

УДК 621.317

Г. Г. КУЛИКОВ, В. В. МИРОНОВ

## ИССЛЕДОВАНИЯ КАФЕДРЫ АСУ УГАТУ ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОМУ УПРАВЛЕНИЮ САМОЛЕТОМ И ЕГО СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ



**Куликов  
Геннадий Григорьевич**

профессор, зав. кафедрой АСУ УГАТУ. Дипл. инженер по автоматизации машиностроения (УАИ, 1971). Д-р техн. наук по системному анализу, автоматическому управлению и тепловым двигателям (УАИ, 1989). Исследования в области АСУ и автоматического управления силовыми установками ЛА. Соавтор монографий «Автоматизированное проектирование информационно-управляющих систем», «Марковские модели сложных динамических систем» (Уфа, 1998) и др., учебных пособий с грифом УМО «Интеллектуальные информационные системы», «Системное проектирование автоматизированных информационных систем» (Уфа, 1999) и др.



**Миронов  
Валерий Викторович**

профессор той же кафедры. Дипл. радиофизик (Воронежский гос. ун-т, 1975). Д-р техн. наук по управлению техническими системами (УГАТУ, 1995). Исследования моделей критических ситуаций и ситуационного управления в сложных системах. Соавтор монографий «Иерархические модели процессов управления» (Уфа, 1994), «Управление динамическими системами в условиях неопределенности» (Москва, 1998) и учебного пособия с грифом УМО «Основы теории информации для информатиков» (Уфа, 2001).

**К**афедра автоматизированных систем управления — АСУ — возникла в УГАТУ (тогда — УАИ им. С. Орджоникидзе) в 1972 году и сейчас вместе с 70-летием вуза скромно отмечает свое 30-летие. Хотя учебная деятельность кафедры связана с автоматизацией управления производством и вообще организационными системами, а в последний период, кроме того, с информационными системами в экономике, ее научные интересы все это время так или иначе находились в области управления техническими системами и объектами авиационного назначения. И с самого начала исследований они лежали в русле подхода к управлению, который сейчас называется интеллектуальным.

В данной статье сделана попытка обзора эволюции научных поисков коллектива кафедры за эти три десятилетия. Первая часть написана В. В. Мироновым, вторая — Г. Г. Куликовым, а третья основана на материале, который любезно предоставили руководители исследовательских лабораторий кафедры Р. Г. Низматуллин, М. Я. Парфенова, Л. М. Бакусов, А. Н. Набатов.



## 1. ПРОШЛОЕ: «ЭЛЕКТРОННЫЙ ИНСТРУКТОР» ДЛЯ ПОМОЩИ ЛЕТЧИКУ В КРИТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЯХ: К ИСТОРИИ НАУЧНОГО НАПРАВЛЕНИЯ

*Дела давно минувших дней...*

Основатель кафедры АСУ Ислам Юсупович Юсупов (1925–1991), доктор технических наук, подполковник-инженер запаса, специалист по управлению большими системами военного назначения, выпускник адъюнктуры Военно-воздушной академии им. проф. Н. Е. Жуковского, вернулся в Башкирию после 25-летней службы в рядах Советской Армии с должности начальника отдела крупного научно-исследовательского института Министерства обороны.

Перед новой кафедрой встал вопрос о создании научного коллектива и выборе научного направления. Примерно в это время всю страну взволновало сообщение о трагической гибели экипажа сверхзвукового пассажирского самолета ТУ-144 на авиасалоне в Ле-Бурже под Парижем. Тогда и была высказана идея о том, что управление самолетом в подобных ситуациях является крайне важной и актуальной для авиации проблемой и хорошо бы научному коллективу кафедры заняться исследованиями в этом направлении.

С этого момента и начинается история развития научного направления, связанного с исследованием критических ситуаций в сложных технических системах, в первую очередь на летательных аппаратах, которое долгое время являлось стержневым на кафедре АСУ, определявшим ее научное лицо.

В этом эссе автор излагает свою точку зрения на более чем 20-летний период развития на кафедре АСУ УГАТУ этого научного направления, роль личности руководителя, текущее состояние и перспективы развития, полагая, что данные вопросы представляют определенный интерес в плане познания превратностей развития научных идей и являются поучительными для молодого поколения научных работников.

### 1.1. 70-е годы: идея электронного инструктора

Первой задачей, вставшей перед научной группой, начавшей исследования критических ситуаций летательных аппаратов (ЛА), была задача выработки методологии и концепции этого направления.

Первые исследования открытых литературных источников (зарубежных) по анализу летных происшествий в авиации выявили интересную закономерность: более половины катастроф потенциально можно было бы избежать, если бы экипаж вовремя обнаружил возникший отказ, опасное внешнее воздействие или ошибку управления, а затем принял бы правильное решение и точно реализовал бы его. В связи с этим примерно в 1974 году возникла идея помощи пилоту (экипажу) ЛА подсказками, советами, рекомендациями по распознаванию КС и принятию решений в них. Подсказки, советы и рекомендации должны формироваться специальными автоматическими устройствами в соответствии с заложенными в них алгоритмами на основе текущей измерительной информации. Поскольку функции таких устройств моделируют функции пилота, то в основу их следует положить кибернетические принципы. Для этих устройств было взято рабочее название «кибернетические советующие устройства» (КСУ), а их совокупность на борту ЛА была названа «электронным инструктором» (термин Р. Г. Нигматуллина).

Таким образом, была выдвинута рабочая гипотеза о том, что проблема критических ситуаций, в которых имеются потенциальные возможности обеспечения безопасности средствами управления, может быть решена на пути создания «электронного инструктора» (ЭИ). В рамках этой основополагающей идеи предстояло ответить на ряд вопросов концептуального характера, ответы на которые были сформулированы достаточно быстро методом «мозгового штурма». Вот некоторые из них:

1) *Каковы функции ЭИ в КС?* Ответ на этот вопрос был получен из анализа задач, объективно стоящих перед пилотом в КС:

- своевременное обнаружение нарушения и распознавание класса возникшей ситуации;
- принятие правильного решения по выходу из КС;
- выбор управляющих воздействий для реализации принятого решения;
- контроль правильности действий при реализации решения;



– контроль выполнения ограничений для предотвращения выхода на критические режимы в процессе вывода ЛА из КС;

– контроль эффективности вывода ЛА из КС в целом.

Предполагалось, что каждое КСУ, составляющее ЭИ, должно выполнять одну из этих функций, для чего стали говорить о распознающем КСУ, КСУ принятия решения, КСУ выбора управляющих воздействий и т. д. Предполагалось, что действие КСУ различных типов должно быть увязано с ходом развития КС.

2) В какой форме ЭИ будет помогать пилоту? Пилот может совершать ошибки, однако он может в некоторых условиях принимать правильные нестандартные творческие решения, не предусмотренные инструкциями и правилами. Поэтому взаимодействие пилота и ЭИ должно вестись в форме диалога, при котором участники обмениваются информацией, взаимно проверяя друг друга. Последнее слово в таком диалоге должно принадлежать пилоту.

