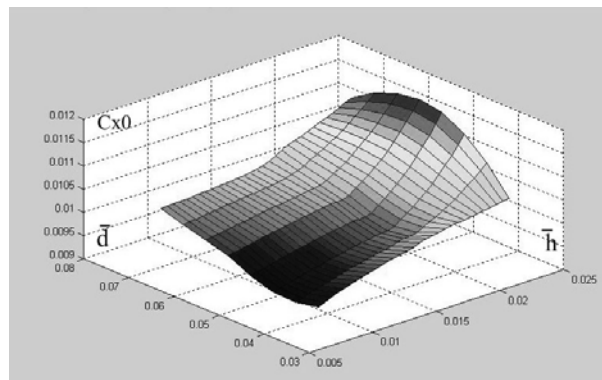


Рис. 7. Изменение коэффициента сопротивления пластины с генераторами вихрей в зависимости от параметров  $\bar{d}$  и  $\bar{h}$

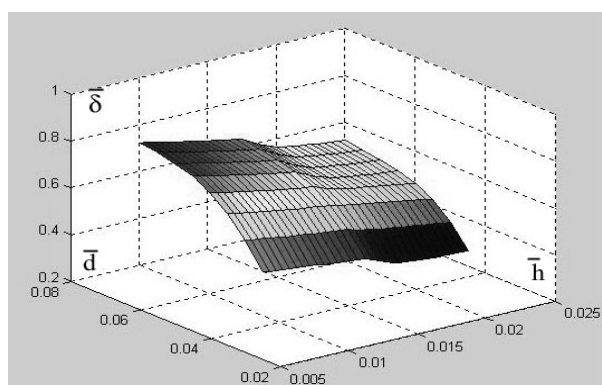


Рис. 8. Изменение толщины пограничного слоя пластины с генераторами вихрей в зависимости от параметров  $\bar{d}$  и  $\bar{h}$

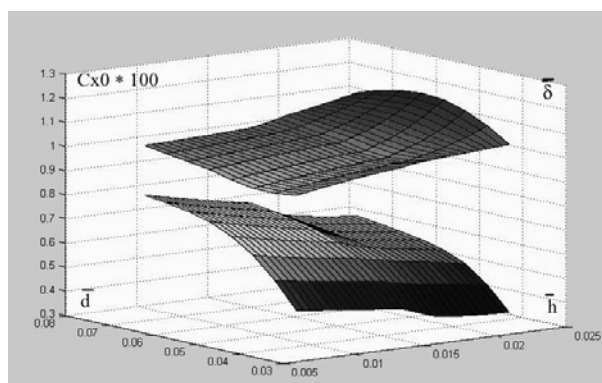


Рис. 9. Изменение коэффициента лобового сопротивления и толщины пограничного слоя пластины с генераторами вихрей в зависимости от параметров  $\bar{d}$  и  $\bar{h}$

Как показывает анализ приведенных рисунков, зависимости  $c_{x0} = f(\bar{\delta}, \bar{d}, \bar{h})$  носят достаточно сложный характер. Тем не менее на рис. 9 хорошо видна область, в которой целесообразно выбрать геометрические характеристики генераторов вихрей. В этих областях рост лобового сопротивления невысок, а уменьшение толщины пограничного слоя позволяет использовать их для улучшения срывных аэродинамических характеристик ЛА и его частей.

### Выводы

1. Коэффициент сопротивления  $c_{x0}$  с увеличением высоты генераторов во всех случаях возрастает, а толщина пограничного слоя имеет локальные минимумы в диапазоне  $\bar{h} = 0.018 \dots 0.022$ .

2. Анализ результатов исследований показал, что наименьшая толщина пограничного слоя наблюдается при значении параметра  $\bar{d} = 0.035$  и  $\bar{h} = 0.018$ , в то время, как наименьшее лобовое сопротивление наблюдается при  $\bar{h} = 0.0075$  и  $\bar{d} = 0.035$ . Таким образом, чем меньше толщина пограничного слоя, тем большее дополнительное сопротивление создается генераторами вихрей обтекающей пластину.

Это объясняется тем, что чем меньше толщина пограничного слоя, тем большая энергия забирается генератором вихрей из внешнего потока, обтекающей пластину.

3. С помощью программы «MATLAB-6.5» и получены регрессионные зависимости коэффициентов сопротивления и относительной толщины пограничного слоя  $c_{x0} = f(\bar{\delta}, \bar{d}, \bar{h})$ . Как показывает анализ этих зависимостей, они носят достаточно сложный характер. В то же время существует область, в которой целесообразно выбрать геометрические характеристики генераторов вихрей. В этой области рост лобового сопротивления невысок, а относительное уменьшение толщины пограничного слоя вследствие взаимодействия генераторов вихрей с пограничным слоем пластины позволяет использовать их для улучшения срывных аэродинамических характеристик частей ЛА и его самого ЛА в целом.

### Список литературы

1. П. Чжен. Управление отрывом потока. М.: «Мир», 1979.
2. С.М. Белоцерковский, М.И. Ништ. Отрывное и безотрывное обтекание тонких крыльев идеальной жидкостью. М.: «Наука», 1978.



## **Контроль изменения уровня рисков в ходе выполнения проекта**

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

**Постановка задачи. Анализ исследований и публикаций.** Для многих успешных украинских предприятий характерна ситуация, когда одновременно выполняется большое количество проектов. В результате руководство перестает справляться с их управлением привычными методами и приходит к пониманию необходимости создания систем управления проектами и рисками. В процессе реализации любого проекта могут наступить различные риски, которые обусловлены неполнотой и неточностью исходной информации, неопределенностью будущих событий, изменчивой внутренней средой и внешним окружением проекта.

Риск проекта – это неблагоприятное событие, которое в случае возникновения оказывает негативное воздействие на цели и результаты проекта. Обычно 75% проектных рисков – это внутренние риски, связанные с некорректным планированием, отсутствием стандартизированных работ, бесконтрольным использованием дефицитных ресурсов проекта, несвоевременным принятием решений. Для достижения успеха на протяжении всего жизненного цикла проекта необходимо заранее разработать мероприятия по реагированию на проектные риски и управлять ими в ходе выполнения проекта [1].

Управление рисками проекта включает в себя процессы, относящиеся к планированию управления рисками, их идентификации и анализу, реагированию на риски, мониторингу рисков проекта. Основная цель управления рисками проекта – снижение вероятности возникновения и негативного воздействия неблагоприятных для проекта событий.

План управления рисками проекта включает в себя следующие элементы [2]:

- распределение ответственности за выполнение операций по управлению рисками;
- выделение ресурсов и оценка стоимости мероприятий, необходимых для управления рисками;
- определение сроков и частоты выполнения процессов управления рисками;
- определение структуры рисков, вероятности их возникновения и возможных последствий .

Для определения наиболее проблемных областей проекта риски можно классифицировать по источнику и причинам их возникновения, этапам жизненного цикла и иерархической структуре работ проекта. Высокий уровень рисков проекта может существенно повлиять на достижение его целей и результатов, привести к увеличению сметной стоимости проекта, несвоевременному его завершению, низкому качеству создаваемого продукта. Накопленный успешный практический опыт по структурам проектных рисков, вероятности наступления и последствиям неблагоприятных событий, уровням рисков используют в дальнейшем для каждого конкретного проекта с учетом его специфики [3].

Анализ существующих публикаций в области управления рисками проектов позволяет сделать следующие выводы:

- необходимо формировать структуры проектных рисков для последующей их оценки и анализа, разработки мероприятий по реагированию;
- методы и средства процессов управления рисками, описанные в современных стандартах управления проектами (РМВОК), нуждаются в дальнейшем совершенствовании;
- отсутствует общепринятый подход к структурированию возможных рисков проектов;
- необходимо проводить постоянный мониторинг рисков в ходе выполнения проекта и накапливать опыт лучших практик.

Таким образом, разработка структур проектных рисков и модели оценки уровня рисков для последующего снижения негативного воздействия неблагоприятных событий проекта представляет собой **актуальную научно-прикладную задачу**.

**Целью** данной работы является обеспечение управления рисками проектов на основе формирования единой информационной модели структурирования и анализа уровня проектных рисков, что позволяет менеджерам планировать мероприятия по реагированию на существенные проектные риски и проводить мониторинг рисков в ходе выполнения проектов.

**Основной материал.** Мониторинг и управление рисками – отслеживание идентифицированных рисков, контроль остаточных рисков, идентификация новых рисков, выполнение планов реагирования на риски и оценка их эффективности на протяжении жизненного цикла проекта [4, 5].

Для успешного управления и контроля выполнения проекта следует обратить внимание на следующие показатели: стоимость, время и качество выполнения работ проекта. Эти показатели зависят не только от принятых управленческих решений, но и от внутренних и внешних рисков проекта, возможность наступления которых необходимо предусмотреть и контролировать в ходе выполнения проекта.

Шкала оценки воздействия проектного риска отражает его значимость в случае возникновения и может различаться в зависимости от потенциально затронутых риском основных целей проекта (стоимость, время, качество). Относительная шкала последствий содержит только описательные обозначения, например, для стоимости проекта: «незначительное увеличение стоимости», «допустимое увеличение стоимости», «высокое увеличение стоимости», «увеличение стоимости неприемлемо для заказчика», которые расположены в порядке возрастания максимальной силы негативного воздействия проектных рисков.

Одним из эффективных инструментов для управления проектными рисками является карта рисков. После выявления возможных рисков по иерархической структуре работ проекта их необходимо ранжировать, исходя из вероятности наступления неблагоприятных событий и возможных потерь. Основная цель такого анализа – определить, какие проектные риски наиболее существенны, разработать мероприятия по реагированию на них, внести затраты на реагирование в бюджет проекта.

Карту проектных рисков следует постоянно корректировать в ходе выполнения проекта. Многие риски уходят с завершением работ и этапов проекта, могут появиться новые риски, вероятность и последствия выявленных проектных

рисков могут измениться в дальнейшем. Все эти события нужно своевременно отслеживать и вносить в карту рисков, постоянно ее актуализируя. Повторный анализ проектных рисков необходимо проводить при планировании каждого нового этапа проекта.

Оценка рисков происходит по результатам опросов или совместных совещаний со специалистами, которые являются экспертами в выбранных категориях рисков. На основании результатов опросов или встреч определяют возможность возникновения каждого проектного риска и его воздействия на цели проекта. Проектные риски с явно низкой степенью вероятности возникновения и воздействия не входят в перечень существенных рисков, но за ними ведут наблюдение в ходе выполнения проекта. Модель оценки уровня проектных рисков представлена на рис. 1.

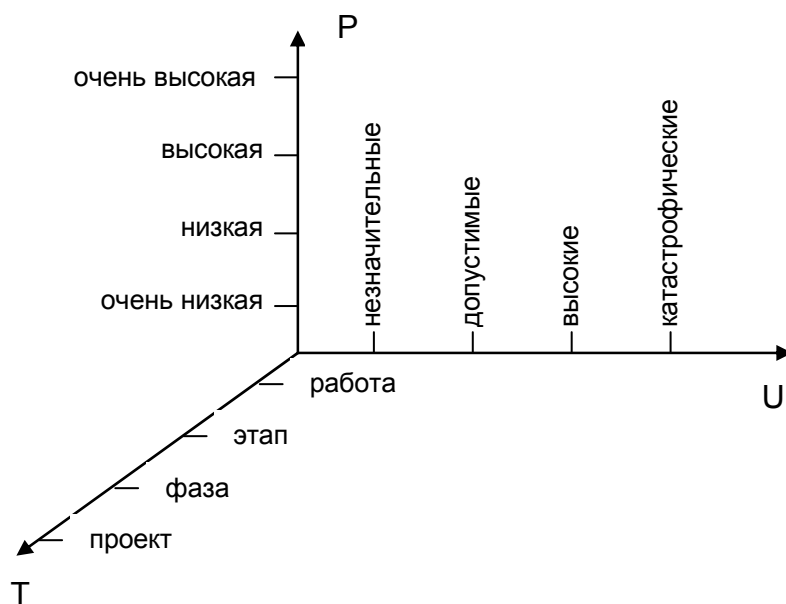


Рис. 1. Модель оценки уровня проектных рисков

Обычно менеджеры проекта сами устанавливают и адаптируют к конкретному проекту сочетания вероятности наступления, потерь и времени воздействия неблагоприятных событий, на основании которых определяют уровень проектных рисков (допустимый, высокий, критический). Для получения интегрированной оценки уровня риска можно использовать количественные показатели, которые будут соответствовать относительной шкале, представленной на рис. 1.

