

УДК 629.735.083.2/03.004.64.017.1(45)

В.В. Павлов, А.В. Скрипец, С.В. Павлова

АНАЛИЗ ПРИЧИН СИСТЕМНЫХ ОТКАЗОВ НА АВИАТРАНСПОРТЕ

Концепция целостности систем позволяет вскрыть причины распада организованности транспортных потоков, приводящих к катастрофическим явлениям на транспорте. Показывается, что источником данного явления является "синдром экономической выгоды"

Применен системный анализ надежности функционирования сложных систем на примере анализа авиационных эргатических систем в реальных условиях эксплуатации. Госстандарт Украины (ДСТУ 3589-97) определяет понятие «надежность функционирования эргатической системы» как свойство эргатической системы сохранять во времени свои показатели (отказобезопасность, отказоустойчивость) и способность выполнять функции в установленных рамках работы и ожидаемых или экстремальных условиях эксплуатации. Нами рассматриваются не любые эргатические системы, а те из них, которые выполняют функции управления объектом и процессами его функционирования в целом. В соответствии с ДСТУ 3589-97 такие системы определены как «функциональные», а «отказ функциональной системы» как такое ее состояние, при котором она полностью или частично не выполняет установленных нормативной и (или) конструктивной документацией функций в ожидаемых и экстремальных условиях эксплуатации воздушного судна (ВС).

Концептуальной основой исследования системных свойств в теории систем выступает понятие целостной функциональной системы (ЦФ).

Целостная функциональная система определяется как устойчиво существующее в изменчивой среде целостное образование совокупности агрегатов, в целом реализующее не только циклический замкнутый кругооборот обменных процессов, но и процесс обеспечения необходимых для этого уровней функциональных параметров всех составляющих ЦФС агрегатов.

Это означает, что если мы хотим проанализировать под системным углом зрения причины возникновения отказов функциональных систем, то мы должны в первую очередь суметь выделить из всей совокупности явлений, сопровождающих авиатранспортный процесс, по крайней мере минимально возможную целостную функциональную систему. Естественно, что такая система «будет обладать самым коротким циклом обмена веществ». И из ее анализа могут быть выделены наиболее существенные причины возникновения «системных отказов», «агрегатных отказов» и их взаимосвязь.

В целостной системе изменения функционального состояния, возникшие в каком-либо из ее агрегатов, неизбежно скажутся на функционировании не только других частей системы, но и даже на функционировании всей системы в целом.

Данное явление и требует, чтобы при исследовании феноменов системного отказа был применен системный подход, при котором функционирование каждой части целостной системы должно рассматриваться с точки зрения цели, стоящей перед всей системой в целом.

При исследовании отказов для авиатранспортной системы в роли такой минимальной целостной системы выступает система, состоящая из компонентов: «хозяин» авиатранспортной фирмы (олицетворяющий экономическую службу фирмы); авиационные

подразделения (самолеты и экипажи); среда извлечения прибыли от осуществления авиаперевозок (рис. 1).

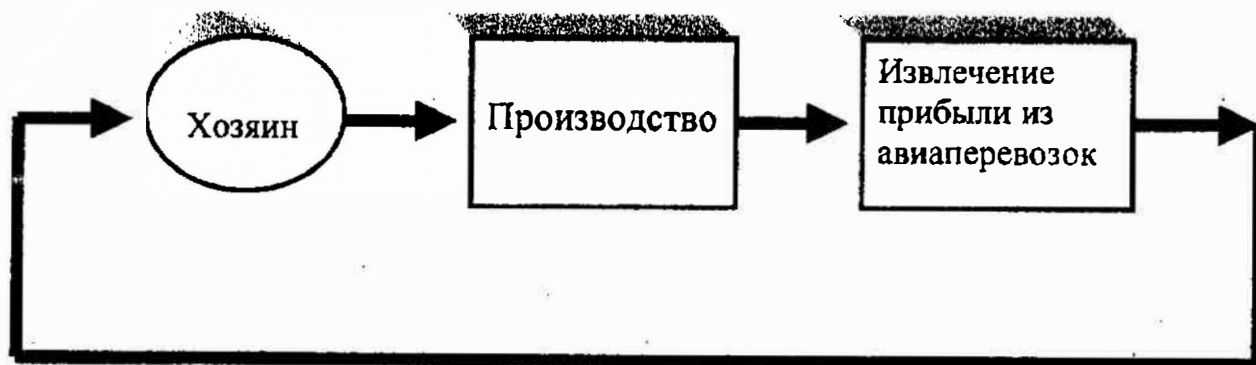


Рис. 1. Минимально возможный функциональный контур (система) устойчиво существующая на $t \in \Delta T$, $x \in Q_x$ и обладающий свойством самообеспечения

Ясно, что каждый из данных компонентов функционирует в своей среде – экономической, производственной и сырьевой. И в этом смысле каждое из таких специализированных средств обладает определенным, но ограниченным, ресурсом (рис.2).