3) Как обойти проблему неопределенности? То, что неопределенность в КС является весьма существенной проблемой для своевременного и правильного функционирования ЭИ, было понятно с самого начала. В момент возникновения нарушения неясно, что произошло и как следует действовать, как же справиться с этим ЭИ? На этот непростой вопрос виделся следующий ответ: необходимо уменьшать неопределенность путем распознавания классов ситуации, путем идентификации структуры, оценивания неопределенных параметров, применения адаптации и обучения. (Оптимистический ответ в духе кибернетического подхода!)

В результате родился научно-организационный замысел разработки и исследования «электронного инструктора» для помощи летчику в критических ситуациях, содержащий основные методологические и концептуальные установки для дальнейшего исследования.

## 1.2. Личность руководителя и научный коллектив

Профессор Ислам Юсупович Юсупов имел холерический темперамент, говорил возбужденно и вдохновенно и плохо слышал. Он был чужд рефлексии и обладал ярко выраженной харизмой честности, чистоты помыслов и внутреннего благородства. Научные и педагогические идеи были его жизнью. Будучи «работоголиком» сам, он очень интенсивно загружал работой своих учеников, так что многие не выдерживали задаваемого темпа и «сходили с дистанции».



Проф. И. Ю. Юсупов

Его научные интересы и идеи всегда лежали в неизведанных областях. Элемент «безумия» выдвигаемых идей был обязательной чертой направлений, в которых он работал. Несколько таких «безумных» идей постоянно занимали его мысли. В военном НИИ он занимался анализом и синтезом больших систем, имевших жизненно важное значение для обороны страны в стратегическом масштабе, и позже, в Уфе, он признавал только такие научные проблемы, которые драматически связаны с жизнью и требуют позитивного решения. Математические проблемы, которые можно решить, доказав их неразрешимость, были ему глубоко чужды.

Идея «электронного инструктора» во всей ее полноте была совершенно в его духе. Благодаря вере и энергии, он, с одной стороны, достаточно легко увлек ею научную группу молодой кафедры, с другой, сумел заинтересовать этими исследованиями авиационно-космические фирмы. В короткое время были заключены договоры на проведение поисковых НИР по данному направлению. Заказчиком на первых порах выступало Специальное опытное КБ при Летно-исследовательском институте (по программе «Авангард»), а затем НПО «Молния» (по программе «Буран»), фирма Туполева и др. Направление было поддержано академиком Б. Н. Петровым, другими научными школами.

Собирая научно-педагогический коллектив кафедры, профессор Юсупов руководствовался идеей соединения разнородных специалистов на кибернетических принципах. Он мечтал о том, чтобы, помимо специалистов по управлению, в коллективе работали математики, психологи, биологи, философы. Реализовать эту идею в полной мере в отношении гуманитариев не удалось (хотя на кафедре было несколько филологов, занимавшихся переводами, и некоторое





Ностальгия: молодая кафедра на Первомайской демонстрации 1976 года (Л.Г.Кузнецова, В.Н.Дорошенко, Н.С.Ширина, Л.Р.Черняховская, Н.И.Юсупова, Г.Г.Заграпова, В.В.Мионов, Н.М.Дубинин, З.Н.Дубинина, Т.А.Харина, Л.М.Бакусов, С.А.Харин, И.Ю.Юсупов, Б.Т.Горшков)

время был биолог), однако технические специальности были представлены довольно широко: от прикладных математиков до радиофизиков.

Другой особенностью коллектива были молодость и отсутствие опыта. Большинство, имея минимальный стаж самостоятельной работы после окончания вуза, не сопоставимый с опытом своего научного руководителя, представляло собой *tabula rasa*. В этих условиях харизма руководителя обусловила абсолютную веру учеников в его научную интуицию, в то, что поставленные задачи — значительные задачи, никем раньше не решавшиеся, а научное направление — действительно пионерское. Следствием этого были интенсивная и сверхурочная работа при подготовке отчетов, часто ночами напролет, бескорыстная помощь друг другу. Зависть и раздоры профессор Юсупов считал главной опасностью для научного коллектива и внимательно следил, чтобы у каждого был свой личный сектор в выполняемых совместных исследованиях. Семь типов КСУ были разделены между аспирантами первого поколения: одному «принадлежало» КСУ rozpoзнающего типа, другому — КСУ принятия решения и т. д. В результате такое личное событие, как защита диссертации, воспринималось как достижение всего коллектива.

### 1.3. Первые результаты

В короткое время научной группой, занимавшейся исследованиями по проблеме «электронного инструктора», были проработаны основные концептуальные вопросы построения ЭИ, отраженные в отчетах по НИР [9–15], в статьях в межвузовском научном сборнике, ежегодно выпускавшемся кафедрой [4–8, 16–18], в докладах на научных конференциях, в первых изобретениях [1–3].

Из результатов того времени отметим наиболее интересные:

- 1) Идея применения теории и методов распознавания образов для классификации обнаруживаемых КС (Л.Р.Черняховская [16]).
- 2) Идея использования искусственного нейрона для согласованного принятия решений пилотом и КСУ (Р.Г.Нигматуллин [12]). На основе этой идеи разработан метод согласования решений с переключением автоматического, автоматизированного и ручного режимов [3].
- 3) Идея многошагового контроля для выявления и блокировки ошибочных действий при возможных ошибках как пилота, так и КСУ (Н.М.Дубинин [5]). Другая идея в этом направлении — использование «датчиков прикосновения», размещаемых на поверхности органов управления для обнаружения намерений пилота выполнить определенные действия [2].
- 4) Идея оценивания в КС границы критического режима и динамического выбора на этой основе необходимой «осторожности» пилотирования при выходе из КС (В.В.Мионов [6]).
- 5) Идея оценивания эффективности взаимодействия летчика и ЭИ в КС на основе моделей марковских цепей, позволяющих получить финальные вероятности ликвидации КС (Л.М.Бакусов [4]).

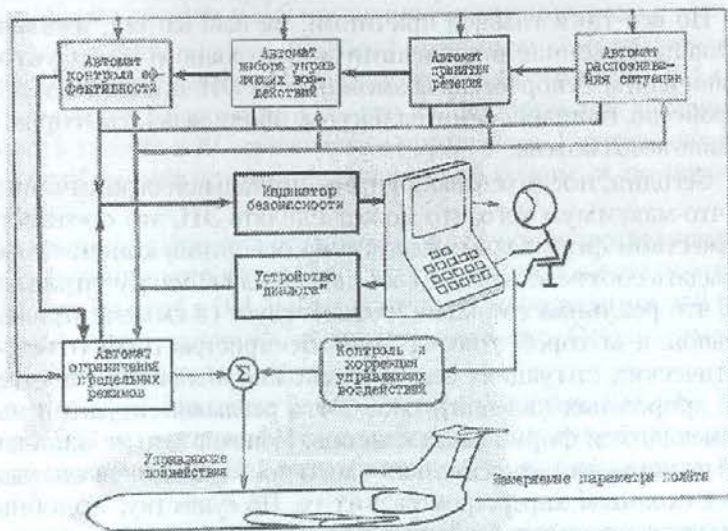


6) Идея электронного речевого информатора для выдачи сообщений пилоту в КС с использованием новых в то время программируемых ПЗУ большой емкости для хранения сегментов речи (Р.Х.Хакимов).