Таким образом, основными количественными характеристиками проектных рисков являются вероятность возникновения неблагоприятного события ( $p_i$ ) и соответствующие потери в случае его наступления ( $U_i$ ), время воздействия неблагоприятного события в ходе выполнения проекта ( $T_i$ ):

$$risk_i = \langle p_i, U_i, T_i \rangle.$$

Для организации управления рисками проектов необходимы типовые методики и стандартные процедуры, а также специальные программные средства, поддерживающие их выполнение. Широкое применение для решения различных

задач организационного управления получили программные продукты Orgware, которые позволяют создавать организационные и функциональные структуры, необходимые корпоративные положения, инструкции, регламенты. К российским программным средствам, поддерживающим организационное моделирование, относится программно-методический комплекс БИГ-Мастер, разработанный консалтинговой группой «БИГ» [6].

Организацию управления и мониторинга проектных рисков следует описывать на основе единой информационной модели. Это дает возможность структурировать возможные проектные риски, устанавливать необходимые связи между элементами описания и анализа рисков, быстро проводить соответствующие сквозные изменения в ходе выполнения проектов.

С помощью инструментальных средств ОРГ-Мастер была построена информационная модель структурирования и анализа проектных рисков, которая включает следующие классификаторы:

- «Иерархическая структура работ проекта»;
- «Перечень рисков проекта»;
- «Воздействие рисков на проект»;
- «Шкала оценки уровня рисков».

Матричные проекции между классификаторами «Перечень рисков – Структура работ проекта», «Перечень рисков – Воздействие», «Перечень рисков – Уровень» приведены на рис. 2 - 4.

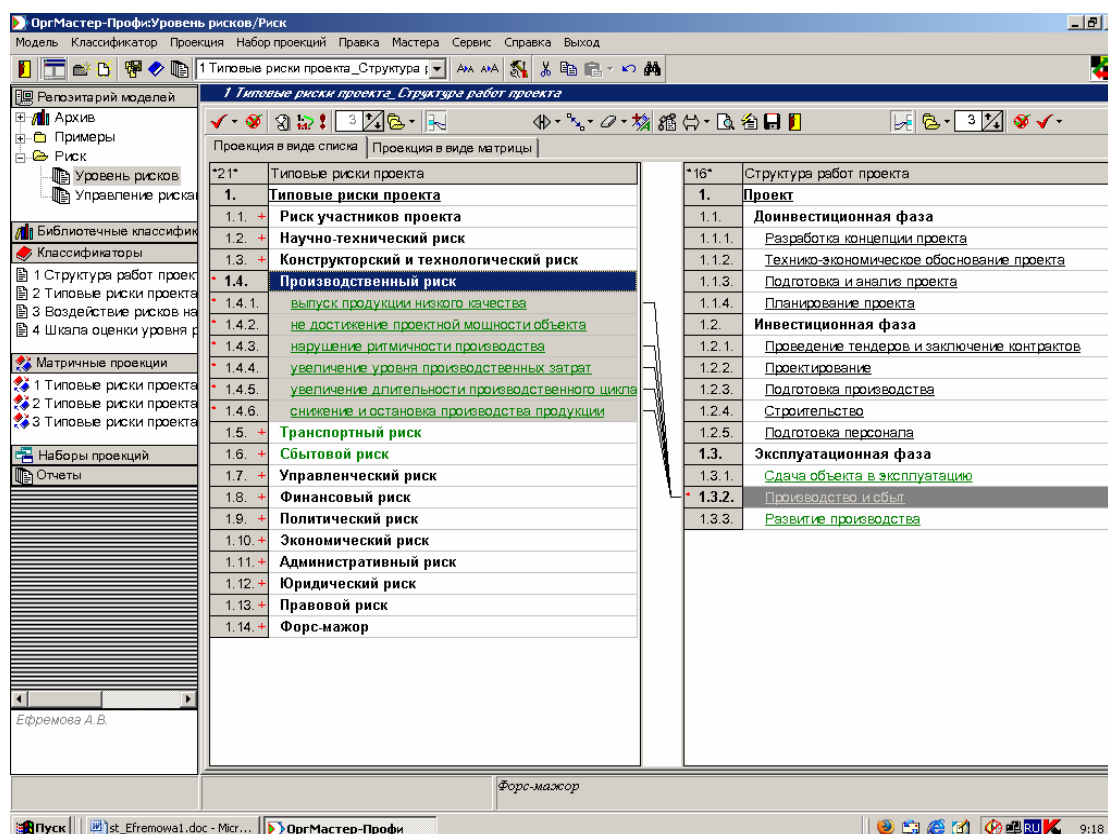


Рис. 2. Проекция «Перечень рисков – Структура работ проекта»

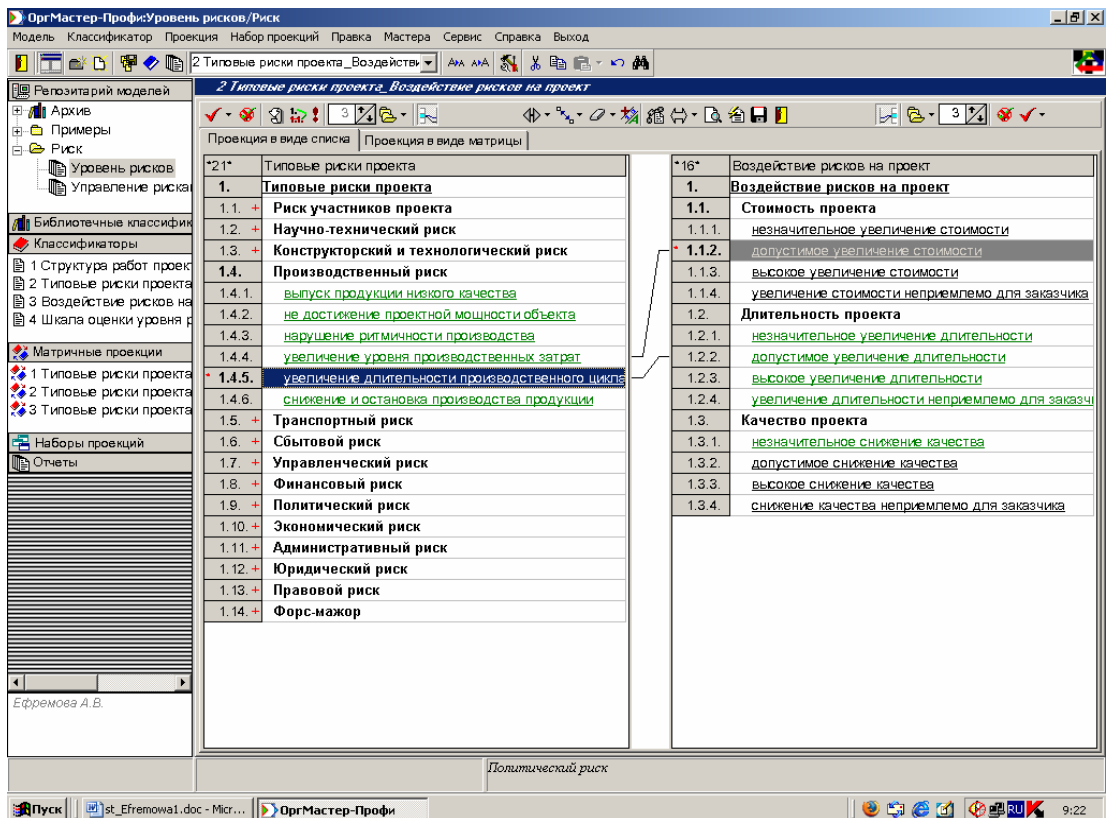


Рис. 3. Проекция «Перечень рисков – Воздействие»

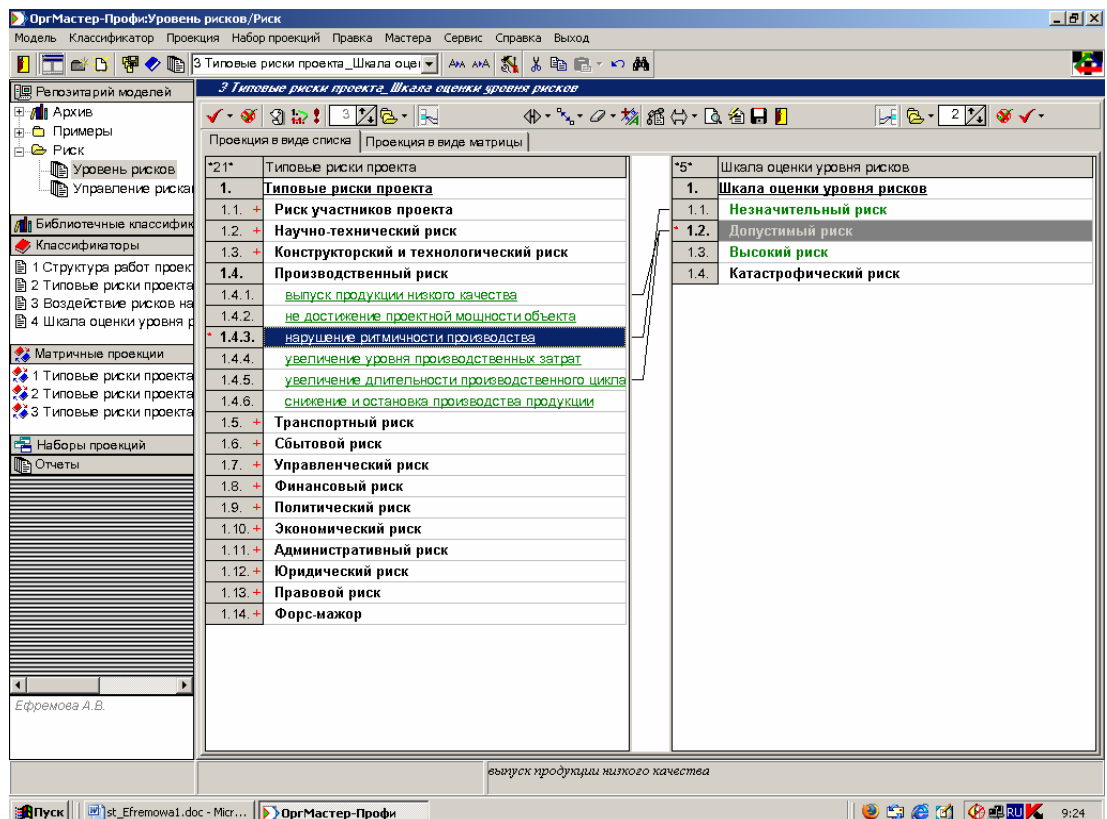


Рис. 4. Проекция «Перечень рисков – Уровень»

## Выводы

При планировании управления проектными рисками предложено выделять неблагоприятные события, которые приводят к превышению длительности, стоимости и низкому качеству выполнения работ проекта. Наступление этих рисков возможно при выполнении каждой работы на всех уровнях иерархической структуры проекта. Мониторинг проектных рисков необходимо осуществлять на протяжении всего жизненного цикла проекта.