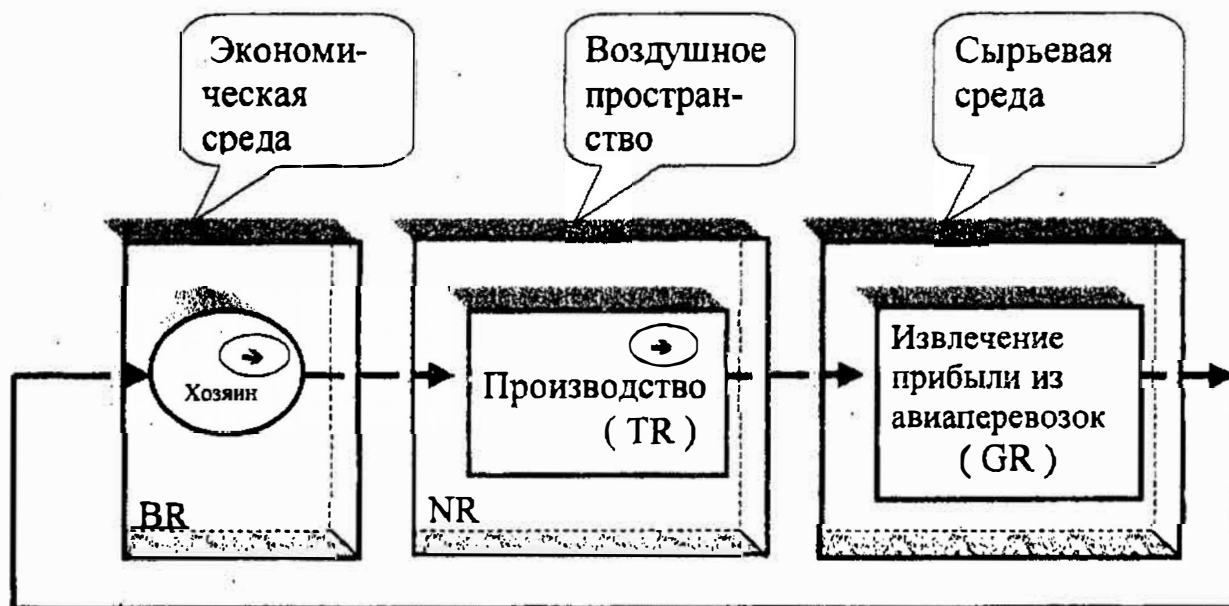


Рис. 2. Структура ресурсов системы:
BR – бизнес ресурс; *NR* – навигационный ресурс;
TR – технологический ресурс (функциональный);
GR – товарный ресурс

В методологическом плане вначале исследуется так называемое изолированное функциональное предприятие, осуществляющее «условно монопольные перевозки» и монопольно извлекающее прибыль от монопольного использования товарного ресурса региона. Введем в рассмотрение понятие «функционального ресурса» авиатранспортного средства. Известно, что не все возможности, заложенные в конструкции ЛА, полностью используются в обычных режимах эксплуатации транспортного средства. В общем случае

любой ЛА, любой производственный процесс описываются нелинейной математической моделью во всей области существования данного объекта. Однако, в силу методологических трудностей, создаются технологические схемы управления в значительно меньших диапазонах. Например, для таких объектов (см. рис. 3) - это $\Delta Q_{x \text{ комп}} \subset Q_x$ (Q_x - пространство состояний объекта ЛА, $\Delta Q_{x \text{ комп}}$ - эксплуатационная область управления