7) Идея использования математического аппарата новой в то время теории нечетких множеств для синтеза алгоритмов принятия решений в условиях неопределенности (С.Ф.Бабак).

8) Идея рассмотрения КС в плане учета изменения обобщенного ресурса управления (М.М.Муллагалиев [7]).

Вскоре эти идеи «обросли» теоретическими моделями, алгоритмами, экспериментальными исследованиями и составили предмет кандидатских диссертаций их авторов.



Такой представлялась функциональная структура «электронного инструктора» в 1976 году (иллюстрация из кафедральной реликвии — «Синего альбома», содержащего замысел и концепцию помощи летчику в критических ситуациях)

#### 1.4. Внутренний кризис 80-х годов

К середине 80-х годов направление внешне развивалось весьма динамично. Появилась «вторая волна» аспирантов, расширяющих и углубляющих исследования. Увеличилось число НИР, ведущихся на кафедре по различным аспектам этого направления по заказу солидных московских фирм Министерства авиационной промышленности. Успешное выполнение планов работ обуславливало хорошие отношения с заказчиками. Около полусотни технических решений в этой области были уже защищены авторскими свидетельствами на изобретения.

Прогресс авиации сопровождался развитием электронного бортового оборудования: проекты авиационных и космических ЛА предусматривали использование современных бортовых компьютеров с достаточно гибким программным обеспечением, мощное метрологическое обеспечение, позволяющее контролировать множество параметров, унифицированные интерфейсы измеряемой информации и команд управления, электронные системы отображения информации, позволяющие гибко выводить сообщения экипажу в текстовой, графической, речевой форме. Все это снимало многие проблемы технического характера, стоявшие вначале на пути создания «электронного инструктора», и делало его проект не столь фантастичным.

Вместе с тем в развитии направления появились признаки внутреннего застоя и даже кризиса. Прежде всего, это выражалось в том, что исследования все больше и больше погружались в детали. Вместо того чтобы идти к главной цели — созданию ЭИ во всей полноте, — исполнители увлекались решением технических задач, представляющих практический сиюминутный интерес для заказчиков, или углубляли и развивали свои задачи, по которым ранее уже были получены результаты. Тем самым фактически создавались различные виды обеспечения ЭИ (информационное, техническое, алгоритмическое и др.), к созданию функционального ядра ЭИ приступить так и не удавалось.

По мнению автора, в основе такого положения лежали как субъективные личностные, так и объективные методологические причины.

Накопилась усталость исполнителей, вызванная интенсивным темпом исследований, и после защиты диссертации возникало естественное стремление расслабиться, переключиться на педагогические задачи. Профессор Юсупов при этом полагал, что кандидат наук имеет право на самостоятельность и его не следует окружать назойливой опекой. Вместе с тем характер не позволял ему десятилетиями методично заниматься одной-единственной проблемой. Новые идеи персполняли и волновали его. Как раз в это время он увлекся проблемой соотношения типовых и творческих управленческих решений в автоматизированных системах управления производ-



ством, написал книгу на эту тему<sup>1</sup>. И хотя данные направления были близки по существу, он имел все основания ожидать, что подготовленные им в этой области 6 кандидатов наук смогут взять на себя дальнейшее развитие направления.

Но все-таки главной причиной, на наш взгляд, явилась методологически ошибочная гипотеза, заложенная в концепции «электронного инструктора». Невзирая на все оговорки об ограниченных творческих возможностях ЭИ, исследователи бессознательно надеялись создать устройство, наделенное интеллектом, ибо те задачи, которые возлагались на ЭИ, без интеллекта решить невозможно.

Сегодня, после осознания принципиальной ограниченности кибернетического подхода, ясно, что максимум того, что может сделать ЭИ, это соотнести реальную ситуацию с конечным множеством формальных классов на основании конечного множества измеряемых параметров (и выдать соответствующее сообщение или команду управления). Но есть ли какие-либо гарантии, что реальная ситуация соответствует (в смысле правильности принятых решений) формальной, к которой отнес ее ЭИ? Беспристрастный ответ — никаких, поскольку в реальных критических ситуациях всегда возможно появление неучтенных факторов (отказов, нарушений, природных явлений), таких, что реальная ситуация не будет соответствовать ни одному из имеющихся формальных классов. Конечно, это не означает заведомую неэффективность такого подхода для относительно часто повторяющихся ситуаций, характеризующихся более или менее сходным характером развития. По существу, подобные ситуации можно считать разновидностью штатного режима функционирования объекта.

Вывод о том, что проблема создания «электронного инструктора», который бы на равных с пилотом (или как «младший брат») осуществлял поиск путей выхода из КС, принципиально неразрешима, так и не был сформулирован при жизни профессора Юсупова. По предположению автора, он интуитивно осознавал это, чем и объясняется угасание интереса к данному направлению: это все, конечно, очень важно, нужно, актуально, но уже «не то» — нет «безумной идеи». Безвременная кончина профессора Юсупова в 1991 году произошла на фоне известных событий истории нашей страны, в результате которых авиационная и космическая промышленность лишилась какой-либо возможности финансово поддерживать эти исследования. Круг исполнителей, продолжавших самостоятельную работу в данном направлении, постепенно сузился и ныне включает лишь нескольких энтузиастов.

Вместе с тем с течением времени становится все яснее, что идея советующих устройств предварила тот путь, по которому пошло развитие бортовых информационных систем. Как стало позднее известно, в 80-х годах за рубежом начались активные исследования в рамках программы «Ассистент пилота» и ей подобных, предусматривающие разработку бортовых экспертных систем для сопровождения летчика советами в сложной (боевой) обстановке<sup>2</sup>. Ответные закрытые исследования были развернуты и в нашей стране. В настоящее время терминология «советующих устройств» постоянно встречается в научно-технических публикациях.

### 1.5. Смена парадигмы

В свое время кибернетика прошла путь от амбициозных претензий решить все задачи и отрицания какой-либо критики в свой адрес, через разочарование в ее идеях и возможностях со стороны многих из тех, кто пытался воспользоваться ее плодами, и до «смены парадигмы» после ухода ее могучих идеологов. История развития рассматриваемого научного направления удивительным образом отразила в рамках кафедры АСУ УГАТУ колебания кибернетического подхода (правда, с существенно меньшей амплитудой)<sup>3</sup>. Смена методологических ориентиров при исследовании процессов управления в критических ситуациях в точности соответствует этому. В 80-х годах новое поколение идеологов кибернетики (сначала за рубежом, а затем и у нас в стране) объявило, что цель кибернетики связана вовсе не с построением искусственного разума, а с побочными результатами, полученными в бесплодных попытках построить этот самый искусственный разум и имеющими несомненно практическое значение: с моделями и методами организации и применения формальных правил. Экспертные системы, искусственные нейрон-

<sup>1</sup> Юсупов И. Ю. Автоматизированное принятие решений. М.: Наука, 1983.

<sup>2</sup> Федосов Е. А. Системы искусственного интеллекта и области их военного применения. ГосПИИАС, 1991.

<sup>3</sup> Один из любимых анекдотов проф. Юсупова:

— Чем вы занимались в период между XIX и XX съездами Партии?