Предприятия могут значительно повысить эффективность выполнения своих проектов, сосредоточив усилия на проектных рисках, имеющих высокий уровень. Первоначальный перечень возможных рисков проекта может значительно измениться после проведения качественного и количественного анализа проектных рисков. С помощью модели оценки уровня проектных рисков можно определить степень воздействия неблагоприятных событий на достижение основных целей проекта и необходимые мероприятия по реагированию на существенные риски проекта.

В ходе выполнения проекта следует проводить постоянный мониторинг и контроль изменения уровня выделенных проектных рисков. Результаты мониторинга проектных рисков будут оказывать влияние на величину резервных фондов самострахования для ликвидации негативных последствий возможных неблагоприятных событий проекта.

Разработанная модель оценки уровня проектных рисков, информационная модель структурирования и анализа проектных рисков были использованы для управления и мониторинга рисков проектов предприятия по производству ювелирных изделий ООО «Сапфир».

## Список литературы

1. Товс А.С., Ципес Г.Л. Управление проектами: стандарты, методы, опыт. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2003. – 240 с.
2. Москвин В.А. Управление рисками при реализации инвестиционных проектов. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 352 с.
3. Грачева М.В. Риск-анализ инвестиционного проекта. – М.: Юнити-Дана, 2001. – 352 с.
4. Бушуев С.Д. Керівництво з питань проектного менеджменту. – К.: Українська асоціація управління проектами, 1999. – 197 с.
5. Мазур И.И., Шапиро В.Д. Управление проектами: Учеб. пособие. – М.: Экономика, 2001. – 574 с.
6. Кондратьев В.В., Краснова В.Б. Реструктуризация управления компанией: 17-модульная программа для менеджеров. Модуль 6. – М.: Инфра-М, 2000. – 240 с.

## Параллельная реализация трехмерного полиадического кодирования видеоданных

*Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба*

### 1. Введение

В соответствии с программами информатизации Украины одним из элементов требующих своего дальнейшего совершенствования является подсистема обработки и передачи видеоданных (ПОПВ). Направление такого совершенствования состоит в уменьшении суммарного времени на обработку и передачу достоверных видеоданных по каналам связи. Это будет возможным в случае одновременного выполнения двух условий: повышение степени сжатия без внесения погрешности и снижения времени на кодирование данных. Первое условие относится к обеспечению снижения времени передачи данных по каналу связи, а второе условие - к организации вычислительного процесса. Для выполнения данных условий осуществляется сжатие данных. В тоже время многие методы характеризуются тем, что дополнительное увеличение степени сжатия сопровождается ростом количества операций, затрачиваемых на обработку [1 – 5]. Следовательно, направление разработки методов сжатия, обладающих возможностью повысить степень компактного представления данных и снизить время на их обработку является актуальным.

### 2. Анализ известных методов

Анализ известных методов выявил, что к одним из перспективных методов относятся методы, организующие устранения структурной избыточности. В работе [6] предложен метод кодирования трехмерных полиадических чисел. Данный метод позволяет повысить степень сжатия относительно методов сокращающих статистическую избыточность. Однако, для обеспечения второго условия совершенствования ПОПВ необходимо организовать уменьшение времени кодирования. Отсюда **цель статьи** состоит в разработке распараллеливаемого базиса реализующего трехмерное полиадическое кодирование

### 3. Разработка конвейерной и параллельной схем формирования кода-номера для ТПЧ.

Одним из достоинств трехмерного полиадического кодирования является возможность распараллелить вычисления кода номера для всего трехмерного полиадического числа (ТПЧ). Это вытекает из физических особенностей процесса трехмерной полиадической нумерации и выбора единой системы оснований.

Для разработки параллельной схемы вычисления кода-номера  $N_v$  рассмотрим рекуррентные выражения [5; 6] для формирования кода-номера всей трехмерной структуры данных

$$N_v = N^{(n_{\text{стб}}, n_{\text{стр}}, n_c)}; \quad N^{(n_{\text{стб}}, n_{\text{стр}}, n_c)} = N^{(n_{\text{стб}}-1, n_{\text{стр}}, n_c)} V_{n_{\text{стб}}}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + N_{n_{\text{стб}}}^{(n_{\text{стр}}, n_c)};$$

$$\text{при } V^{(n_{\text{стб}}, n_{\text{стр}}, n_c)} = \prod_{\eta=1}^{n_{\text{стб}}} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} \leq 2^M,$$

где  $v$  - индекс параллелепипедной структуры данных;  $N^{(n_{\text{стб}}, n_{\text{стр}}, n_c)}$  - укрупненный разряд  $N_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)}$  ТПЧ дополнительно по всем  $n_{\text{стб}}$  столбцам (номер всего параллелепипеда);  $V^{(n_{\text{стб}}, n_{\text{стр}}, n_c)}$  - основание укрупненного разряда  $N^{(n_{\text{стб}}, n_{\text{стр}}, n_c)}$  ТПЧ

$$N^{(1, n_{\text{стр}}, n_c)} = N_1^{(n_{\text{стр}}, n_c)}; \quad N^{(j, n_{\text{стр}}, n_c)} = N^{(j-1, n_{\text{стр}}, n_c)} V_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + N_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)};$$

$N^{(j, n_{\text{стр}}, n_c)}$ ,  $N^{(j-1, n_{\text{стр}}, n_c)}$  - укрупненные разряды  $N_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)}$  ТПЧ соответственно по  $j$  и  $j-1$  столбцу (номер подпараллелепипеда, образованного для  $n_c$  сечений,  $n_{\text{стр}}$  строк и соответственно  $j$  и  $j-1$  количества столбцов);  $N^{(1, n_{\text{стр}}, n_c)}$  - код-номер, полученный на основе укрупнения разрядов  $N_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)}$  по первому столбцу;  $V^{(j, n_{\text{стр}}, n_c)}$  - основание укрупненного разряда  $N^{(j, n_{\text{стр}}, n_c)}$ , равная накопленному произведению оснований  $\psi_{jiz}$  для  $n_c$  сечений,  $n_{\text{стр}}$  строк и  $j$ -го количества столбцов (накопленное произведение оснований  $V_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)}$  для  $j$  укрупненных по  $n_c$  сечениям и по  $n_{\text{стр}}$  строкам разрядов ТПЧ):

$$V^{(j, n_{\text{стр}}, n_c)} = \prod_{\eta=1}^j \prod_{i=1}^{n_{\text{стр}}} \prod_{z=1}^{n_c} \psi_{\eta iz} = \prod_{\eta=1}^j \prod_{i=1}^{n_{\text{стр}}} V_{\eta i}^{(n_c)} = \prod_{\eta=1}^j V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)}.$$

Обобщив приведенные формулы, получим соотношения для вычисления укрупненных разрядов соответственно  $N^{(n_{\text{стб}}, n_{\text{стр}}, n_c)}$ ,  $N_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)}$  и  $N_{ji}^{(n_c)}$ :

$$N^{(n_{\text{стб}}, n_{\text{стр}}, n_c)} = \sum_{j=1}^{n_{\text{стб}}} N_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)} \prod_{\eta=j+1}^{n_{\text{стб}}} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)}; \quad (1)$$

$$N_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)} = \sum_{i=1}^{n_{\text{стр}}} N_{ji}^{(n_c)} \prod_{k=i+1}^{n_{\text{стр}}} V_{jk}^{(n_c)}; \quad (2)$$

$$N_{ji}^{(n_c)} = \sum_{z=1}^{n_c} a_{jiz} \prod_{\gamma=z+i}^{n_c} \psi_{ji\gamma}. \quad (3)$$

Обобщив формулы (1) – (3) в одно выражение получим

$$\begin{aligned} N^{(n_{\text{стб}}, n_{\text{стр}}, n_c)} &= \sum_{j=1}^{n_{\text{стб}}} \left( \sum_{i=1}^{n_{\text{стр}}} N_{ji}^{(n_c)} \prod_{k=i+1}^{n_{\text{стр}}} V_{jk}^{(n_c)} \right) \prod_{\eta=j+1}^{n_{\text{стб}}} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} = \\ &= \sum_{j=1}^{n_{\text{стб}}} \left( \sum_{i=1}^{n_{\text{стр}}} \left( \sum_{z=1}^{n_c} a_{jiz} \prod_{\gamma=z+i}^{n_c} \psi_{ji\gamma} \right) \prod_{k=i+1}^{n_{\text{стр}}} V_{jk}^{(n_c)} \right) \prod_{\eta=j+1}^{n_{\text{стб}}} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)}. \end{aligned} \quad (4)$$



Из анализа выражения (4) и рекурсивных формул для вычисления разрядов  $N^{(n_{\text{стб}}, n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})}$ ,  $N_j^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})}$  и  $N_{ji}^{(n_{\text{с}})}$  следует, что можно организовать конвейерное и параллельное вычисление кода-номера  $N_v$  на трех этапах укрупнения.

Рассмотрим **первый этап распараллеливания** (распараллеливание по столбцам). Для этого распишем в формуле (1) отдельные разряды  $N_j^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})}$ :

$$N^{(n_{\text{стб}}, n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} = (N_1^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} \times V_2^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} + N_2^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})}) \times \prod_{\eta=3}^{n_{\text{стб}}} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} + \\ + (N_3^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} \times V_4^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} + N_4^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})}) \times \prod_{\eta=5}^{n_{\text{стб}}} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} + \dots + \\ + (N_{n_{\text{стб}}-1}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} \times V_{n_{\text{стб}}}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} + N_{n_{\text{стб}}}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})}). \quad (5)$$

Обозначив суммы в скобках как  $N_{j, j+1}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})}$  получим

$$N^{(n_{\text{стб}}, n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} = (N_{1,2}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} \prod_{\eta=3}^4 V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} + N_{3,4}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})}) \times \prod_{\eta=5}^{n_{\text{стб}}} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} + \\ + (N_{5,6}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} \times \prod_{\eta=7}^8 V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} + N_{7,8}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})}) \times \prod_{\eta=9}^{n_{\text{стб}}} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} + \dots + \\ + (N_{j, j+1}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} \times \prod_{\eta=j+2}^{j+3} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} + N_{j+2, j+3}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})}) \times \prod_{\eta=j+4}^{n_{\text{стб}}} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} + \dots + \\ + (N_{n_{\text{стб}}-1, n_{\text{стб}}}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})}), \quad (6)$$

где  $N_{j, j+1}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})}$  - попарноукрупненный по  $j$ -му и  $j+1$ -му столбцам разряд ТПЧ, равный

$$N_{j, j+1}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} = N_j^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} \times V_{j+1}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} + N_{j+1}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})}. \quad (7)$$

Из анализа выражения (6) вытекает, что оно представляет собой взвешенную сумму попарноукрупненных разрядов  $N_{j, j+1}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})}$ . На следующем шаге продолжим процесс попарного укрупнения по формуле

$$N_{j, j+1, j+2, j+3}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} = N_{j, j+1}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} \times \prod_{\eta=j+2}^{j+3} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} + N_{j+2, j+3}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})}, \quad (8)$$

где  $N_{j, j+1, j+2, j+3}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})}$  - дважды попарноукрупненный по столбцам  $j, j+1, j+2, j+3$  разряд ТПЧ.

На последнем шаге по парного укрупнения смежных разрядов вычисляется сумма следующих элементов

$$N^{(n_{\text{стб}}, n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} = N_{1, 2, \dots, n_{\text{стб}}/2}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} \times \prod_{\eta=n_{\text{стб}}/2+1}^{n_{\text{стб}}} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} + N_{n_{\text{стб}}/2+1, n_{\text{стб}}/2+2, \dots, n_{\text{стб}}}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})}, \quad (9)$$

где  $N_{1,2,\dots,n_{\text{стр}}/2}^{(n_{\text{стр}}, n_c)}$  и  $N_{n_{\text{стр}}/2+1, n_{\text{стр}}/2+2, \dots, n_{\text{стр}}}^{(n_{\text{стр}}, n_c)}$  - разряды ТПЧ, полученные на основе последовательного по парного укрупнения соответственно для первой и второй равных частей столбца.