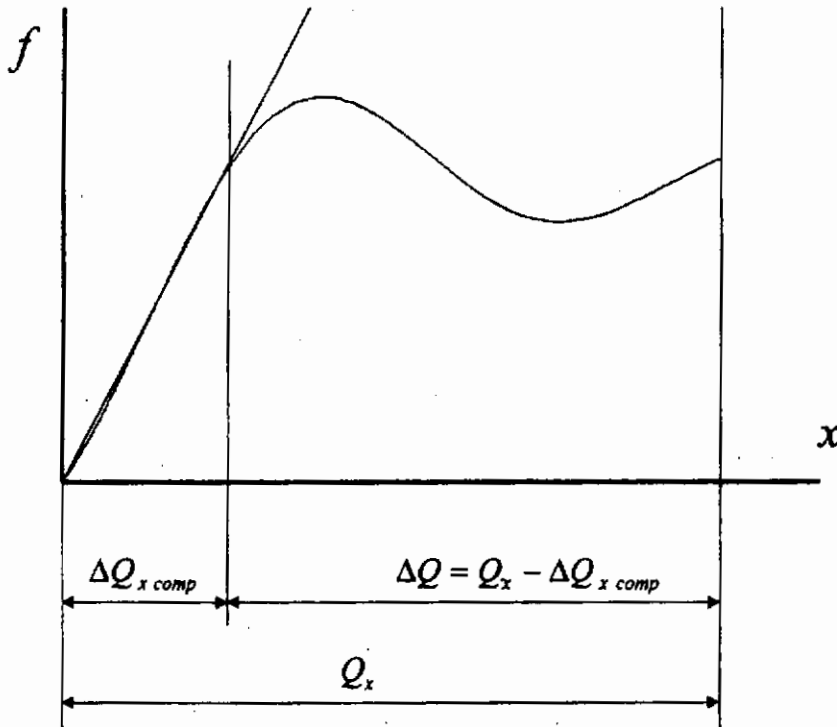


Рис. 3. К понятию функционального ресурса. На примере соотношений пространства состояний объекта (ЛА) - ΔQ_{xc} и эксплуатационной области управляемого состояния $\Delta Q_{x \text{ комп}}$ для используемой фирмы технологий управления; ΔQ_x - предел для алгоритмизированного управления состоянием объекта

состояния), где управляемый объект (или процесс) может быть достаточно точно представлен линейной моделью.

Основной практический недостаток такого подхода - это недоиспользование всех возможностей объекта, заложенных в его конструкции:

$$\Delta Q_x = Q_x - \Delta Q_{x \text{ комп}} .$$

Размерами и конфигурацией области ΔQ_x и определяется «функциональный недоиспользованный ресурс» летательного аппарата (КФ).

С точки зрения решения задач управления данный дополнительный ресурс - в системном плане «критичен», это зона «риска» в управлении. Мы ее называем «зоной риска», «рисковым ресурсом» в силу технологической неподготовленности процесса управления в данной зоне. Попытки его использования могут привести к возникновению отказов в системе вплоть до возникновения катастроф. Чтобы увидеть причину попадания системы в критический режим, рассмотрим связи между задающими и исполняющими агрегатами системы. Данная система, изолированно рассматриваемая нами на данном этапе, - это полиэргатическая, двухуровневая система (рис. 4).

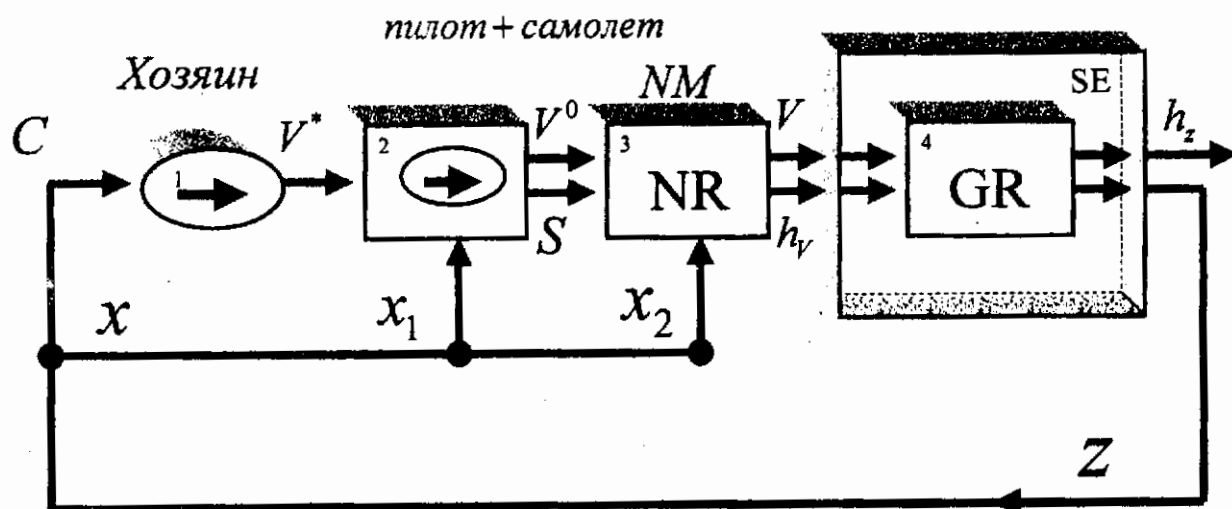


Рис. 4. Экономика-производственная авиационная система

Главным действующим лицом в системе выступает «хозяин» (блок – 1), который инвестирует инструментальную систему (автотранспортное предприятие), намереваясь не только вернуть вложенный им капитал, но и приумножить его в результате практической деятельности авиапредприятия. Желаемое «хозяином» задание скорости V^* оборачиваемости средств, а следовательно и скорости транспортировки грузов, поступает в транспортную систему. Транспортная система исполняет волю своего владельца. Она также является полиэнергетической.