— Колебался вместе с линией ЦК.



ные сети и т. п. объекты из арсенала современной кибернетики являются удобным средством организации формальных данных, и не более того. Ни один специалист из этой области не связывает их с искусственным разумом, хотя сохранившиеся термины, такие как «искусственный интеллект», «база знаний» и др., продолжают вводить в заблуждение непосвященных.

В этом же духе («лучше синица в руках, чем журавль в небе») произошла «смена парадигмы» рассматриваемого научного направления. Признавая невозможность построения ЭИ как разновидности искусственного разума, следует рассматривать его как *инструмент*, помогающий экипажу обеспечивать безопасность полета в КС средствами управления. Использование метафоры инструмента дает возможность преодолеть методологический кризис и по-новому взглянуть на задачи данного направления.

Прежде всего следует (хотя бы мысленно) разделить системных аналитиков, исследующих критические ситуации, возможные при функционировании соответствующего объекта, и отбирающих те из них, которые необходимо учитывать в ЭИ, и разработчиков информационной системы ЭИ, наполняющих ЭИ правилами обнаружения КС и действиями в них. Первые имеют дело с реальными ситуациями, а вторые — с формальными моделями КС.

Далее, как следует рассматривать инструментальные решения, принимаемые ЭИ в КС? В свете метафоры *инструмента* решения ЭИ есть решения его разработчика, поскольку приняты в точном соответствии с правилами, заложенными в ЭИ разработчиком. Таким образом, в КС используются решения двух типов:

- априорные решения, выработанные путем применения в текущей обстановке заранее заложенных правил;
- апостериорные решения, принятые человеком (экипажем) на основе собственного анализа обстановки в соответствии со своим опытом, существующими нормами и инструкциями.

Решения каждого типа могут быть ошибочными, поэтому может быть предусмотрена процедура их согласования на основе некоторого сценария (в том числе — в режиме диалога). Это означает, что решения одного типа могут приниматься с учетом решений другого типа. Для выработки согласованного решения также должны быть заданы некоторые правила. Одно из направлений дальнейшей работы — исследование подобных правил согласования решений.

В связи с вопросом о формальных моделях КС, закладываемых в ЭИ, возникает вопрос о том, что такое управленческая ситуация вообще, и критическая ситуация, в частности, в терминах теории управления, теории систем или какой-либо другой формальной системы. Один из развиваемых подходов — теоретические модели управленческих ситуаций в пространстве *состояние–время–управление–возмущение*.

Другой подход к построению моделей ситуаций основан на задании возможных переходов ситуаций с помощью графов переходов. Это позволяет отразить сложную иерархию ситуаций, когда некоторая обобщенная ситуация может иметь внутренние подситуации, уточняющие ее состояние. Многомерность реальных ситуаций отражается за счет введения возможности нескольких внутренних ситуаций для одной обобщенной ситуации.

Важное направление дальнейших исследований — соединение инструментария искусственного интеллекта с формальными моделями КС. Иерархическая ситуационная модель может рассматриваться как основа для специализированной базы знаний, содержащей множество решений и действий, ассоциированных с ситуациями, и правил контроля текущей ситуации и ее переходов. Алгоритм интерпретации ситуационной модели выступает в качестве механизма логического вывода.

\*\*\*

Жанр эссе предполагает предварительный и непринужденный характер изложения по соответствующему предмету. Именно в таком плане следует рассматривать приведенные в статье мысли, соображения и оценки, как и нижеследующие итоги данного периода развития кафедры АСУ.

1) При зарождении и становлении нетрадиционного научного направления, каким являлось исследование «электронного инструктора», важную роль сыграл харизматический тип личности руководителя — профессора И. Ю. Юсупова, позволивший увлечь коллектив высокой целью. Вопрос о том, какую роль при этом сыграл фактор молодости коллектива, не обремененного традиционными представлениями, является проблематичным.



2) Начальный этап разработки и исследования «электронного инструктора» неявно базировался на гипотезе о возможности построения искусственного разума, специализированного для управления в КС. Это заблуждение, характерное для кибернетики того времени в целом, позволило два десятилетия назад поставить новые задачи, разработать модели, отыскать методы, имевшие научную значимость и практическую ценность и по своему духу и сейчас находящиеся в полном соответствии с направлениями современного развития бортовых информационно-управляющих систем.

3) Современный этап развития идей «электронного инструктора», как и кибернетики в целом, характеризуется новой парадигмой, основанной на метафоре инструмента. Это открывает возможности дальнейшего развития данного научного направления на кафедре АСУ, в частности, на пути разработки и исследования искусственно-интеллектуальных моделей развития управленческих ситуаций и методов их интерпретации в бортовых информационно-управляющих системах.

В библиографический список, приведенный в конце статьи, включены только наиболее ранние публикации [1–18], определяющие приоритет по данному научному направлению.

## 2. НАСТОЯЩЕЕ: МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ И МАРКОВСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК ЛА

*Нам время тлеть, а им — цвести...*

С приходом в 1992 году нового заведующего кафедрой проф. Г.Г.Куликова, специализирующегося в области моделирования ГГД и систем управления, были продолжены исследования в области развития методов идентификации и применения марковских моделей для контроля и диагностики силовых установок летательных аппаратов (СУ ЛА), в том числе и для управления в критических ситуациях. В состав научной группы вошли специалисты, имеющие большой практический опыт в области создания систем автоматического управления СУ ЛА (САУ СУ ЛА) кандидаты технических наук В.С.Фатиков и П.С.Котенко и молодые исследователи В.Ю.Архков и Т.В.Брейкин, защитившие впоследствии диссертации. Данные исследования явились новым направлением в области моделирования сложных технических систем, включая отказы. Наличие таких моделей позволяет прогнозировать возможные критические режимы работы, их идентификацию и формировать эффективное управление для их парирования.

Контроль состояния двигателя является важной и актуальной задачей в области эксплуатации авиационной техники и безопасности полетов.

Надежное выявление отказов требует проведения совместного междисциплинарного исследования в области идентификации систем и построения динамических моделей, искусственного интеллекта, машиностроительных САПР и компьютерной графики.

Существующие цифровые САУ имеют встроенные средства измерения и преобразования сигналов, что позволяет получать информацию о работе двигателя и его систем. Эта информация используется САУ в оцифрованном виде для управления двигателем; эти же данные могут передаваться в систему регистрации и использоваться для контроля и диагностики, что дает возможность применить экспертную систему для их анализа и поддержки принятия решений экипажем в случае критической ситуации.

Существующие подходы к контролю состояния авиационных двигателей основаны на цифровой реализации алгоритмов, разработанных ранее для аналоговых электронных устройств. Как правило, здесь применяются статические модели двигателя и схемы экспериментов в разомкнутом контуре. Полученная в цифровом виде информация может использоваться для идентификации динамических моделей, что может увеличить глубину контроля компонентов двигателя и его систем до 90% и более.