Таким образом, выражения (5) – (9) задают схему параллельного вычисления кода-номера  $N_v$  за счет последовательного по парного укрупнения (получение диполиадических чисел) разрядов  $N_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)}$  по столбцам.

Дальнейшего распараллеливания процесса трехмерной полиадической нумерации можно добиться если разработать схему параллельного вычисления разрядов  $N_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)}$ .

Рассмотрим **второй этап распараллеливания** (распараллеливания по строкам). В этом случае отдельные разряды  $N_{ji}^{(n_c)}$  в формуле (29) надо расписать по формулам:

$$N_j^{(1, n_c)} = N_{j1}^{(n_c)} ; \quad N_j^{(i, n_c)} = N_j^{(i-1, n_c)} V_{ji}^{(n_c)} + N_{ji}^{(n_c)} .$$

Тогда получим

$$N_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)} = (N_{j1}^{(n_c)} \times V_{j2}^{(n_c)} + N_{j2}^{(n_c)}) \times \prod_{k=3}^{n_{\text{стр}}} V_{jk}^{(n_c)} + \\ + (N_{j3}^{(n_c)} \times V_{j4}^{(n_c)} + N_{j4}^{(n_c)}) \times \prod_{k=5}^{n_{\text{стр}}} V_{jk}^{(n_c)} + \dots + (N_{j, n_{\text{стр}}-1}^{(n_c)} \times V_{j, n_{\text{стр}}}^{(n_c)} + N_{j, n_{\text{стр}}}^{(n_c)}) . \quad (10)$$

По аналогии с предыдущим этапом обозначим сумму в скобках как  $N_{ji, i+1}^{(n_c)}$ . Тогда выражение (10) на следующем шаге примет вид

$$N_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)} = (N_{j1,2}^{(n_c)} \times \prod_{k=3}^4 V_{jk}^{(n_c)} + N_{j3,4}^{(n_c)}) \times \prod_{k=5}^{n_{\text{стр}}} V_{jk}^{(n_c)} + \\ + (N_{j5,6}^{(n_c)} \times \prod_{k=7}^8 V_{jk}^{(n_c)} + N_{j7,8}^{(n_c)}) \times \prod_{k=9}^{n_{\text{стр}}} V_{jk}^{(n_c)} + \dots + \\ + (N_{ji, i+1}^{(n_c)} \times \prod_{k=i+2}^{i+3} V_{jk}^{(n_c)} + N_{ji+2, i+3}^{(n_c)}) \times \prod_{k=i+4}^{n_{\text{стр}}} V_{jk}^{(n_c)} + \dots + \\ + (N_{j, n_{\text{стр}}-1, n_{\text{стр}}}^{(n_c)}) , \quad (11)$$

где  $N_{ji, i+1}^{(n_c)}$  - попарноукрупненный по  $i$ -й и  $i+1$ -й строкам разряд ТПЧ, равный

$$N_{ji, i+1}^{(n_c)} = N_{ji}^{(n_c)} \times V_{j, i+1}^{(n_c)} + N_{j, i+1}^{(n_c)} . \quad (12)$$

На последнем шаге по парного укрупнения по строкам вычисляется сумма следующих диполиадических чисел

$$N_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)} = N_{j, 1, 2, \dots, n_{\text{стр}}/2}^{(n_c)} \times \prod_{k=n_{\text{стр}}/2+1}^{n_{\text{стр}}} V_{jk}^{(n_c)} + N_{j, n_{\text{стр}}/2+1, n_{\text{стр}}/2+2, \dots, n_{\text{стр}}}^{(n_c)} , \quad (13)$$

где  $N_{j,1,2,\dots,n_{\text{стр}}/2}^{(n_c)}$  и  $N_{j,n_{\text{стр}}/2+1,n_{\text{стр}}/2+2,\dots,n_{\text{стр}}}^{(n_c)}$  - разряды (диполиадические числа) ТПЧ, полученные на основе последовательного по парного укрупнения соответственно для первой и второй равных частей строки.

Распараллеливание вычисления разрядов  $N_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)}$  как и для первого этапа осуществляется за счет параллельного укрупнения каждой пары разрядов на соответствующем уровне (всего  $\log_2 n_{\text{стр}}$  уровней).

Таким образом, выражения (10) – (13) задают схему параллельного вычисления кода-номера  $N_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)}$  для j-й строки за счет последовательного по парного укрупнения (получение диполиадических чисел) разрядов  $N_{ji}^{(n_c)}$  по строкам.

Дополнительное распараллеливание процесса формирования кода-номера для параллелепipedной структуры организуется за счет параллельного вычисления кодов-номеров  $N_{ji}^{(n_c)}$  ji-х вертикалей.

Рассмотрим **третий этап распараллеливания** (распараллеливания по сечениям). На этом этапе требуется разработать схему параллельного вычисления величин  $N_{ji}^{(n_c)}$ . Для этого необходимо представить выражение (30) в виде попарного укрупнения смежных разрядов  $a_{jiz}$ . С учетом выражения (14) для по парного укрупнения (вычисление диполиадических чисел для вертикалей) разрядов  $a_{jiz}$  ТПЧ формула (3) примет вид

$$N_{ji}^{(n_c)} = (a_{ji1} \times \psi_{ji2} + a_{ji2}) \times \prod_{\gamma=3}^{n_c} \psi_{ji\gamma} + (a_{ji3} \times \psi_{ji4} + a_{ji4}) \times \prod_{\gamma=5}^{n_c} \psi_{ji\gamma} + \dots + (a_{ji, n_c-1} \times \psi_{jin_c} + a_{jin_c}). \quad (14)$$

По аналогии с предыдущими этапами распараллеливания на следующем шаге формула (14) преобразуется к виду

$$N_{ji}^{(n_c)} = (a_{ji1,2} \times \prod_{\gamma=3}^4 \psi_{ji\gamma} + a_{ji3,4}) \times \prod_{\gamma=5}^{n_c} \psi_{ji\gamma} + (a_{ji5,6} \times \prod_{\gamma=7}^8 \psi_{ji\gamma} + a_{ji7,8}) \times \prod_{\gamma=9}^{n_c} \psi_{ji\gamma} + \dots + (a_{jiz, z+1} \times \prod_{\gamma=z}^{z+1} \psi_{ji\gamma} + a_{jiz+2, z+3}) \times \prod_{\gamma=z+4}^{n_c} \psi_{ji\gamma} + \dots + (a_{ji, n_c-1, n_c}), \quad (15)$$

где  $a_{jiz, z+1}$  - диполиадическое число полученное за счет укрупнения разрядов  $a_{jiz}$  для z-го и z+1-го сечений.

Продолжая процесс параллельного формирования диполиадических чисел по вертикалям получим на последнем шаге сумму величин

$$N_{ji}^{(n_c)} = a_{ji,1,2,\dots,n_c/2} \times \prod_{\gamma=n_c/2+1}^{n_c} \psi_{ji\gamma} + a_{ji, n_c/2+1, n_c/2+2, \dots, n_c}, \quad (16)$$

где  $a_{ji,1,2,\dots,n_c/2}$  и  $a_{ji, n_c/2+1, n_c/2+2, \dots, n_c}$  - диполиадические числа, полученные на основе последовательного по парного укрупнения соответственно для первой и второй равных частей вертикали.

Формулы (14) – (16) определяют процесс распараллеливания для формирования кодов-номеров  $N_{ji}^{(n_c)}$  вертикалей на основе параллельного по парного укрупнения разрядов  $a_{jiz}$  ТПЧ.

Обобщенная для трех этапов (по трем направлениям) схема формирования кода-номера  $N_v$  выводится при вложенной подстановки формул (5) – (16) в выражение (4). В этом случае распараллеливание достигается за счет одновременного по парного укрупнения разрядов  $a_{jiz}$  ТПЧ по всем вертикалям.

Таким образом, получены системы выражений обеспечивающих распараллеливание процесса трехмерного полиадического кодирования данных на следующих этапах:

1. Параллельного вычисления кода-номера  $N_v$  за счет последовательного по парного укрупнения (получение диполиадических чисел по столбцам) разрядов  $N_j^{(n_{стр}, n_c)}$  по столбцам.

2. Параллельного вычисления кода-номера  $N_j^{(n_{стр}, n_c)}$  для  $j$ -й строки за счет последовательного по парного укрупнения (получение диполиадических чисел по строкам) разрядов  $N_{ji}^{(n_c)}$  по строкам.

3. Распараллеливания для формирования кодов-номеров  $N_{ji}^{(n_c)}$  вертикалей на основе параллельного по парного укрупнения разрядов  $a_{jiz}$  ТПЧ.

4. Распараллеливание за счет одновременного по парного укрупнения разрядов  $a_{jiz}$  ТПЧ по всем вертикалям.

#### 4. Оценка характеристик количества операций для разработанного кодирования.

*Определение количества операций, затрачиваемых на получение кода-номера для всей параллелепipedной структуры данных.* В связи с тем, что распараллеливание для всех четырех этапов организуется за счет по парного укрупнения смежных разрядов, то выберем количество строк  $n_{стр}$ , количество столбцов  $n_{стб}$  и количество сечений  $n_c$  кратными степени 2.

Тогда для формирования кода  $N_v$  на основе последовательно – рекурсивной схемы затрачивается следующее количество операций:

- на формирования кода-номера для отдельной вертикали -  $2n_c$  операций умножения и сложения;
- для получения кода-номера одной плоскости, образованной одним столбцом и  $n_{стр}$  вертикалями по  $n_c$  сечений каждая -  $n_{стр}(2n_c + 2)$  операций умножения и сложения;
- для образования кода-номера  $N_v$  всего параллелепипеда (укрупнение по плоскостям, образованными всеми столбцами) необходимо выполнить  $\mu$  операций умножения и сложения

$$\mu = n_{стб} (n_{стр} (2n_c + 2) + 2). \quad (17)$$

Из анализа формулы (17) вытекает, что количество операций на компактное представление данных равно порядку  $O(n^3)$ . Поэтому для снижения количества операций кодирования необходимо использовать распараллеливающие схемы трехмерной полиадической нумерации.

Определим количество операций для вычисления кода номера  $N_v$  для каждого этапа распараллеливания. В случае распараллеливания по отдельным вертикалям суммарное количество операций умножения и сложения  $\mu_1$  на формирование кода  $N_v$  находится по формуле

$$\mu_1 = n_{\text{стб}} (n_{\text{стр}} (2 \log_2 n_c + 2) + 2), \quad (18)$$

где  $2 \log_2 n_c$  - количество операций сложения и умножения на получение кода-номера отдельной вертикали для параллельного по парного укрупнения разрезов  $a_{jiz}$  ТПЧ.

Из сравнения выражений (17) и (18) видно, что количество операций  $\mu_1$  меньше количества операций  $\mu$  на величину порядка  $\frac{n_c}{\log_2 n_c}$  раз.

Дополнительное сокращение количества операций на сжатие достигается за счет распараллеливания по строкам. Для этого варианта количество  $\mu_2$  операций умножения и сложения равно

$$\mu_2 = n_{\text{стб}} (2 \log_2 n_c n_{\text{стр}} + 2), \quad (19)$$

где  $2 \log_2 n_c n_{\text{стр}}$  - суммарное количество операций умножения и сложения для получения одной плоскости, соответствующей одному столбцу и  $n_{\text{стр}}$  вертикалям по  $n_c$  сечений каждая (этот случай соответствует одновременному параллельному вычислению всех вертикалей в пределах одного столбца).

Сравнение формул (17) и (19) показывает, что количество операций  $\mu$  превышает количество операций  $\mu_2$  на величину равную  $\frac{n_{\text{стр}} (2n_c + 2) + 2}{2 \log_2 n_c n_{\text{стр}} + 2}$ .