Полная схема их взаимоотношений в экономико-производственном процессе показана на рис. 4. Здесь Z – совокупный продукт как результат деятельности авиаперевозок; X – текущее производственное потребление оборотных фондов; C – накопление; V^* – желаемая оборачиваемость средств; V^0 – фактическая скорость; V – фактическая скорость, в конкретной навигационной среде. Не менее важными компонентами выступают и параметры состояния: S – состояние ЛА; h_v – вероятность отказа выполнения задания в навигационной среде; h_z – вероятность финансовых потерь (в форме совокупного продукта).

«Владелец фирмы» ставит цель возврата средств, вложенных в систему; а цель «пилота-оператора» – обеспечить безопасное осуществление цели «собственника». Естественным раздражающим владельца фактором выступает внутренний неиспользованный ресурс ΔQ_x .

Упорное посягательство на данный тип ресурса получил свое название «синдрома максимальной выгоды» и отмечен в анализе Международного авиационного комитета. Комитет отмечает, что в погоне за большей прибылью от каждого конкретного рейса имеют место также случаи вывода системы в критическую зону ΔQ_x .

В результате имеет место пусть малое отступление от технологии, малое расширение области ΔQ_x , но могущее привести к катастрофическим последствиям.

В данном случае возникает и дополнительное явление – изменение функционального состояния «летного состава» из-за того, что теперь экипаж ВС должен взаимодействовать как бы с другим по своим свойствам функциональным объектом. Так, если в расчетном технологическом режиме на участке $\Delta Q_{x \text{ комп}}$ ВС представлялось и проявляло себя как линейный объект, то это требовало, чтобы в штатном режиме функционирования оператор функциональных обязанностей человека-оператора определялся тройкой операторов $\langle Q^*(p), I^*(p), \varepsilon \rangle$, где $I^*(p)$ – штатное информационное обеспечение операторской деятельности и ε – точностные требования.

Возможность выполнения пилотом функции $Q^*(p)$ над информационным потоком (p) с параметрами (x) отображается в теории систем так называемой «обобщенной функциональной характеристикой» человека-оператора как звена замкнутой системы (рис. 5.).

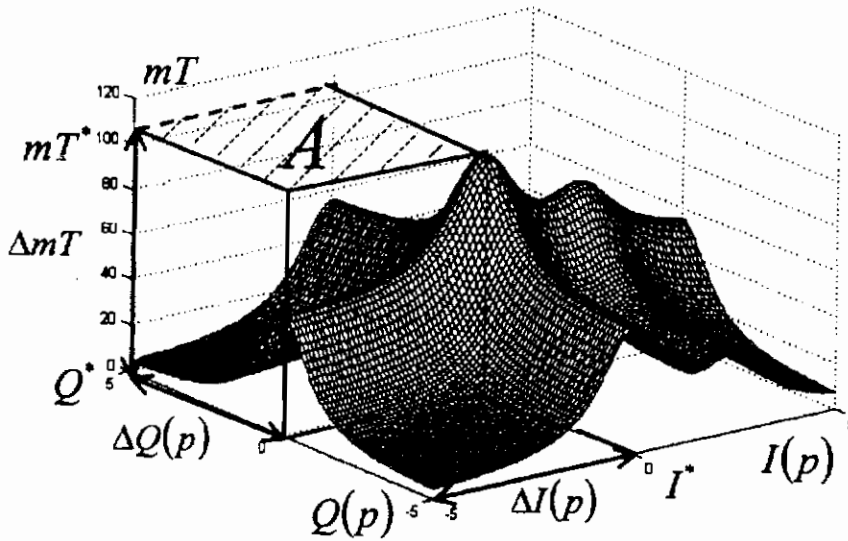


Рис. 5. Обобщенная функциональная характеристика человека-оператора как части замкнутой системы:

- mT^* – среднее время наработки;
- I – информационный оператор на "входе человека";
- Q – операторы функциональных преобразований, осуществляемых человеком в замкнутой системе;
- mT – длительность технологического процесса, характеризующего целостность системы.

Обычно при конструировании технологических схем управления ВС выбирают оптимальную рабочую точку системы: $\langle Q^*(p), I^*(p), \epsilon \rangle$, обеспечиваемую всеми параметрами системы (рис. 6).