Идентификация динамических моделей по экспериментальным данным представляет собой обратную задачу динамики, к тому же плохо обусловленную. Экспериментальные оценки динамических моделей содержат существенные погрешности по следующим причинам:

- процессы управления не являются стационарными и эргодическими;
- модель двигателя содержит нелинейности;
- имеется воздействие неизмеряемых возмущений и влияние цепи обратной связи регулятора;





#### Интеллектуальный комплекс контроля и диагностики электронных агрегатов САУ СУ

Предназначен для обнаружения, локализации и устранения отказов САУ СУ. Реализует интеллектуальные информационные технологии контроля и диагностики ГТД и их систем на всех этапах жизненного цикла с возможностью локализации отказов до конструктивно-сменной единицы СУ (модуля двигателя, датчика, исполнительного механизма, электронного блока). Может использоваться в процессе послеполетного контроля САУ СУ. Состав: портативная ПЭВМ Notebook 486 + Docking Station; Windows 95; комплект программ ввода с нестандартных устройств; библиотечная система инструкций по эксплуатации агрегатов САУ; экспертная система диагностики и технического обслуживания. Макетный образец испытан в процессе опытной эксплуатации ЦСАУ СУ самолета АН-70 № 01-02

- методы идентификации линейных и нелинейных моделей используются независимо;
- использование моделей типа «черного ящика» не дает удовлетворительных результатов.

Для идентификации также широко используются нейронные сети, хотя многие вопросы остаются открытыми, в частности, выбор типа нейросети, ее структуры, а также проверка качества исходного набора данных для обучения сети. Эти проблемы часто решаются методом проб и ошибок, что снижает эффективность метода.

Динамические модели в форме цепей Маркова объединяют стохастическую и детерминированную составляющие динамики объекта в единой модели; это более точное и адекватное описание поведения реальной системы. Кроме того, марковские цепи позволяют исследовать нелинейную динамику двигателя и его систем в области линеаризации, где традиционно используются линейные модели. При этом не требуется идентификация моделей случайных возмущений; они строятся неявным образом в процессе идентификации марковской модели. Пилотный проект по внедрению марковских моделей на полунатурном стенде для испытаний ЦСАУ продемонстрировал работоспособность данного подхода.

Была установлена взаимосвязь между динамическими моделями в форме цепей Маркова и системами с нечеткой логикой; в результате был сформулирован ряд задач по оптимизации структуры и параметров марковских моделей. Ввиду большой сложности и размерности задачи оптимизации, предлагается использовать многокритериальные генетические алгоритмы (МКГА), хорошо себя зарекомендовавшие при решении аналогичных задач в смежных областях. МКГА позволяют проводить параллельный поиск целого ряда Парето-оптимальных решений с последующим выбором наиболее предпочтительного на основе экспертных знаний, которые, как правило, слабо формализованы.

В настоящее время методы теории автоматического управления во многом ориентированы на применение частотных характеристик и передаточных функций; слабо задействовано «об-



разное» графическое представление. Пока существуют только отдельные элементы «образного» подхода, например, динамическую характеристику можно интерпретировать как своего рода когнитивный графический интерфейс к нелинейной поэлементной модели. Для контроля и диагностики ГТД и его систем экспериментальные данные необходимо «сжать» до нескольких коэффициентов, таблиц или поверхностей. Эта задача относится к области распознавания образов с применением экспертных знаний. Использование когнитивной графики позволит привлечь семантику к решению задач, связанных с созданием САУ, идентификацией и контролем состояния.

В то же время задача идентификации динамических моделей по-прежнему решается на уровне математических формул, далеких от графического представления. Но для марковской модели задача аппроксимации сводится к геометрическому пространственному анализу плоскости или поверхности. В частности, детерминированная составляющая динамической модели представлена в матрице переходных вероятностей прямой линией, проведенной по максимальным вероятностям. Таким образом, идентификация динамических моделей тоже сводится к задаче распознавания. Вместо прямого оценивания коэффициентов вначале необходимо распознать поверхность-образ, по которой определяются коэффициенты уравнения простым математическим приемом. При этом структура и порядок модели должны быть заданы априори. Кроме того, можно предварительно проводить когнитивный образный анализ корректности решения. Условия идентифицируемости будут определяться степенью разреженности стохастических матриц, что свидетельствует о полноте исходной информации для идентификации.

Построив марковскую модель, можно переходить к анализу образов и сравнивать поверхности, а не коэффициенты. Это позволит преодолеть некорректность задачи идентификации, когда небольшое отличие поверхностей соответствует существенной разнице в коэффициентах. Кроме того, графически задавать допустимые пределы для поверхности в пространстве гораздо проще, чем устанавливать пределы изменения для целого комплекса взаимосвязанных коэффициентов модели.

В настоящее время исследования в указанном направлении проводятся совместно с научными группами: ИПУ РАН (Москва), БГУИР (Минск), ХГАКУ (Харьков), Университета Шеффилда (Великобритания), Университета Альгарве (Португалия) в рамках международного гранта INTAS. Основные результаты представлены в работах [19–21].

### 3. БУДУЩЕЕ: КОНВЕРСИЯ ЗНАНИЙ

*Онегин одной ногой стоял в прошлом, а другой — топирал будущее...*

В сложных современных условиях направление своего развития кафедра формулирует так: сохраняя, по-возможности, «верность» авиационной тематике, расширяя работы в авиационно-космической сфере по мере возрождения отечественной промышленности, обеспечить перенос «конверсию» выдвинутых идей и полученных результатов в другие предметные области, способные в настоящее время «подпитывать» проведение научных исследований.

В рамках конверсии знаний, полученных при разработке указанных выше авиационных проблем, на кафедре сформировался ряд научных направлений, которые сегодня представлены исследовательскими лабораториями:

- теории катастроф и адаптации, возглавляемой доц. Р.Г. Нигматуллиным, успешно ведущим исследования в области электроэнергетики;
- теории принятия решений, возглавляемой доц. М.Я. Парфеновой, ведущей исследования по разработке интеллектуальных информационных систем в области нефтепереработки и в социальной сфере охраны труда;
- теории биомедицинских информационных систем, возглавляемой доц. Л.М. Баксовым, ведущим исследования в области моделирования биомедицинских процессов;
- теории системного моделирования и электронного документооборота, возглавляемого доц. А.Н. Набатовым (науч. руковод. проф. Г.Г. Куликов), ведущим исследования в области организационного управления с применением современных CASE-технологий и КИС для предприятий авиационной промышленности: ОАО «УМПО», УНПП «Молния», УГП «Гидравлика» и др.



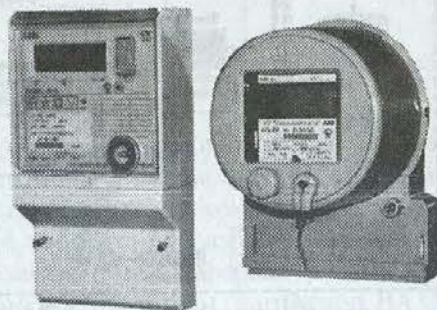
### 3.1. Лаборатория теории катастроф и адаптации

Лаборатория теории катастроф и адаптации (ТКиА) была создана при кафедре АСУ в 1991 году. Научным руководителем был назначен канд. техн. наук, доц. Р. Г. Нигматуллин.

Лаборатория занимается теоретическими исследованиями в области обеспечения безопасности в сложных технических системах. Отличительной особенностью таких систем является присутствие человека-оператора в контуре управления.