Для получения кода  $N_v$  на основе одновременного параллельного вычисления кодов-номеров для всех вертикалей параллелепипеда затрачивается  $\mu_3$  операций умножения и сложения

$$\mu_3 = 2 \log_2 n_c n_{\text{стр}} n_{\text{стб}}. \quad (20)$$

Совместный анализ выражений (17) и (20) показывает, что выигрыш в количестве операций за счет перехода от рекурсивно – последовательного трехмерного полиадического кодирования к кодированию на основе распараллеливания по всем вертикалям параллелепипеда достигает величины равной

$$\frac{\mu}{\mu_3} = \frac{n_{\text{стб}} (n_{\text{стр}} (2n_c + 2) + 2)}{2 \log_2 n_c n_{\text{стр}} n_{\text{стб}}}. \quad (21)$$

Расчеты проведенные по формуле (48) показывают, что для параметров параллелепипеда равных  $n_c = n_{\text{стр}} = n_{\text{стб}} = 4$ ,  $n_c = n_{\text{стр}} = n_{\text{стб}} = 8$  и  $n_c = n_{\text{стр}} = n_{\text{стб}} = 16$  выигрыш соответственно достигает значений 14 раз, 64 раза и 364 раза. Величина выигрыша трехмерного полиадического кодирования относительно двумерного полиадического кодирования [5] находится по формуле

$$\frac{n_c (2 \log_2 n_{\text{стр}} n_{\text{стб}} + 2)}{2 \log_2 n_c n_{\text{стр}} n_{\text{стб}}}. \quad (22)$$

При этом величина выигрыша, полученная на основе расчетов по формуле (22) для  $n_c = n_{\text{стр}} = n_{\text{стб}} = 16$  равна 12 разам.

## 6. Выводы

1. Получены системы выражений обеспечивающих распараллеливание процесса трехмерного полиадического кодирования данных на следующих этапах:

- параллельного вычисления кода-номера  $N_v$  за счет последовательного по парного укрупнения (получение диполиадических чисел по столбцам) разрядов  $N_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)}$  по столбцам;

- параллельного вычисления кода-номера  $N_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)}$  для  $j$ -й строки за счет последовательного по парного укрупнения (получение диполиадических чисел по строкам) разрядов  $N_{ji}^{(n_c)}$  по строкам;

- распараллеливания для формирования кодов-номеров  $N_{ji}^{(n_c)}$  вертикалей на основе параллельного по парного укрупнения разрядов  $a_{jiz}$  ТПЧ;

- распараллеливание за счет одновременного по парного укрупнения разрядов  $a_{jiz}$  ТПЧ по всем вертикалям.

Величина выигрыша по количеству операций на сжатие за счет перехода от рекурсивно – последовательного к параллельному трехмерному полиадическому кодированию для параметров параллелепипеда равных  $n_c = n_{\text{стр}} = n_{\text{стб}} = 4$ ,  $n_c = n_{\text{стр}} = n_{\text{стб}} = 8$  и  $n_c = n_{\text{стр}} = n_{\text{стб}} = 16$  достигает соответственно значений 14 раз, 64 раза и 364 раза.

## Список литературы

1. Зубарев Ю.В., Дворкович В.П. Цифровая обработка телевизионных и компьютерных изображений. – М.: Международный центр научной и технической информации, 1997.– 212 с.
2. Ватолин В.И., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2002. – 384 с.
3. Бондарев В.Н, Трестер Г., Чернега В.С. Цифровая обработка сигналов: методы и средства. – Харьков: Конус, 2001. – 398 с.
4. Королев А.В., Баранник В.В. Метод сокращения избыточности изображений // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2001. – №2. – С. 85- 88.
5. Баранник В.В. Рельефное представление изображений пирамидальным кодированием // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2001. - №1. – С. 17 – 25.
6. Баранник В.В. Метод трехмерного кодирования данных Системы обробки інформації. – Харків: ХВУ. – 2003. – Вип. 1. – С. 42 – 46.

## Локальная неустойчивость диэлектрического отклика кристаллов CdZnTe

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

### Введение

Для кристаллов  $A^{II}B^{VI}$ , выращенных в существенно неравновесных условиях, характерно многообразие типов и масштабов структурных неоднородностей с различной степенью упорядоченности. Их взаимосвязи формируются при росте и эволюционируют под воздействием внешних факторов, являются источником эмерджентных свойств кристаллов, которые проявляются наиболее ярко в экстремальных условиях. При этом упорядоченные совокупности структурных дефектов (границы вюрцит-сфалерит, полисинтетические двойники и т. п.) обуславливают появление высоковольтной фотоЭДС, аномальной фотополяризованности [1], сенсibilизированную фотопроводимость [2] и т.п., а неупорядоченные – зачастую становятся локальными источниками диссипации, неустойчивости и нелинейности характеристик материалов [3-5]. Это указывает на то, что зарождение и эволюция потенциальных источников неустойчивости определяются характером взаимосвязей совокупностей дефектов структуры и их влиянием на энергетический спектр и напряженно-деформированное состояние кристаллов. Однако в настоящее время проблемы выявления таких взаимосвязей связаны с низкой эффективностью известных методов диагностики кристаллических материалов, практическим отсутствием характеристических признаков, критериев и интегральных показателей. В этом отношении перспективны диэлектрические методы исследования, что обусловлено сильным влиянием на диэлектрический отклик перестройки упругой и электрической подсистем в пьезоэлектрических кристаллах  $A^{II}B^{VI}$ . Однако решение задачи выявления потенциальных источников неустойчивости в материалах требует повышения чувствительности диэлектрических методов путем увеличения частоты дискретизации отклика, использования современной элементной базы, а также современных информационных технологий на всех этапах исследования. Поэтому целью данной работы являлась разработка информационно-измерительного комплекса для диэлектрических исследований и изучения устойчивости диэлектрических характеристик кристаллических материалов  $A^{II}B^{VI}$  на низких и инфранизких частотах.

### Результаты эксперимента и обсуждение

Для измерения статической диэлектрической проницаемости широко применяют метод Фурье-спектроскопии [6]. Но он требует сложной математической обработки сигнала отклика материала и не обеспечивает пространственной локальности измерений. Недостатком существующих методов Q-метрии исследования диэлектрического отклика материалов является также их низкая точность. Кроме того, они не обладают широкополосностью. Этим недостаткам в значительной степени лишены методы, основанные на прямом измерении реальной и мнимой частей комплексного сопротивления материалов [7-9]. Существуют интегральные микросхемы для их реализации, например 12-разрядный преобразова-

тель импеданса и анализатор цепей AD5934 (Analog Devices). Однако они не позволяют измерять импеданс более 10 МОм. Этим недостатком лишено разработанное нами устройство для измерения реальной и мнимой частей комплексной диэлектрической проницаемости высокоомных кристаллов  $A^{II}B^{VI}$  (рис. 1).

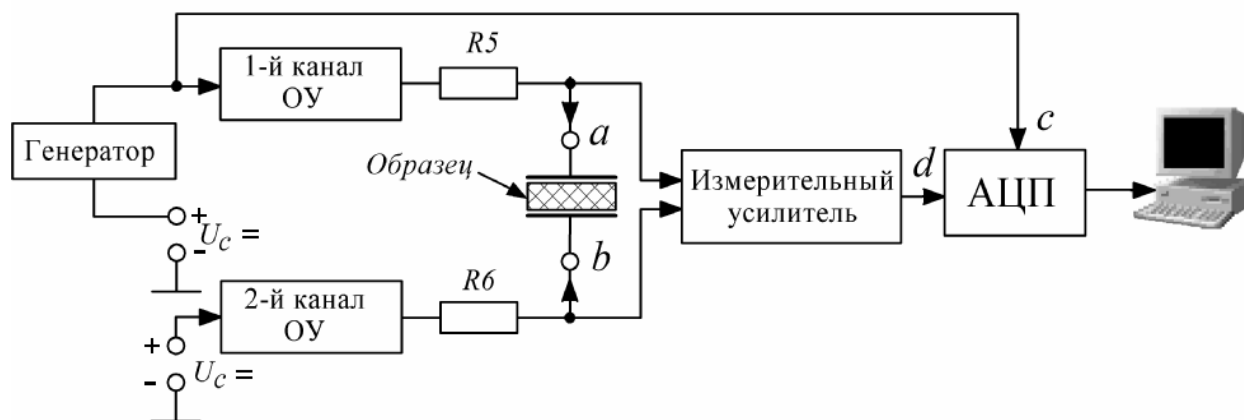


Рис. 1. Функциональная схема измерительного комплекса для исследования диэлектрического отклика кристаллов  $A^{II}B^{VI}$

Сигнал от генератора гармонического сигнала, содержащий постоянную составляющую  $U_c$ , усиливается первым каналом высоковольтного операционного усилителя КР1443УД1 и через резистор  $R5$  подается на измерительную ячейку. Вместе с тем второй канал усилителя предназначен для формирования только постоянного напряжения на резисторе  $R6$ , которое вычитается из выходного напряжения первого канала. Токозадающие резисторы  $R5$  и  $R6$  в совокупности с комплексным сопротивлением измерительной ячейки  $\dot{Z}$  образуют частотно-зависимый делитель напряжения с коэффициентом передачи  $\dot{K}$ , определяемым следующим соотношением:

$$\dot{K} = \frac{\dot{Z}}{\dot{Z} + R5 + R6} = \frac{R_0 - \frac{j}{\omega C_0}}{R_0 - \frac{j}{\omega C_0} + R5 + R6}. \quad (1)$$

В этом выражении  $R_0$  представляет собой реальную часть комплексного сопротивления измерительной ячейки, включающую в себя активное сопротивление образца и сопротивление соединительных проводов, а  $C_0 = C_{обр} + C_2 + C_{пр}$ , где  $C_{обр}$  – емкость образца,  $C_2$  – геометрическая емкость,  $C_{пр}$  – емкость соединительных проводов. Резисторы  $R5$ ,  $R6$  являются токозадающими, и при выполнении условия  $(R5+R6) \gg |\dot{Z}|$  модуль комплексного сопротивления измерительной ячейки определяется законом Ома.



Мнимая часть комплексного сопротивления  $\text{Im}\dot{Z}$  кристалла пропорциональна фазовому сдвигу  $\Delta\varphi$  (2) между входным гармоническим сигналом и откликом образца, измерение которого проводится путем преобразования искомого фазового сдвига  $\Delta\varphi$  в интервал времени  $\Delta t$  с помощью таймеров микроконвертера ADuC814 (Analog Devices). Данный микроконвертер также выполняет аналого-цифровое преобразование измеряемых сигналов и передачу данных в компьютер по интерфейсу RS-232, где с помощью оригинального программного обеспечения вначале определяется фазовый сдвиг (3), а затем емкость (4) и тангенс (5) измерительной ячейки:

$$\Delta\varphi = 2 \cdot \pi \frac{\Delta t}{T}, \quad (2)$$

где  $\Delta t$  – временной сдвиг между входным сигналом и откликом кристалла;  
 $T$  – период счетных импульсов.

$$C_o = \frac{\sqrt{1 - \frac{1}{\text{tg}^2\varphi + 1}}}{\omega \cdot |Z|}; \quad (3)$$

$$\text{tg}\delta = \frac{1}{\omega \cdot C_o \cdot (R5 + R6)}. \quad (4)$$

Измерительный усилитель предназначен для согласования входного сопротивления аналого-цифрового преобразователя микроконтроллера ADuC814 с сопротивлением измерительной ячейки. Низкочастотный преобразователь емкости измерительной ячейки в напряжение (рис. 2) выполнен на базе двух каналов высоковольтного операционного усилителя КР1443УД1. Ко входу первого канала микросхемы DA1, включенного по неинвертирующей схеме, приложен сигнал от генератора гармонического напряжения. Более того, к нему добавляется постоянная составляющая тока, необходимая для смещения рабочей точки ОУ на середину линейного участка его передаточной характеристики. При этом выходное напряжение усилителя также содержит постоянную составляющую величиной 150 В. Именно для ее компенсации предназначен второй канал DA1.2 ОУ, который работает как усилитель постоянного тока и на выходе формирует постоянное напряжение такой же величины. Это напряжение обуславливает ток через резистор R6 и измерительную ячейку в противоположном направлении, вычитающийся из тока, создаваемого первым каналом ОУ. При этом наиболее полная компенсация его постоянной составляющей достигается при равенстве коэффициентов усиления первого и второго каналов операционного усилителя, т. е. при выполнении условия  $\frac{R3}{R1} = \frac{R4}{R2}$ . В результате на измерительной ячейке формируется переменное напряжение, которое через буферные ОУ DA2.1 и DA2.2 подается на дифференциальный усилитель DA2.3. Он, как и буферные каскады, выполнен на операционном усилителе AD820 (Analog Devices), который характеризуется высоким входным сопротивлением ( $10^{13}$  Ом) и низким входным током (0,5 нА). Дифференциальный каскад формирует однополюсное напряжение, которое затем поступает на вход масштабирующего усилителя АЦП, а также подавляет оставшуюся синфазную составляющую. В результате отпадает необходимость того, чтобы выходной

ОУ имел большой коэффициент ослабления синфазной составляющей, и не требуется прецизионного согласования номиналов резисторов в цепи обратной связи.