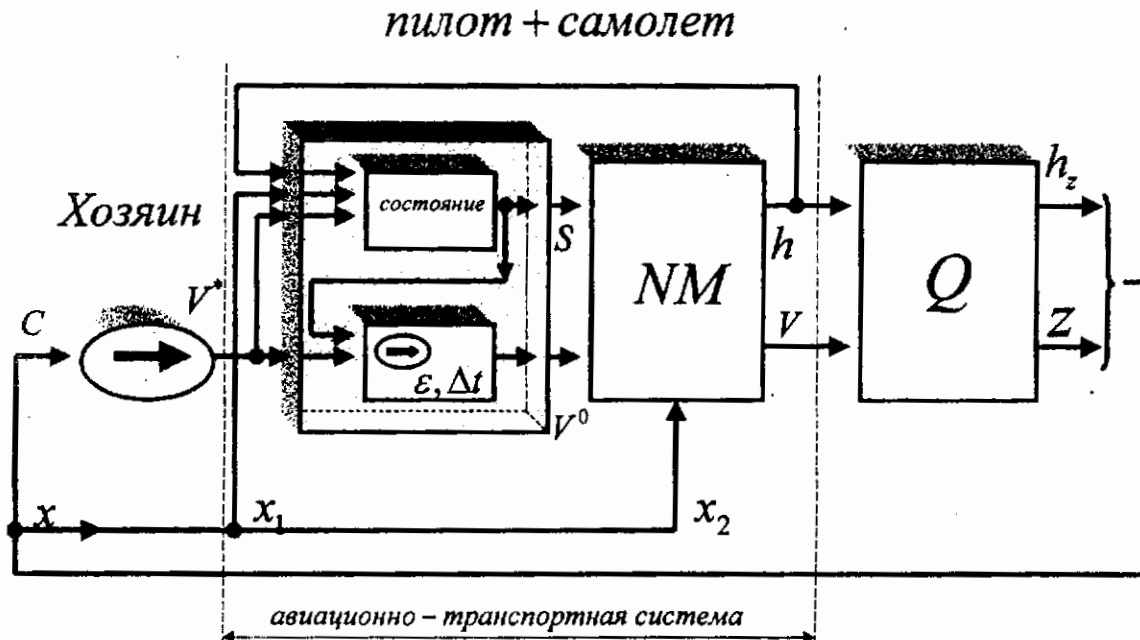


Рис. 6. Целостная авиационно-транспортная система (деятельная):
 в. Δt – характеристики технологического процесса

Данной рабочей точке соответствует устойчивое функциональное состояние человека-оператора на интервале времени $T_{\phi} = (0, mT^*)$.

В соответствии с «синдромом максимальной выгоды» человек-оператор, управляющий ВС, может оказаться вынужденным управлять им в нештатном режиме вне расчетной технологической схемы $X > X_T$ (см. рис.3). Это приводит, в силу отмеченного выше неалгоритмизированного состояния системы управления ЛА, к изменению реакции самолета на действия пилота, к изменению информационного оператора $I(p)$, к размытию рабочей точки системы до области A конечных размеров. Не вдаваясь в дальнейшую детализацию процесса

$$I_1(p) \rightarrow Q_2(p) \rightarrow I_2(p) \rightarrow Q_3(p) \rightarrow \dots$$

уже на данном этапе видно, что над размытым пространством A имеем размытые множества значений средних интервалов существования операционных свойств человека-оператора

$$M(mT) = (\min mT, \max mT), \quad (1)$$

$$mT^* \in M(mT)$$

по обеспечению целостности функциональной системы.

Это означает, что множество $M(mT)$ может быть разбито на два множества

$$M(mT) = M^-(\min mT < mT < mT^*) \cup M^+(mT^* \leq mT \leq \max mT). \quad (2)$$

Множество $M(mT)$ определяет состояние человека-оператора, характеризующее величину h риска распада функциональной системы (технологический аспект).

«Синдром максимальной выгоды» существенно усложняется при действии на рынке транспортных услуг нескольких авиакомпаний.

Примером может служить взаимодействие двух авиатранспортных предприятий, действующих на одном и том же «рынке услуг» (GR) и использующих один и тот же навигационный ресурс (NR). На рис.7 показано исходное положение двух, как бы монопольных предприятий. Для получения общей композиционной структуры двухпоточковой транспортной системы, «склеим» их по общим для обеих систем местам: (Q) и (NM).