За время существования лаборатории выполнено 5 НИР по темам: «Разработка советчика диспетчера для ОАО «Башкирэнерго»» и «Разработка диспетчерского пункта нефтепромысла для АНК «Башнефть»». На базе лаборатории осуществляется подготовка студенческих научных работ и дипломных проектов; подготовлены и защищены две кандидатские диссертации.

Основные результаты теоретических исследований в области АСУ ТП и обеспечения безопасности технических процессов составляют методическую основу таких дисциплин, как АСУ реального времени, производственный менеджмент и методика формализованного описания производственных ситуаций.



Интеллектуальные приборы учета электроэнергии – основа автоматизированных систем коммерческого учета, разработка и внедрение которых ведутся в лаборатории теории катастроф и адаптации

### 3.2. Лаборатория теории принятия решений

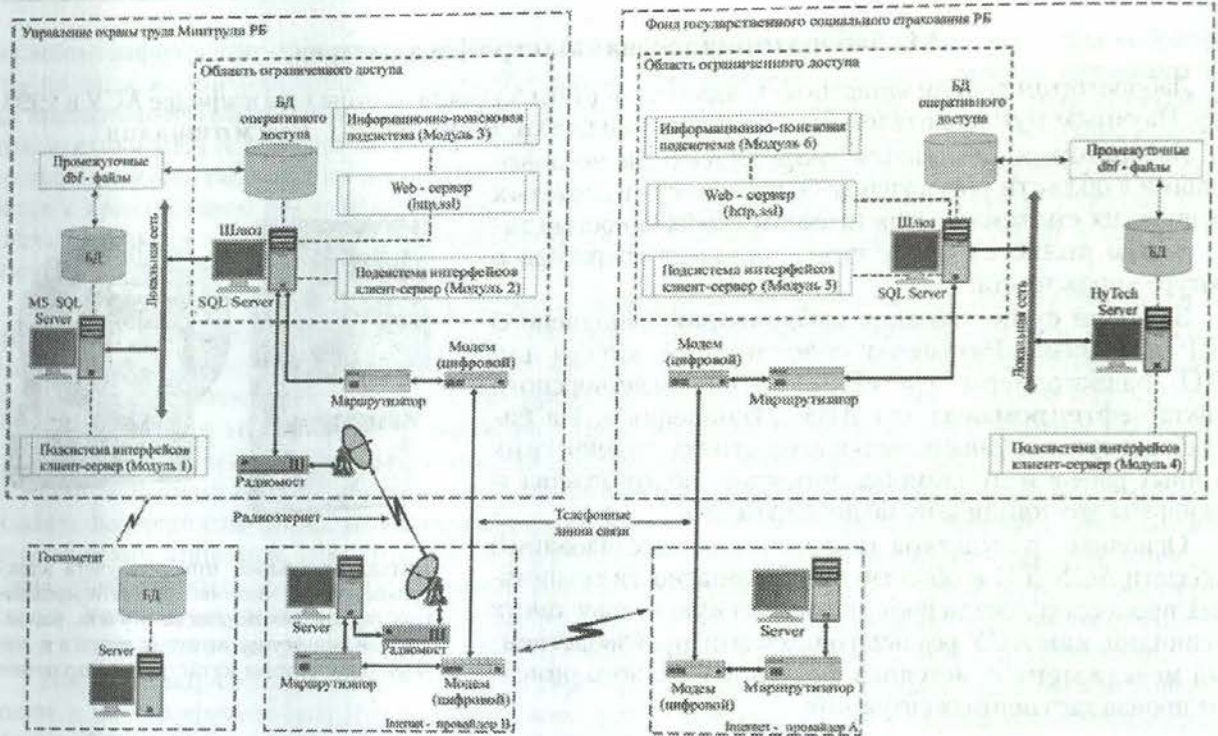
В течение 1973–1983 гг. на кафедре под руководством проф. И. Ю. Юсупова была разработана концепция создания автоматизированных систем принятия решений, имитирующих интеллектуальную деятельность специалистов в области организационного управления (см. прим. 1 на с. 8). В рамках концепции была исследована проблема выявления знаний экспертов, разработаны методика проведения деловых игр и методы формализации знаний для моделирования процедур принятия решений. На базе этой концепции в 1985 году началась разработка автоматизированной системы принятия решений для управления потоком материальных ресурсов, основанная на знаниях экспертов. АСПР была завершена в 1986 году и сдана в опытную эксплуатацию, затем в промышленную эксплуатацию в Госагропром БАССР. Сложная система управления «человек–техника» на базе АСПР обеспечивает различные режимы формирования управляющих воздействий: автоматический режим принятия решений в типовых ситуациях на основе знаний о поведении объекта управления; принятие решений в автоматизированном режиме на основе обобщенного опыта экспертов предметной области; режим поиска творческих решений в новых ситуациях в информационном пространстве АСПР. Для повышения уровня интеллектуальности в АСПР реализована программная обратная связь для подключения процедур анализа и корректировки автоматически выработанных решений, обучения системы на базе предыдущих этапов принятия решений и обработки новых ситуаций.

В 1992 году группа специалистов лаборатории начала разработку комплексных систем «Автоматизированное рабочее место диспетчера подвижного состава» и «Автоматизированное рабочее место старшего оператора» для железнодорожного цеха нефтеперерабатывающего завода «Уфанефтехим». Основные результаты представлены в работах [22–24].

### 3.3. Лаборатория моделирования биологических и биотехнических систем

С самого начала исследований по созданию средств помощи летчику в критических ситуациях проф. И. Ю. Юсупов постоянно ориентировал группу разработчиков методик обеспечения эффективности деятельности операторов на бионический подход при поиске способов оптимального сопряжения человека и машины. В соответствии с этим проводились исследования поведения и психологических реакций пилота в КС на тренажёрном комплексе. Это позволило сформировать систему взглядов на биологическое «звено» системы управления и показало, что результаты могут быть перенесены на другие области, такие, как биология и медицина,





Интернет-технологии взаимодействия удаленных интеллектуальных информационных систем — предмет исследований лаборатории теории принятия решений

где позволяют эффективно решать задачи создания новых методов диагностики и технических средств помощи лечащему врачу.

В конце 80-х годов проф. И. Ю. Юсупов сформулировал задачи диссертационных исследований биотехнического направления тогдашним аспирантам кафедры Р. В. Насырову и И. А. Кудряшову. В то же время проходили обсуждения материалов монографии Л. М. Бакусова по моделированию процессов гемодинамики [25]. Логическим продолжением этого явилось создание в 1988 году при кафедре АСУ лаборатории моделирования биологических и биотехнических систем (МБиБС) в рамках совместного с БГМИ Центра биомедицинской кибернетики. Научным руководителем был назначен канд. техн. наук, доц. Л. М. Бакусов.

Лаборатория с самого основания занималась теоретическими исследованиями в области биомедицинских информационных систем. В 1994 г. по инициативе проф. медицины Р. З. Амирова лаборатория участвовала в создании методик и аппаратуры электрокардиотопографии (по акад. Амирову) по международному гранту.