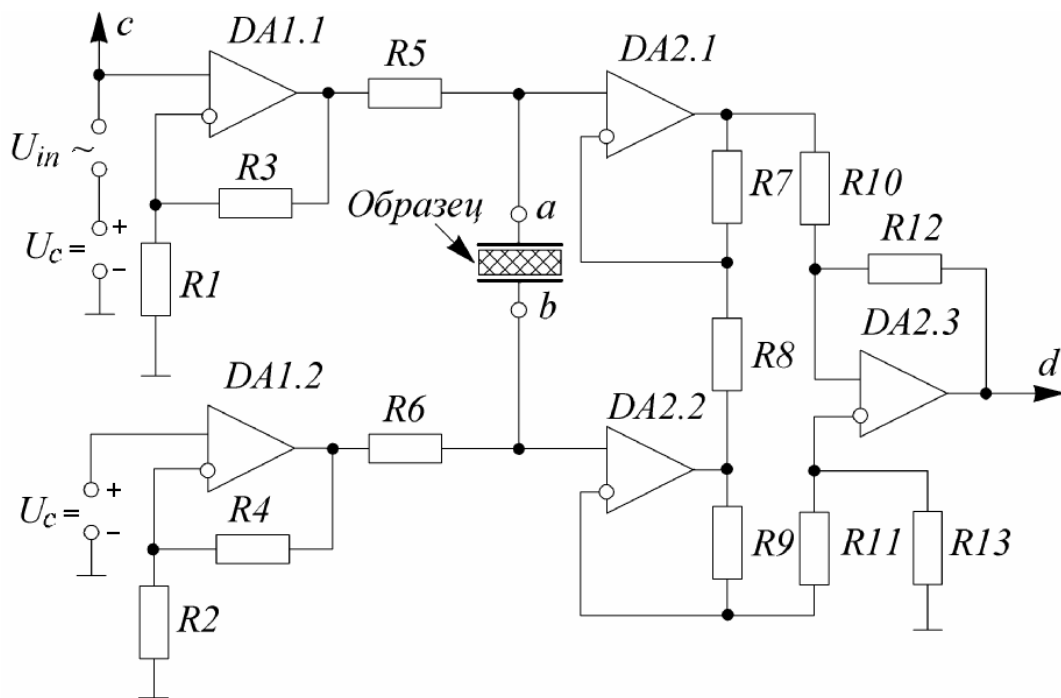


Рис.2. Принципиальная схема низкочастотного преобразователя емкости в электрический сигнал

На описанной установке были проведены исследования зависимостей диэлектрических параметров кристаллов CdZnTe от длины волны и интенсивности фотовозбуждения в диапазоне частот 0,1...1 кГц. В результате было установлено, что темновые значения реальной  $\varepsilon'$  и мнимой  $\varepsilon''$  частей комплексной диэлектрической проницаемости составляют  $\varepsilon' = 18...22$  и  $\varepsilon'' = 1...3$ . Эти значения хорошо согласуются с данными, полученными с помощью стандартного измерительного моста переменного тока RLC-819 [10, 11]. В результате исследований было установлено, что для образцов, содержащих разнообразные границы, создаваемые двумерными дефектами структуры (двойниками, блоками, полосами скольжения и т.п.), спектры  $\varepsilon' = f(\lambda)$  и  $\varepsilon'' = f(\lambda)$ , а также построенные на их основе диаграммы  $\varepsilon'' = f(\varepsilon')$ , отличаются друг от друга и зависят от направления сканирования по шкале длин волн. Кроме того, они также зависят от скорости изменения длин волн и фотоактивной или электрической предыстории, т.е. от времени пребывания образцов до измерения на свету или в электрическом поле.

Выявленные индивидуальные особенности спектров диэлектрического фототоклика естественно связать с особенностями эволюцией характера взаимодействия структурных неоднородностей различного масштаба под влиянием внешних факторов. На это также указывает зависимость спектров  $\varepsilon' = f(\lambda)$  и  $\varepsilon'' = f(\lambda)$  от времени их сканирования, т.е. от скорости изменения длины волны, а также характера изменения кинетики фототока с увеличением интенсивности фо-

товозбуждения. При циклическом сканировании на некоторых образцах была выявлена плохая воспроизводимость кривых  $\varepsilon' = f(\lambda)$  и  $\varepsilon'' = f(\lambda)$  в некоторых диапазонах длин волн. Она сопровождается возникновением изломов на спектральных зависимостях реальной и мнимой частей комплексной диэлектрической проницаемости, установить четкие границы которых в большинстве случаев оказалось затруднительным. Однако они становятся вполне различимыми, если провести компьютерную обработку результатов измерений методом численного дифференцирования, а затем представить исходные зависимости в виде диаграмм  $d\varepsilon'/d\lambda = f(\varepsilon')$  и  $d\varepsilon''/d\lambda = f(\varepsilon'')$  (рис. 3).

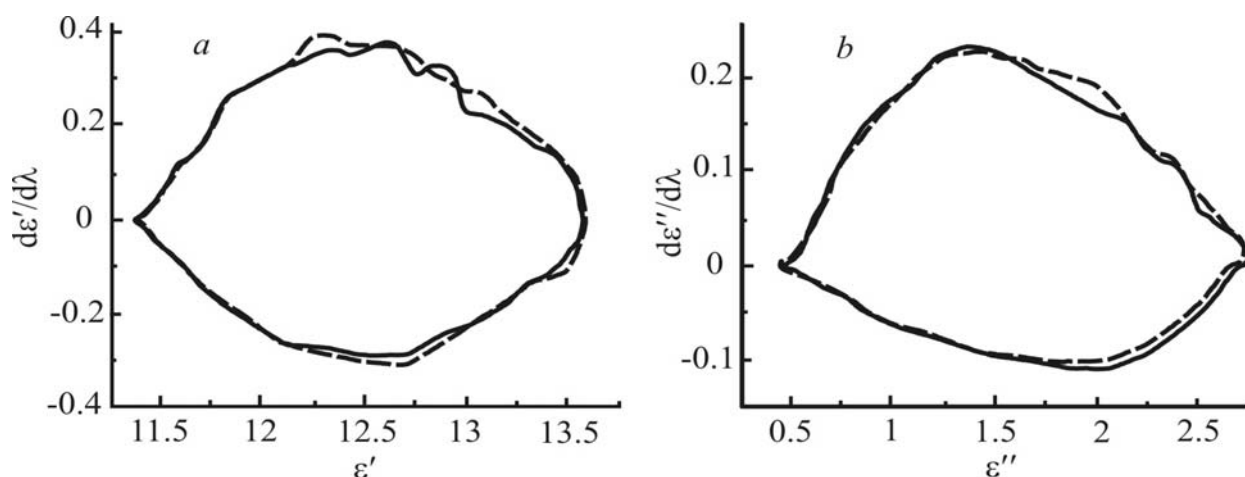


Рис. 3. Диаграммы  $d\varepsilon'/d\lambda = f(\varepsilon')$  (a) и  $d\varepsilon''/d\lambda = f(\varepsilon'')$  (b) кристалла CdZnTe, содержащие разномасштабные структурные неоднородности. Сплошная линия – сканирование спектра при увеличении длины волны, штриховая – при уменьшении длины волны

Такие диаграммы представляют собой спектры реальной и мнимой частей комплексной диэлектрической проницаемости в параметрическом виде и содержат последовательность дугообразных участков. На диаграммах  $d\varepsilon'/d\lambda = f(\varepsilon')$  и  $d\varepsilon''/d\lambda = f(\varepsilon'')$ , полученных при последовательном измерении спектров одного и того же образца в одинаковых условиях, отчетливо выявляются границы спектральных участков неустойчивого фотоотклика, на которых наблюдается плохая воспроизводимость, а также все особенности отклика кристалла, связанные с изменением скорости сканирования и фотоактивной или электрической предыстории. Действительно, с увеличением скорости сканирования длин волн на одних образцах было обнаружено увеличением числа дугообразных участков, а на других – наоборот, их уменьшение. Это подтверждает предположение об изменении характера взаимодействия структурных неоднородностей. Поскольку в первом случае, очевидно, начинают доминировать их крупномасштабные совокупности, а во втором – мелкомасштабные.

Следует отметить, однако, что в этом случае возникает неоднозначность при классификации кристаллов по уровню устойчивости, поскольку диаграммы

$d\varepsilon'/d\lambda = f(\varepsilon')$  и  $d\varepsilon''/d\lambda = f(\varepsilon'')$  с разных сторон характеризуют диэлектрический отклик сенсора.

Действительно, оказалось, что неустойчивости его поляризационной и диссипативной составляющих могут проявляться в различных диапазонах длин волн. Поэтому для исследования и анализа устойчивости фотоотклика конкретного детектора к внешним факторам нами предложены диаграммы  $d\varepsilon''/d\lambda = f(d\varepsilon'/d\lambda)$  (рис. 4).