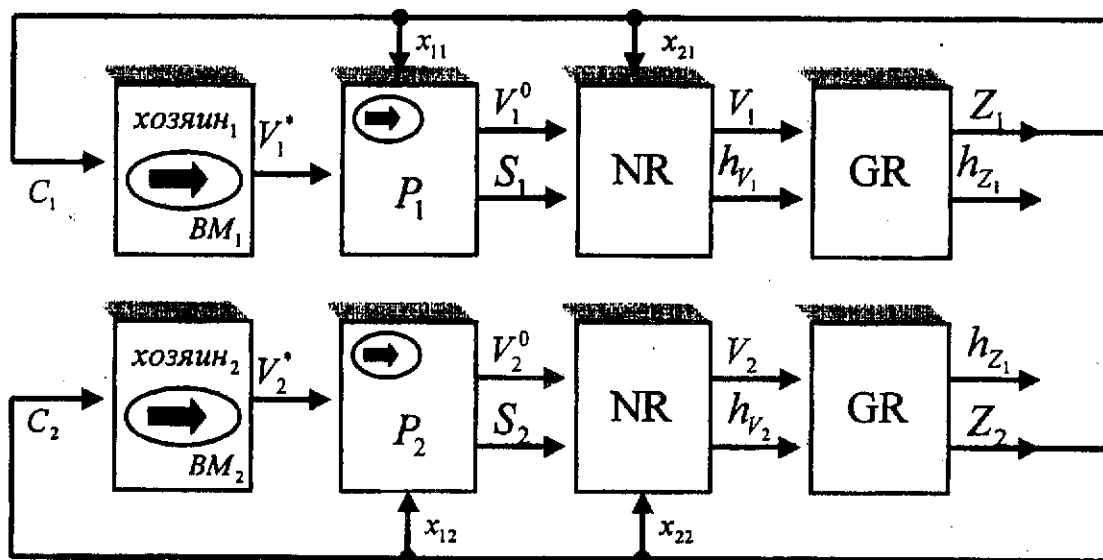


Рис. 7. Исходная позиция изолированных потоков построения композиционной двухпоточковой транспортной системы

В результате имеем общую структуру, показанную на рис.8. В блоке (NM) – навигационная среда – идет перемешивание потоков и конкуренция за навигационный ресурс (NR). В блоке (Q) идет вторичное перемешивание интересов компаний за дележ ограниченных товарных ресурсов (GR).

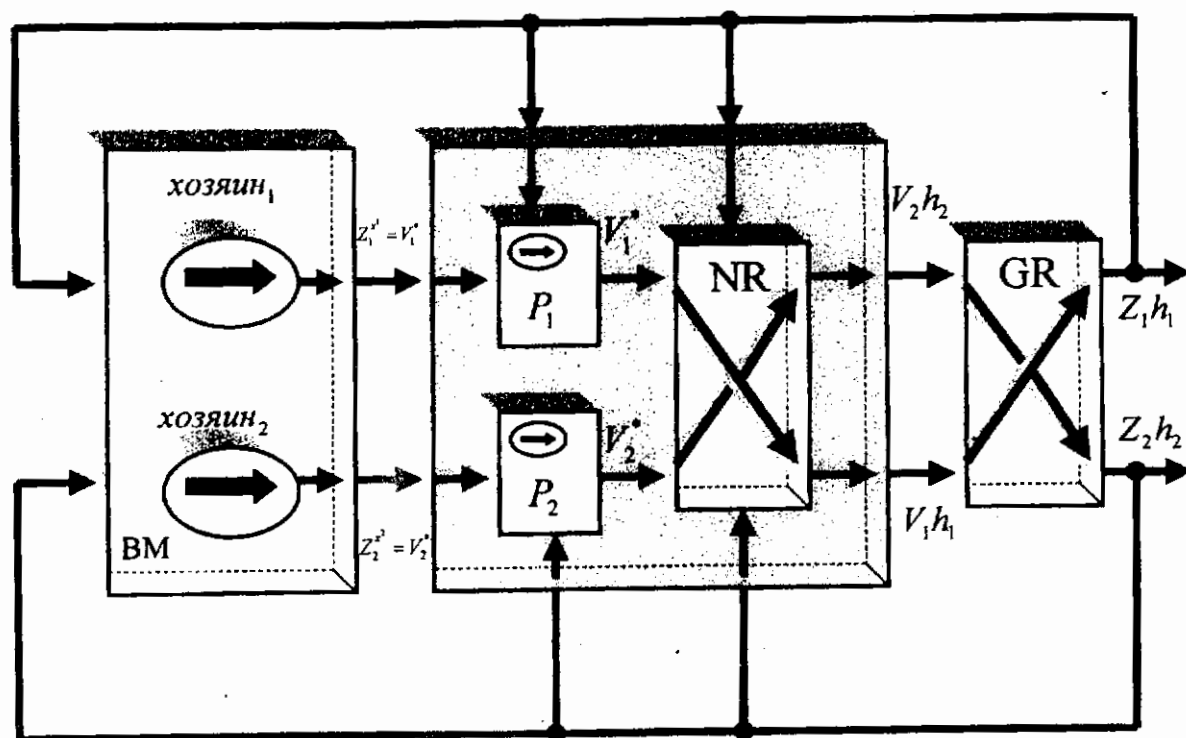


Рис. 8. Композиционная модель перемешивания активных потоков делящих объект на навигационный и товарный ресурсы

Функциональная роль двух пространств перемешивания (NM) и (Q) различна. Если среда, образуемая Q и BM , – это составная среда экономико-финансовых отношений, на которой разворачиваются конкурентные взаимоотношения на рынке услуг, инвестиций, возвратов средств, вложенных в инструментальную базу (транспортные средства) извлечения прибыли из среды (Q) и являющейся ускорителем функциональных процессов в системе с погруженными в нее двумя транспортными потоками (V_1 и V_2), то в среде NM решаются технологические задачи непосредственного обеспечения безопасного пропуск общего потока самолетов.