Второе важнейшее направление работ лаборатории было посвящено созданию автоматизированных рабочих мест хирурга-эндоскописта. Разработанная первая версия системы АРМ (авторы: доц. Л. М. Бакусов, доц. Р. В. Насыров) зарегистрирована в реестре Минздрава РФ и рекомендована к внедрению в клиниках.

За время существования лаборатории выполнено более 15 НИР, посвященных разработкам в области здравоохранения и медицины, в основном по заказу медицин-



«Эргономические очки», разработанные в лаборатории моделирования биологических и биотехнических систем, — пример конверсии знаний из авиационной эргономики в область медицины

ских учреждений. На базе лаборатории осуществляется подготовка студенческих научных и дипломных работ (более 40); подготовлены и успешно защищены 5 магистерских и 2 кандидатских диссертаций (Р. В. Насыровым, А. Н. Пашковым). Лабораторией получены более 15 российских патентов на изобретения в области медицинской техники (например, [26–28]). По результатам проведенных исследований опубликовано более 100 работ, в том числе в центральной пе-



чати более 15. Сотрудники лаборатории активно участвуют в организации и проведении учебного процесса по специальности «Инженерное дело в медико-биологической практике». Основополагающие результаты теоретических исследований в области медицинской информатики составляют научное содержание подготавливаемой докторской диссертации научного руководителя лаборатории Л. М. Бакусова. В перспективе предполагается широкое внедрение разработок лаборатории в клиническую практику.

#### 3.4. Лаборатория системного моделирования и электронного документооборота

Лаборатория системного моделирования и электронного документооборота организована в 1995 г. для исследования и разработки методов проектирования информационно-управляющих систем для производственных предприятий, государственных учреждений, коммерческих предприятий и учебных заведений. И для решения этой задачи в лаборатории разрабатываются системные проекты, моделируются производственные, организационные и информационные процессы перед внедрением интегрированных систем управления предприятием (например, ВААН, SAP R/3), производится реинжиниринг систем управления.

Общее научное руководство лабораторией осуществляет проф. Г. Г. Куликов. Ведущими консультантами лаборатории стали канд. экон. наук, зам. ген. дир. ОАО «УМПО» А. В. Речкалов, зам. ген. дир. ГУП УАП «Гидравлика» П. И. Тарарко и др. Первым руководителем лаборатории была канд. техн. наук, доц. Л. Р. Черняховская. С 1998 года лабораторией руководит канд. техн. наук, доц. А. Н. Набатов. Со дня основания в лаборатории трудятся ее молодые сотрудники — аспиранты, впоследствии защитившие кандидатские диссертации по тематике лаборатории: А. Н. Набатов, Е. Б. Старцева, Н. О. Никулина. Аспирантами, а после защиты кандидатских диссертаций и консультантами-производственниками в лаборатории были Т. К. Гиндуллина, Т. А. Троянов и др.

Системное проектирование и анализ предметной области проводятся на базе SADT-методологии или методологии UML. Разрабатываются модели предметной области с использованием CASE-средств моделирования IDEF, или соответственно ARIS или Rational Rose. В разработках используются также Интранет/Интернет-технологии.

В 1995 г. лабораторией разработан программный продукт «Интеллектуальная информационно-справочная система автоматизированной системы управления АО „УМПО“», внедренный в производственную деятельность отдела АСУП АО «УМПО». В рамках программного продукта разработаны справочники пользователей для работы с производственными базами данных. Внедрение привело к повышению быстродействия работы программного комплекса, повышению эргономичности интерфейса пользователя и усовершенствованию информационной поддержки пользователей.

В 1996 г. разработана «Методика информационного исследования документооборота», предназначенная для системного представления форм документов и реквизитов существующего, а также проектируемого документооборота. В том же году для ОАО «УМПО» разработан программный продукт «Система информационного исследования документооборота», сертифицированный РосАПО и предназначенный для автоматизации описания форм документов и пореквизитного заполнения форм документов. Полученные в результате базы данных служат основой для разработки системного проекта.

В 1997 г. лабораторией предложена «Методика проектирования системы электронного производственного документооборота». В рамках методики возможна оптимизация производственных баз данных, проведение системного анализа функций обработки документов и функций обработки реквизитов этих документов, предложена информационная поддержка для работников среднего звена управления. С ее использованием разработана подсистема учета хода производства. Предложена также «Методика проектирования системы электронного организационно-распорядительного документооборота», предназначенная для автоматизации организационно-распорядительного документооборота системы управления предприятием.

В 1998 г. разработан архив электронных инструкций — информационно-справочная система, содержащая стандарты предприятия ОАО «УМПО», реализованная с использованием Web-технологии. В рамках создания системы разработана методика наполнения электронного архива, результатом которой является модель организации электронного архива. Система электронного архива позволяет осуществлять ведение иерархической базы данных стандартов, контроль



за доступом к информации со стороны программ-клиентов, предварительную обработку данных перед ответом на запрос, взаимодействие с внешними программами через CGI. Перспектива архива электронных инструкций состоит в организации системы поддержки принятия решений на основе знаний, хранящихся в электронном архиве.

В этом же году создана «Методика проектирования информационно-управляющей системы нефтедобывающего производства», предназначенная для разработки информационно-управляющей системы «Нефтедобыча» ОАО «Роснефть–Сахалинморнефтегаз». В рамках создания методики был разработан комплекс моделей существующей автоматизированной системы управления «Нефтедобыча» и проектируемой информационно-управляющей системы «Нефтедобыча» ОАО «РН-СМНГ». В результате анализа существующей АСУ «Нефтедобыча» проведена классификация документов предметной области, на основе которой разработаны и заполнены электронные справочники документов и их реквизитов, являющиеся основой для создания структуры данных информационно-управляющей системы «Нефтедобыча».

В 1999 г. на основе Internet-технологии с возможностью последующей интеграции с SQL-базой данных на платформе Oracle разработана «Система электронного документооборота ЗАО „Сахалинморнефтегаз–Шельф“». Система предназначена для управления проектами, подрядной деятельностью, дочерними предприятиями и решения задач обеспечения деятельности.

В 2000 г. проведено предпроектное обследование бизнес-процессов ОАО «УМПО» в связи с внедрением информационно-управляющей системы ВААН. Проект посвящен разработке методического обеспечения для моделирования бизнес-процессов ОАО «УМПО» с применением методов структурного анализа. Создано формализованное описание внутриводской нормативно-справочной информации. Проведена классификация производственной информации. Разработаны инструкции моделирования бизнес-процессов для специалистов ОАО «УМПО».

В 2001 г. проведена подготовка специалистов для работы в среде интегрированной системы управления предприятием ВААН. Для этого организована учебно-научная лаборатория для проведения лабораторных и практических занятий в среде ВААН. Разработана программа курса и проведена подготовка специалистов.