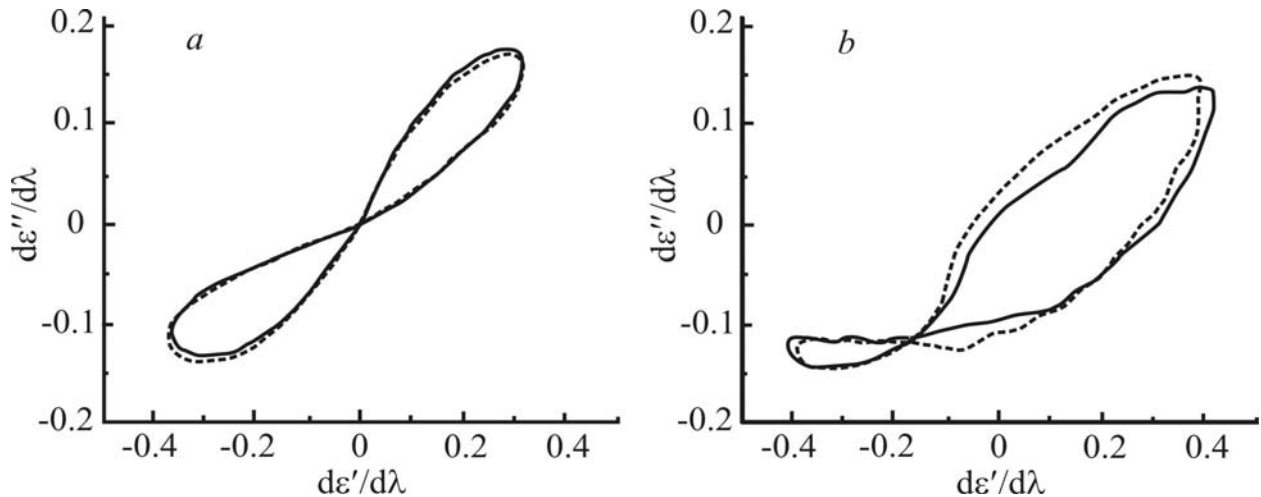


Рис. 4. Диаграммы  $d\varepsilon''/d\lambda = f(d\varepsilon'/d\lambda)$  кристалла CdZnTe: *a* – однородный кристалл; *b* – кристалл, содержащий разномасштабные структурные неоднородности различного типа и масштаба. Сплошная линия – сканирование спектра в направлении увеличения длины волн, штриховая – при уменьшении длины волн

Совокупности таких диаграмм, полученных при прямом и обратном направлении сканирования спектра, позволяют отчетливо выявлять границы нестабильных участков. Оказалось, что для наиболее однородных образцов диаграммы  $d\varepsilon''/d\lambda = f(d\varepsilon'/d\lambda)$  симметричны относительно начала координат, площади их петлеобразных участков практически одинаковы (рис. 4, *a*) и они не содержат неустойчивых областей. Увеличение же интенсивности излучения приводит к увеличению площадей обоих петлеобразных участков, но их симметрия не нарушается. В то же время для кристаллов, содержащих разнообразные границы, создаваемые двумерными дефектами структуры (двойниками, блоками, полосами скольжения и т.п.) характерна асимметрия этих диаграмм относительно начала координат (рис. 4, *b*). При этом увеличение интенсивности излучения ведет не только к возрастанию числа нестабильных участков, но и к смещению точки деления диаграмм  $d\varepsilon''/d\lambda = f(d\varepsilon'/d\lambda)$  на два петлеобразных участка. Это сопровождается увеличением площади верхнего и ее уменьшением для нижнего петлеобразного участка.

Кроме того, экспериментально было установлено, что предложенные диаграммы очень чувствительны к изменению температуры. Действительно, увеличение температуры приводит к повороту диаграмм  $d\varepsilon''/d\lambda = f(d\varepsilon'/d\lambda)$  по часовой стрелке на определенный угол, который зависит от температуры. При этом проис-

ходит также перераспределение площади диаграммы между ее нижним и верхним петлеобразными участками.

### Заключение

Таким образом, в работе показано, что диаграммы  $d\varepsilon''/d\lambda = f(d\varepsilon'/d\lambda)$ , построенные на основе спектральных зависимостей реальной и мнимой частей комплексной диэлектрической проницаемости, отличаются площадью, числом дугообразных участков и числом спектрально нестабильных участков. Анализ изменений их вида в процессе эксплуатации фотоприемников на основе кристаллов CdZnTe позволяет осуществлять контроль обратимых и необратимых изменений функциональных характеристик сенсоров, так как диаграммы  $d\varepsilon''/d\lambda = f(d\varepsilon'/d\lambda)$  дают возможность: а) четко определять спектральные границы неустойчивости диэлектрического отклика; б) количественно оценивать скорость необратимых изменений по соотношению площадей соответствующих петлеобразных участков диаграмм; в) выявлять индивидуальные особенности диэлектрического отклика.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда фундаментальных исследований Украины.

### Список литературы

1. Мигаль В.П., Рвачев А.Л., Чугай О.Н. Релаксационная поляризация в кристаллах  $ZnS_xSe_x$  при фотовозбуждении // Физика и техника полупроводников.– 1985.– Т.19.- №8. – С.1517-1519.
2. Gavrikova I.G., Mygal V.P., Rvachev A.L. Optical Sensitization of the Photoconductivity Bands // Phys. Stat. Sol.(a). – 976.- №37.- P. 21-24.
3. Мигаль В.П., Фомин А.С. Многомасштабность спектрального и пространственного фотооткликов кристаллов CdZnTe // Письма в ЖТФ. – 2006. – Т.32. – №11. – С. 44-51.
4. Мигаль В.П., Клименко И.А., Фомин А.С. Динамические состояния полупроводниковых сенсоров // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – X. 2004. – Вып. 23. – С. 63-66.
5. Устойчивость фотоотклика кристаллов  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  / В.К. Комарь, В.П. Мигаль, С.В. Сулима, А.С. Фомин // Физика и техника полупроводников. – 2006. – Т.40. – Вып. 2. – С. 133-135.
6. Эме Ф. Диэлектрические измерения. – М.: Химия, 1967. – 223 с.
7. Белов А.А., Хвостиков В.А. Широкополосный диэлектрический спектрометр // Приборы и техника эксперимента. – 1984. – № 4. – С. 123-124.
8. Киселев В. И., Султанаев Р. М. Устройство для измерения диэлектрических свойств на низких и инфранизких частотах // Приборы и техника эксперимента. – 1991. – № 2. – С. 190-193.
9. Киселев В. И., Султанаев Р. М. Устройство для определения диэлектрических параметров материалов на низких и высоких частотах // Приборы и техника эксперимента. – 1991. – № 3. – С. 172-176.
10. Клименко И. А., Мигаль В. П. Обобщенный характер диэлектрического отклика кристаллов CdTe, выращенных из расплава // Физика и техника полупроводников. – 2002. – Т. 36. – Вып. №4. – С. 397-400.
11. Влияние упругих полей ростовых дефектов на фотодиэлектрический отклик кристаллов  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  / И.А. Клименко, В.К. Комарь, В.П. Мигаль, Д.П. Наливайко // Физика и техника полупроводников. – 2001. – Т. 35. – №2. – С. 139-142.

## Рефераты

УДК 533.68

Метод определения геометрических параметров, обеспечивающих заданные летные характеристики дозвукового транспортного самолета / Т.А. Гамануха, А.Г. Гребеников, В.В. Тюрев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2007. – Вып. 36. – С. 5 – 19.

Разработан метод определения геометрических параметров и аэродинамической компоновки самолета, обеспечивающих его заданные летные характеристики. Предложены рекомендации по достижению заданных летных характеристик самолета путем изменения его геометрических параметров.

Ил. 5. Библиогр.: 13 назв.

Розроблено метод визначення геометричних параметрів та аеродинамічної компоновки літака, які забезпечують його задані льотні характеристики. Запропоновано рекомендації щодо досягнення заданих льотних характеристик шляхом зміни його геометричних параметрів.

Іл. 5. Бібліогр.: 13 назв

УДК 621.793.7

Применение дробеударной обработки в авиационной промышленности / Б. В. Лупкин, С. Д. Младинов, А. И. Лагутин, В. А. Никитенко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2007. – Вып. 36. – С. 20 – 28.

В настоящее время широкое применение в авиастроении находит дробеударная обработка деталей планера современных самолётов в разнообразных технологических процессах их формообразования и упрочнения. В статье представлен анализ аналитических и экспериментальных работ в области дробеударной обработки, а также оборудования для практической реализации дробеударной обработки при изготовлении монолитных панелей крыла современных самолётов.

Ил. 6. Библиогр.: 8 назв.

На цей час широке застосування в авіабудуванні знаходить дробеударна обробка деталей планера сучасних літаків у різноманітних технологічних процесах їх формоутворення та зміцнення. У статті подано аналіз аналітичних та експериментальних робіт в області дробоударної обробки, а також обладнання для практичної реалізації дробоударної обробки при виготовленні монолітних панелей крила сучасних літаків.

Іл. 6. Бібліогр.: 8 назв

УДК 621.981

Зносостійкість трибологічних систем типу "конструкційна сталь – кольоровий сплав" / О. Г. Приймаков, Ю. О. Градиський, Г. О. Приймаков // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2007. – Вып. 36. – С. 29 – 38.

Исследованы основные закономерности интенсивности изнашивания конструкционных пар реальных двигателей внутреннего сгорания, установлена связь интенсивности изнашивания с изменением напряженно-деформированного состояния пар трения. Доказана целесообразность применения метода электронно-акустической эмиссии для диагностики любых триботехнических систем.

Ил. 11. Табл. 2. Библиогр.: 10 назв.

Досліджено основні закономірності інтенсивності зношування конструкційних пар реальних двигунів внутрішнього спалювання, встановлено зв'язок інтенсивності зношування зі зміною напружено-деформованого стану пар тертя. Доведено доцільність застосування методу електронно-акустичної емісії для діагностики довільних триботехнічних систем.

Іл. 11. Табл. 2. Бібліогр.: 10 назв

УДК 629.7.01

Метод анализа влияния последовательного применения раскатки и барьерного обжатия пластин с тремя отверстиями на характеристики локального НДС при растяжении / А.Г. Гребеников, С.П. Светличный, В.А. Матвиенко, А. М. Гуменный // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2007. – Вып. 36. – С. 39 – 48.

Разработан метод анализа влияния последовательного применения раскатки и барьерного обжатия пластин с тремя отверстиями на характеристики локального НДС, позволяющий прогнозировать зоны вероятного усталостного разрушения.

Іл. 13. Бібліогр.: 5 назв.

Розроблено метод аналізу впливу послідовного застосування розкатки та бар'єрного обтиснення пластин із трьома отворами на характеристики локального НДС, що дозволяє прогнозувати зони імовірного утомного руйнування.

Іл. 13. Бібліогр.: 5 назв

УДК 535.241.13:534

Элементы и устройства функциональной микроэлектроники / А. В. Бородин, В. А. Палагин, В. П. Поляков, П. Ф. Поляков, В. А. Хорунжий // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2007. – Вып. 36. – С. 49 – 59.

Исследованы характеристики элементов и устройств функциональной микроэлектроники.

Іл. 7. Бібліогр.: 6 назв.

Досліджено характеристики елементів і пристроїв функціональної мікроелектроніки.

Іл. 7. Бібліогр.: 6 назв

УДК 623.4.002.8

Численное моделирование напряженно-деформируемого состояния в месте крепления пули в гильзе патрона / Н. В. Нечипорук, С. А. Вамболь, Е. А. Полищук // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2007. – Вып. 36. – С. 60 – 69.

Предложен алгоритм расчета технологических параметров для демонтажа элементов снаряжения авиационных боеприпасов, учитывающий конструктивные особенности образцов патронов, подвергающихся утилизации, и ряд технологических факторов, имеющих отношение к условиям обжима и крепления их компонентов. При этом также учтены физико-механические характеристики материалов, применяемых для изготовления элементов снаряжения унитарных патронов.

Іл. 13. Бібліогр.: 10 назв.

Запропоновано алгоритм розрахунку технологічних параметрів для демонтажу елементів спорядження авіаційних боеприпасів, який враховує

конструктивні властивості зразків патронів, що підлягають утилізації, та ряд технологічних факторів, які мають відношення до умов обтиснення і кріплення їхніх компонентів. При цьому також враховано фізико-механічні характеристики матеріалів, які застосовуються для виготовлення елементів спорядження унітарних патронів.

Іл. 13. Бібліогр.: 10 назв

#### УДК 629.7.016.7

Численное моделирование обтекания вертолёта одновинтовой схемы при его перемещении вправо / А. И. Гладышев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2007. – Вып. 36. – С. 70 – 78.

Проведено численне моделювання з допомогою методу дискретних вихрей обтекания компоновки одновинтового вертольота, включающей в себя несущий винт (НВ), рулевой винт (РВ) и киль. Исследованы зависимости тяги РВ и суммарной поперечной силы РВ и киля от скорости перемещения вертольота вправо с учетом взаимодействия НВ, РВ и киля. Проанализировано влияние расположения РВ относительно киля, а также направления вращения РВ на его эффективность и на условия возникновения режима вихревого кольца РВ.

Іл. 6. Библиогр.: 15 назв.