Последняя система является *критическим звеном* в функциональной целостной системе обеих компаний. Это-то и обуславливает первоочередность рассмотрения именно вопроса возможности возникновения в ней нежелательных в функциональном понимании явлений.

Поскольку данная подсистема является эргатической, то предполагается рассматривать процессы, происходящие в ней, как процессы самоорганизации двух активных потоков по законам взаимодействия эргатических систем. Оказывается, что уже на ранних стадиях исследования такой системы с позиций фундаментального закона живых систем – закона функционального гомеостаза возможно получить реологическое уравнение, описывающее состояние активных потоков в смысле вероятности успешного

выполнения функциональных операций систем при столкновении интересов при дефиците ограниченного ресурса.

$$h_i = \frac{a_{oi} + a_i \Delta V_1 + b_i \Delta V_2 + c_i \Delta V_1 \Delta V_2 + d_i \Delta V_1^2 + e_i \Delta V_2^2}{f_{oi} + f_i \Delta V_1 + g_i \Delta V_2 + k_i \Delta V_1^2 + l_i \Delta V_2^2}, \quad (3)$$

$$h_i^* = \frac{a_{oi}}{f_{oi}}, \quad (4)$$

где h_i^* – функционально-гомеостатическая оценка выполнения операции, при V_i^* , $i = 1, 2$;

$$h_i - V_i = V_i^* + \Delta V_i, \quad i = 1, 2.$$

Данное уравнение содержит реологические коэффициенты «влияния», «взаимовлияния» и «самовлияния» потоков в среде MM . Универсальность данной реологии позволяет рассматривать разные по своему функциональному смыслу процессы – успешность и оценку выдерживания графика движения, вероятность или число столкновения судов в аэроузловых зонах, в зонах свободной навигации, вероятность или число авиапроисшествий.

На рис.9 показаны распределения в пространстве $(h, \Delta V_1, \Delta V_2)$ реологического образа

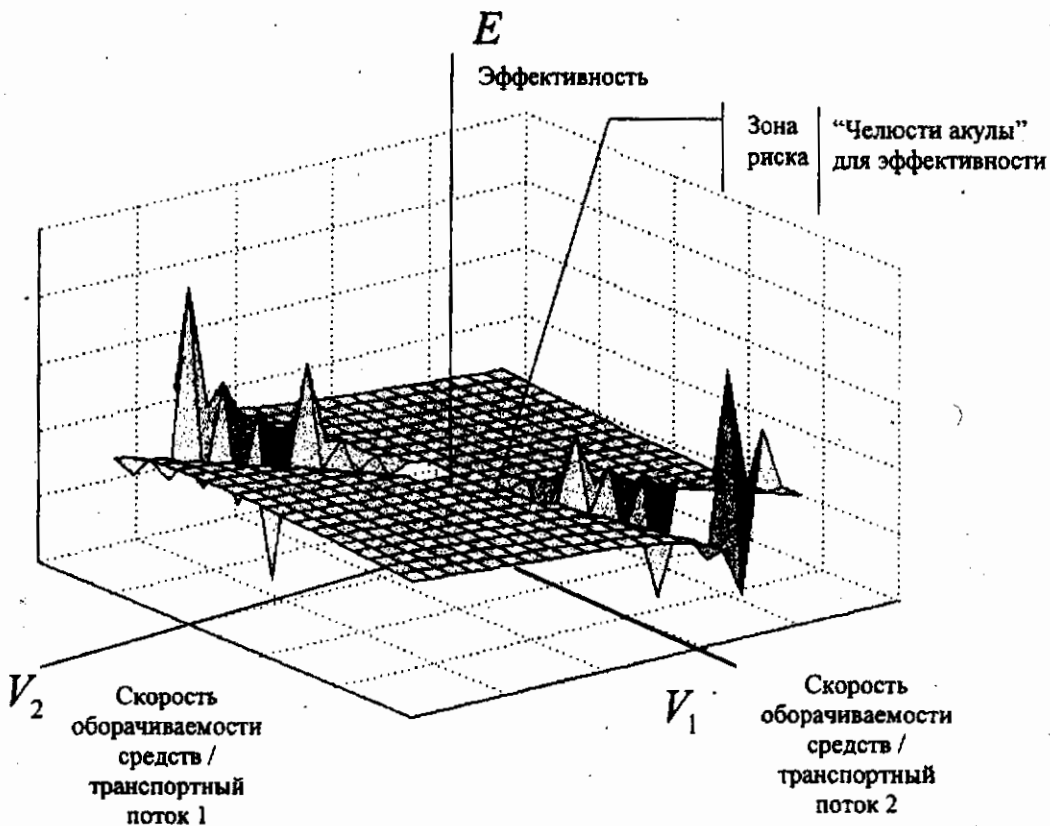


Рис. 9. Реологические параметры состояния двухпотоковой транспортной системы с зоной перемешивания и с зоной хаоса