Результаты исследований нашли отражение в работах [29–30].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[К разделу 1]

1. А. с. 602976 (СССР). Устройство для предупреждения аварийных ситуаций / И. Ю. Юсупов, Л. Р. Черняховская, В. В. Миронов и др. 1977.
2. А. с. 638998 (СССР). Устройство для предупреждения аварийных ситуаций / И. Ю. Юсупов, Н. М. Дубинин, В. В. Миронов, Р. Г. Нигматуллин и др. Б. И. 47, 1979.
3. А. с. 701053 (СССР). Устройство для автоматизированного переключения рабочего органа летательного аппарата в критических ситуациях / Б. Н. Петров, И. Ю. Юсупов, Б. Г. Ильясов, Р. Г. Нигматуллин, В. В. Миронов. 1978.
4. Бакусов Л. М. Исследование эффективности средств информационного обеспечения летчика при выводе из критических ситуаций // Управление сложными техническими системами: Межвуз. науч. сб. № 1 / Уфимск. авиац. ин-т. Уфа, 1977.
5. Дубинин Н. М. Методика построения автомата контроля работы летчика в критических ситуациях // Управление сложными техническими системами: Межвуз. науч. сб. № 1 / Уфимск. авиац. ин-т. Уфа, 1977.
6. Миронов В. В. Ограничение предельных режимов объектов управления в аварийных ситуациях // Управление сложными техническими системами: Межвуз. науч. сб. № 1 / Уфимск. авиац. ин-т. Уфа, 1977.
7. Муллагалиев М. М. Исследование и разработка алгоритмов системы автоматического управления по выводу сложного объекта из критических ситуаций, обусловленных изменением ресурса управления: Дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 1984.
8. Нигматуллин Р. Г. Выбор управляющих воздействий при возникновении критических ситуаций // Управление сложными техническими системами: Межвуз. науч. сб. № 1 / Уфимск. авиац. ин-т. Уфа, 1977.
9. Разработка описательных моделей возникновения и развития критических ситуаций: Отчет по НИР / Уфимск. авиац. ин-т; Науч. руковод. И. Ю. Юсупов. Уфа, 1974. Деп. в ВИНТИ 04.03.75, Б 385617.
10. Разработка структуры моделей кибернетических советчиков для летчика: Отчет по НИР / Уфимск. авиац. ин-т; Науч. руковод. И. Ю. Юсупов. Уфа, 1975. Деп. в ВИНТИ 24.12.75, Б 447453.



11. **Разработка** алгоритмов подсказывающих устройств для обеспечения безопасности полетов в критических ситуациях: Отчет по НИР / Уфимск. авиац. ин-т; Науч. руковод. И. Ю. Юсупов. Уфа, 1975. Деп. в ВИНТИ 30.12.76, Б 549973.
12. **Разработка** программ исследования эффективности подсказывающих устройств: Отчет по НИР / Уфимск. авиац. ин-т; Науч. руковод. И. Ю. Юсупов. Уфа, 1975. Деп. в ВИНТИ 30.08.77, Б 619088.
13. **Результаты** исследования эффективности взаимодействия летчика с «электронным инструктором»: Отчет по НИР / Уфимск. авиац. ин-т; Науч. руковод. И. Ю. Юсупов. Уфа, 1976. Деп. в ВИНТИ 30.12.76, Б 548852.
14. **Разработка** формализованных моделей деятельности оператора в аварийной ситуации: Отчет по НИР / Уфимск. авиац. ин-т; Науч. руковод. И. Ю. Юсупов. Уфа, 1978. Деп. в ВИНТИ 07.09.78, Б 698615.
15. **Разработка** эргономических требований к «электронному инструктору»: Отчет по НИР / Уфимск. авиац. ин-т; Науч. руковод. И. Ю. Юсупов. Уфа, 1978. Деп. в ВИНТИ 06.09.78, Б 688525.
16. **Черняховская Л. Р.** Методика построения автоматического подсказывающего устройства для анализа критических ситуаций на самолете // Управление сложными техническими системами: Межвуз. науч. сб. № 1 / Уфимск. авиац. ин-т. Уфа, 1977.
17. **Чирко В. М.** Об одном пути построения специальных решающих автоматов для летчика, обеспечивающих вывод самолета из критических ситуаций // Управление сложными техническими системами: Межвуз. науч. сб. № 1 / Уфимск. авиац. ин-т. Уфа, 1977.
18. **Юсупов И. Ю.** Выбор путей автоматизации вывода ЛА из критических ситуаций в интересах обеспечения безопасности полета // Управление сложными техническими системами: Межвуз. науч. сб. № 1 / Уфимск. авиац. ин-т. Уфа, 1977.

[К разделу 2]

19. **Куликов Г. Г.** Принципы построения цифровых систем управления ГТД. Математические модели, используемые в САПР двигателей и двигательной автоматики // **Черкасов Б. А.** Автоматика и регулирование воздушно-реактивных двигателей. М.: Машиностроение, 1988. С. 285–307, 323–343.
20. **Куликов Г. Г., Минаев И. И., Погорелов Г. И.** Основные принципы структурного и функционального построения полунатурных стендов и их применение при исследовании, отладке, доводке и испытаниях САУ двигательными и силовыми установками самолетов // *Авиационная промышленность*. 1994. № 11–12. С. 42–52.
21. **Куликов Г. Г., Флеминг П. Дж., Брейкин Т. В., Арьков В. Ю.** Марковские модели сложных динамических систем: идентификация, моделирование и контроль состояния (на примере цифровой САУ ГТД). Уфа: УГАТУ, 1998. 103 с.

[К разделу 3]

22. **Парфенова М. Я., Старцев М. А., Гликин В. И., Сабитов А. С.** Формирование управляющих воздействий АСПР в поле комплексных чисел // Повышение эффективности методов и средств обработки информации: Матер. V Всерос. науч.-техн. конф. Тамбов, 1997. С. 237–240.
23. **Парфенова М. Я., Старцев М. А., Парфенов И. И.** Разработка специального математического обеспечения автоматизированной системы принятия решений по управлению материальными потоками // Методы использования искусственного интеллекта в автоматизированных системах: Матер. региональн. сем. Куйбышев, 1990.
24. **Парфенова М. Я.** Анализ цепей обратной связи в автоматизированных системах принятия решений // Новые направления в теории систем с обратной связью: Тез. докл. I Совещ. М.: РАН, 1993. С. 86–87.
25. **Бакусов Л. М.** Некоторые модели и методы волновой гемодинамики. Уфа: УГАТУ, 1992. 53 с.
26. **Пат. RU 2066973 С1 (РФ).** Датчик мониторинной системы / Л. М. Бакусов, А. В. Савельев, И. А. Чертов. А61 В 5/04. 27.09.1996.
27. **Пат. RU 93016579/14 (РФ).** Мониторная система физиологических параметров / Л. М. Бакусов, А. В. Савельев. А61 В 5/02. № 2089094. 10.09.1997.
28. **Пат. RU 2160458 С2 (РФ).** Датчик мониторинной системы / Л. М. Бакусов, Р. В. Насыров, А. В. Савельев. 7 G02 C7/00, 7/16. 10.12.2000.
29. **Куликов Г. Г., Набатов А. Н., Речкалов А. В. и др.** Автоматизированное проектирование информационно-управляющих систем. Проектирование экспертных систем на основе системного моделирования. Уфа: УГАТУ, 1999. 223 с.
30. **Куликов Г. Г., Речкалов А. В.** Компьютерные сети на рубеже двух веков // Взгляд в XXI век. Уфа: АН РБ. С. 219–227.