Проведено чисельне моделювання за допомогою методу дискретних вихорів обтікання компонування одновинтового вертольота, що включає несучий гвинт (НГ), рульовий гвинт (РГ) і кіля. Досліджено залежності тяги РГ і сумарної поперечної сили РГ і киля від швидкості переміщення вертольота праворуч з урахуванням взаємодії НГ, РГ і киля. Проаналізовано вплив розташування РГ відносно киля, а також напрямку обертання РГ на його ефективність і на умови виникнення режиму вихрового кільця РГ.

Іл. 6. Бібліогр.: 15 назв

#### УДК 629.735.33

Анализ эффективности преодоления системы ПВО противника / Е.И. Рыженко, А.Л. Ярмак // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 36. – С. 79 – 84.

Предложено алгоритмическое и программное обеспечение определения эффективности преодоления системы противоздушной обороны (ПВО) противника в зависимости от тактико-технических характеристик средств ПВО, их численности, размещения и способа действия, а также тактико-технических характеристик летательного аппарата, профиля и маршрута его полета, применения мер противодействия ПВО (маневрирования, действий по огневому подавлению средств ПВО и др.). Оценка эффективности базируется на использовании количественного показателя – вероятности преодоления ПВО одним ЛА.

Іл. 2. Библиогр.: 2 назв.

Запропоновано алгоритмічне та програмне забезпечення визначення ефективності подолання системи протиповітряної оборони (ПВО) супротивника залежно від тактико-технічних характеристик засобів ПВО, їхньої кількості, розміщення, способу дії, а також тактико-технічних характеристик літального апарата, профілю та маршруту його польоту, використання засобів протидії ПВО (маневрування, генерації радіолокаційних поміх, дій з вогневого подолання засобів ПВО тощо). Оцінка ефективності базується на використанні кількісного показника – вірогідності подолання ПВО одним ЛА.

Іл. 2. Бібліогр.: 2 назви



УДК 629.12: 678.519.92

Классификация технологических дефектов сотовых заполнителей из полимерной бумаги и пути ее реализации для повышения их качества / М. В. Сливинский // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ». – 2007. – Вып. 36. – С. 85 – 99.

Разработана классификация технологических дефектов сотовых заполнителей из полимерной бумаги типа «Номекс». Обсуждены пути реализации классификации для повышения эксплуатационных характеристик заполнителя.

Ил. 8. Библиогр.: 15 назв.

Розроблено класифікацію технологічних дефектів стільникових заповнювачів з полімерного паперу типу «Номекс». Обговорено шляхи реалізації класифікації для підвищення експлуатаційних характеристик заповнювача.

Іл. 8. Бібліогр.: 15 назв

УДК 658.512.4

Оценка технологичности деталей в САПР ТП / М. С. Мельников // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ». – 2007. – Вып. 36. – С. 100 – 104.

Рассмотрена автоматизация оценки технологичности детали в системе автоматизированного проектирования технологических процессов на примере деталей авиационного трубопровода. Приведен вариант оценки общей технологичности, учитывающей качественную и количественную технологичность.

Библиогр.: 3 назв.

Розглянуто питання автоматизації оцінки технологічності деталі у системі автоматизованого проектування технологічних процесів на прикладі деталей авіаційного трубопроводу. Наведено варіант оцінки загальної технологічності, яка враховує якість та кількісну технологічність.

Бібліогр.: 3 назви

УДК 658.012.23+658.114.5

Метод построения системных моделей мультипроекта инвестиционно-строительной корпорации / И.Б. Некрасов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2007. – Вып. 36. – С. 105 – 117.

Статья посвящена разработке метода построения системных структурных и событийных моделей мультипроекта инвестиционно-строительной корпорации. Предложено два варианта построения: наглядное – используя аппарат теории графов, и формализованное – используя модифицированный язык регулярных схем алгоритмов (РСА) с построением на базе его регулярных схем системных моделей (РССМ). Для представления мультипроекта предложена декомпозиция по пяти уровням иерархии.

Ил. 8. Библиогр.: 21 назв.

Стаття присвячена розробці методу побудови системних структурних і подійних моделей мультипроекту інвестиційно-будівельної корпорації. Запропоновано два варіанти побудови: наочне – використовуючи апарат теорії графів, і формалізоване – використовуючи модифіковану мову регулярних схем алгоритмів (РСА) з побудовою на її базі регулярних схем системних моделей (РССМ). Для подання мультипроекту запропоновано декомпозицію по п'яти рівнях ієрархії.

Іл. 8. Бібліогр.: 21 назва

УДК 519.6:539.2

Имитационное моделирование 2D-фильтрации на основе событийного подхода / Ю.К. Чернышев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2007. – Вып. 36. – С. 118 – 122.

Предложена модификация модели твердых сфер, позволяющая описывать связанные конфигурации модельных частиц. Рассмотрено двухфазное течение, причем одна из фаз представлена дискретными включениями. Приведена методика нахождения зависимости пропускной способности многослойного фильтра от времени. Дан пример дополнительных возможностей предложенного метода. С этой целью рассмотрена модель селевого потока в канале с препятствиями

Ил. 3. Библиогр.: 8 назв.

Запропоновано модифікацію моделі твердих сфер, яка дозволяє описувати зв'язані конфігурації модельних частинок. Розглянуто двофазну течію, причому одну з фаз подано дискретними включеннями. Наведено методику знаходження залежності пропускної здатності багатослового фільтру від часу. Дано приклад додаткових можливостей запропонованого методу. З цією метою розглянуто модель сільового потоку в каналі з перешкодами.

Іл. 3. Бібліогр.: 8 назв

УДК 340.6+681.327+681.5.015

Моделирование электоральных процессов на основе концепции клеточных автоматов / Д. В. Ландэ, В. Н. Фурашев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2007. – Вып. 36. – С. 123 – 128.

Описана модель распределения предпочтений (симпатий) избирателей, построенная на основе концепции клеточных автоматов, которая позволяет описывать сложные социально-психологические явления и, безусловно, является упрощенной, однако достаточно точно отображает электоральные процессы и позволяет делать вполне реалистичные прогнозы на качественном уровне. Представленный авторами механизм моделирования социальной самоорганизации может рассматриваться как дополнение к традиционным моделям динамики сложных нелинейных систем.

Ил. 3. Библиогр.: 9 назв.

Описано модель розподілу уподобань (симпатій) виборців, побудовану на основі концепції кліткових автоматів, що дозволяє описувати складні соціально-психологічні явища і безумовно, є спрощеною, але такою, що дозволяє досить точно описувати електоральні процеси і робити достатньо реалістичні прогнози на якісному рівні. Поданий авторами механізм моделювання соціальної самоорганізації можна розглядати як доповнення до традиційних моделей динаміки складних нелінійних систем.

Іл. 3. Бібліогр.: 9 назв

УДК 519.95

Позиционная игра преследования как модель конкуренции / И. В. Чумаченко, А. А. Лысенко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2007. – Вып. 36. – С. 129 – 134.

Рассмотрена многошаговая игра преследования, моделирующая конкурентную борьбу двух производителей однотипной продукции, один из которых стремится как можно дольше сохранять свое преимущество, а другой как – можно быстрее ликвидировать свое отставание.

Ил. 3. Библиогр.: 1 назв.

Розглянуто багатокрокову гру переслідування, що моделює конкурентну боротьбу двох виробників однотипної продукції, один з яких намагається якомога довше зберігати свою перевагу, а інший – якомога швидше ліквідувати своє відставання.

Іл. 3. Бібліогр.: 1 назва

УДК 338.2.65.290-2

Модель формирования структуры технологической подготовки производства в проектах создания наукоемкой техники / Д. В. Божко, Е. А. Дружинин, О. К. Погудина // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2007. – Вып. 36. – С. 135 – 138.

Предложена модель выбора технологии создания сложной техники путем построения системы требований, предъявляемых к продукту проекта, и последующего рассмотрения взаимосвязи заданных требований с параметрами технологической системы.

Іл. 2. Библиогр.: 7 назв.

Запропоновано модель вибору технології створення складної техніки шляхом формулювання системи вимог стосовно продукту проекту і подальшого аналізу взаємозв'язку заданих вимог з параметрами технологічної системи.

Іл. 2. Бібліогр.: 7 назв

УДК 629.735.015.3(045)

Генераторы вихрей, оптимизация геометрических размеров / А.Ф. Махмуд // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2007. – Вып. 36. – С. 139 – 144.

Рассмотрены вопросы параметрических исследований влияния геометрических характеристик генераторов вихрей на толщину пограничного слоя и коэффициент сопротивления плоской пластины.

Іл. 9. Библиогр.: 2 назв.

Розглянуто питання параметричних досліджень впливу геометричних характеристик генераторів вихорів на товщину прилежового шару та коефіцієнт опору плоскій пластині.

Іл. 9. Бібліогр.: 2 назви

УДК 658.012.23

Контроль изменения уровня рисков в ходе выполнения проекта / М. А. Латкин, А. В. Ефремова // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2007. – Вып. 36. – С. 145 – 150.

Рассмотрены вопросы организации мониторинга рисков в ходе выполнения проектов. Предложена модель оценки уровня проектных рисков для последующей разработки мероприятий по реагированию на существенные риски проекта. Сформирована единая информационная модель структурирования и анализа проектных рисков предприятия.

Іл. 4. Библиогр.: 6 назв.

Розглянуто питання організації моніторингу ризиків у ході виконання проектів. Запропоновано модель оцінки рівня проектних ризиків для подальшої розробки заходів реагування на суттєві ризики проекту. Сформовано єдину інформаційну модель структуривання і аналізу проектних ризиків підприємства.

Іл. 4. Бібліогр.: 6 назв

УДК 621.327

Параллельная реализация трехмерного полиадического кодирования видеоданных / В.В. Баранник, С.В. Карпенко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2007. – Вып. 36. – С. 151 –158.

Изложена организация компактного представления данных на основе распараллеливающегося базиса трехмерного полиадического кодирования. Показано, что за счет проведения параллельных вычислений достигается выигрыш по времени кодирования относительно последовательного кодирования.

Библиогр.: 6 назв.

Викладено організацію компактного подання даних на основі рівнобіжного базису тривимірного поліадичного кодування. Показано, що за рахунок проведення паралельних обчислень досягається вигреш за часом кодування відносно послідовного кодування.

Бібліогр.: 6 назв

УДК 621.383.52

Локальная неустойчивость диэлектрического отклика кристаллов CdZnTe / А. В. Бут, В. П. Мигаль, А. С. Фомин // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2007. – Вып. 36. – С. 159 – 165.

Показано, что диаграммы  $d\varepsilon''/d\lambda = f(d\varepsilon'/d\lambda)$ , построенные на основе спектральных зависимостей реальной и мнимой частей комплексной диэлектрической проницаемости, раскрывают характер эволюции взаимосвязей разномасштабных структурных неоднородностей сенсорных материалов при внешних воздействиях. Предложено использовать совокупности таких диаграмм для контроля обратимых и необратимых изменений функциональных характеристик сенсоров, возникающих в процессе их эксплуатации.

Ил. 4. Библиогр.: 11 назв.

Показано, що діаграми  $d\varepsilon''/d\lambda = f(d\varepsilon'/d\lambda)$ , побудовані на основі спектральних залежностей реальної і уявної частин комплексної діелектричної проникності, розкривають характер еволюції взаємозв'язків різномасштабних структурних неоднорідностей сенсорних матеріалів при зовнішніх впливах. Запропоновано використовувати сукупності таких діаграм для контролю оборотних і необоротних змін функціональних характеристик сенсоров, які виникають у процесі їхньої експлуатації.

Іл. 4. Бібліогр.: 11 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 36**

**Редакторы: Л.А. Кузьменко, Т.Г. Кардаш**

**Компьютерная верстка: Н. В. Ефремова**

**Подписано в печать 21.09.2007. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бум. офсетная.**

**Усл. печ. л. 9,7. Уч.-изд. л. 10,88. 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**