состояния двухпоточковой системы. Явно просматривается на картине синергетическое явление хаоса управляемого процесса, поражающего обе системы, разрушающее, организованный транспортный поток. В двухпоточковой системе наступает состояние «системного флаттера». Интересно явление «инверсии надежности» двухпоточковой системы. В чисто теоретическом случае даже идеально осуществляемого процесса можно стремиться выбирать параметры движения такими, что $h \rightarrow \max$, но при этом мы оказываемся в «одном шаге» от минимума функциональной оценки двухпоточковой системы. Зона хаоса «поглощает» как «max», так и «min» качества системы, находящейся в условиях конкурентных отношений с другими системами.

Выбор скорости V_i производится самостоятельно каждой компанией. В силу же того, что в зоне функциональной нестабильности может наступить явление функционального хаоса, «системного флаттера».

- 1) реологический образ существенно зависит от многих факторов, которые участникам транспортного процесса неизвестны;
- 2) реологический образ может быть неизвестен полностью или частично участникам транспортного процесса;
- 3) параметры зоны хаоса зыбки и трудно вычислимы;
- 4) даже если параметры реологии известны, то участники процесса извлечения прибыли могут вольно или невольно, повинувшись «невидимой руке Адама Смита» в подсистеме $(BM + Q)$, спровоцировать нестабильность рынка навигационного ресурса.

Список литературы

1. Павлов В.В. Конфликты в технических системах. Управление. Целостность. – К.: Вища шк., 1982. – 182 с.
2. Державний стандарт України. Надійність та експлуатація систем та комплексів авіаційного обладнання. – К.: Держстандарт України, 1997. – 33 с.
3. Микинелов А.Л., Чепига И.Е., Шахвердов В.Г. Летная эксплуатация воздушных судов. – М.: Машиностроение, 1986. – 216 с.
4. Пашковский И.М., Леонов В.А., Поплавский Б.К. Летные испытания самолетов и обработка результатов испытания. – М.: Машиностроение, 1985. – 416 с.
5. Рассел П. Авиационные происшествия – статистика и методы предупреждения // Проблема безопасности полетов, № 5. – 1995 – С. 5 – 18.
6. Исследование эффективности взаимодействия летчиков с бортовым оборудованием // Studies highlight automation «surprises» / Huges David // Aviat. Week and Space Technol. – 1995. – 142, № 6. Р. 48 – 49.
7. Технические эргатические системы (синтез эргаматов). – К.: Вища шк., 1977. – 344 с.

Стаття надійшла до редакції 7 березня 1998 року.



Вадим Володимирович Павлов (1933), закінчив Київський політехнічний інститут в 1956 році. Доктор технічних наук професор. Має понад 260 наукових публікацій, 40 авторських свідоцтв. Лауреат Державної премії України. Галузь наукових досліджень – нелінійні системи, системний аналіз, теорія ігор та конфліктів, інтегровані системи керування рухомими об'єктами, критичні та інтелектуальні технології.

Vadim V. Pavlov (b.1933) graduated from Kyiv Polytechnical Institute (1958). DSc (Eng) professor. Author of 280 publications, and 40 inventions. State prize winner of Ukraine, specializes in non-linear systems, game and conflict theory, integrated control systems of moving objects, critical and intellectual technologies.



Андрій Васильович Скрипець (1945) закінчив Київський інститут інженерів цивільної авіації в 1969 році. Кандидат технічних наук професор. Має більше 130 наукових праць, у тому числі 10 монографій, підручників та учбових посібників. Галузь наукових досліджень – авіаційна ергономіка та удосконалення технічної експлуатації авіаційного обладнання.

Andrey V. Skripets (1945) graduated from Kyiv Institute of Civil Aviation Engineers (1969). PhD (Eng), professor. Author of more than 130 publications (10 monographies and aducation books). Specializes in the field of aircraft ergonomics and perfection of aviation equipment maintenance.

Світлана Вадимівна Павлова (1966) закінчила Київський інженерно-будівельний інститут в 1988 році. Аспірант кафедри технічної експлуатації авіаційних електрифікованих пілотажно-навігаційних комплексів. Має 9 наукових публікацій. Галузь наукових досліджень – створення інтелектуальних систем керування рухомими об'єктами та критичними технологіями.



Svetlana V. Pavlova (1966) graduated from Kyiv design and construction institute in 1988. Post-graduate student (aspirant) of Aviation electric pilotage-navigation complexes department. Author of 9 publications, specializes in design of intellectual systems of control of moving objects and in critical technologies.