

УДК 629.7.083

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Д.Ю. КИСЕЛЕВ, Ю.В. КИСЕЛЕВ

В статье рассмотрены вопросы моделирования процессов технического обслуживания и ремонта авиационной техники. Описана роль информации в вопросах повышения эффективности систем технического обслуживания. Представлена методология функционального моделирования для процессов технического обслуживания. Для моделирования возможных изменений использована имитационная модель.

Ключевые слова: функциональная модель, система технического обслуживания и ремонта, граф состояний, блок-схема, CASE-средства.

В реальной системе существует иерархия структур, в каждой из которых действуют различные, специфические для каждого уровня закономерности.

Встает вопрос о той роли, которую выполняет информация в организации сложных систем. Функциональный анализ информационных процессов в указанных системах, проведенный значительным числом исследователей, не оставляет сомнений, что информация является основным инструментом регуляции процессов направленного развития этих систем [1].

Как правило, рассматривают различные способы реализации регуляции, в частности, динамический (или статический) и информационный.

Серьезным недостатком регуляции динамическим способом является то, что она основана на прямом воздействии возмущения на регулятор и не отражает действительного состояния регулируемой системы. Кроме того, регуляция такого рода является чрезвычайно грубой, приближительной и требует больших энергетических затрат, отчего она обычно дополняется или заменяется вообще регуляцией по принципу обратной связи, т.е. не динамической, а информационной.

Информационный способ регуляции имеет перед динамической ее формой чрезвычайно большое преимущество. Это преимущество заключается в том, что регулирующая система затрачивает во много раз меньше энергии сравнительно с тем преобразованием, которое нужно произвести в регулируемой системе. При этом главный выигрыш проявляется в увеличении мобильности и сокращении до минимума продолжительности регуляции.

Как правило, функция управления входит в число тех, какие выполняются в тесной связи с информационными явлениями и образованиями, поскольку принятие решения всегда означает выбор одного или нескольких из большего числа возможных, а выбор – одна из основ информации.

Вопросы повышения эффективности управления столь необходимого для сложно организованной деятельности, становятся в условиях современной новой техники особенно актуальными. При этом одним из важнейших этапов этого процесса является извлечение информации, закодированной в структурах сложноорганизованных систем.

Таким образом, развертывание информации для нужд управления, в частности систем технического обслуживания, составляет один из важнейших узловых пунктов совершенствования организаторской деятельности при модернизации и создании высокоэффективных систем обслуживания.

Техническая эксплуатация воздушных судов гражданской авиации, сложнейших изделий машиностроения, включает систему технического обслуживания и ремонта (ТОиР) ВС на протяжении их жизненного цикла, осуществляемого в рамках организационных структур инженерной авиационной службы авиакомпаний.

Система ТОиР представляет собой сложную организационную структуру, которой присуще наличие единой цели, управляемость, взаимосвязь элементов, иерархичность структуры. Структура системы ТОиР представляет совокупность взаимосвязанных компонентов: ВС, средств ТОиР, исполнителей и устанавливающей правила их взаимодействия документации для поддержания надежности и готовности ВС к полетам (рис. 1) [2; 3].

Целью этой системы является управление техническим состоянием воздушного судна в течение их срока службы или ресурса для обеспечения поддержания и восстановления летной годности ВС с минимальными затратами труда и средств на выполнение технического обслуживания и ремонта.

Целостность и организованность системы ТОиР поддерживается опосредственной функциональной связью, которая связана с хорошо дифференцированной системой информации. Она закреплена в виде программы ТОиР. Цель и программа выработаны заранее, и именно в процессе их выработки и осуществляется взаимодействие компонент системы, а дальнейшее их организованное поведение определяется результатом этой взаимосвязи.

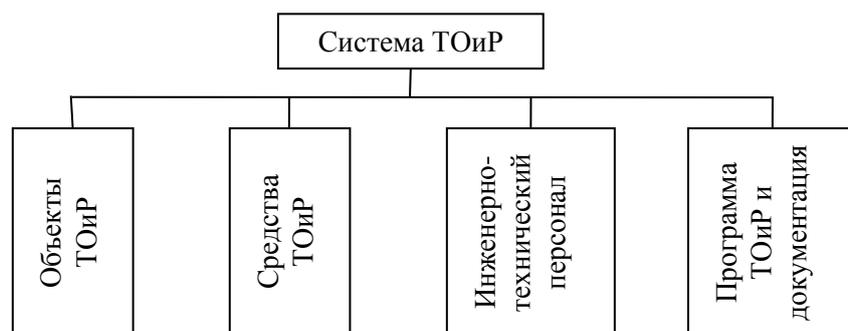


Рис. 1. Структура системы технического обслуживания и ремонта

От эффективности системы ТОиР непосредственно зависит безопасность и регулярность полетов и, следовательно, эффективность технической эксплуатации ВС в целом.

В свою очередь совершенство системы ТОиР определяется, прежде всего, тем, насколько четко обеспечивается взаимодействие между всеми звеньями системы, то есть от совершенства эксплуатационно-технической документации по ТОиР, в которой устанавливаются правила этого взаимодействия.

Информация сегодня является одним из основных факторов, который обеспечивает эффективное управление сложными проектами и, в частности, эффективное взаимодействие между всеми звеньями системы ТОиР.

Для выявления целей, состава и содержания организационных проектов, в том числе связанных с автоматизацией послепродажного обслуживания, организации планирования и контроля процессов осуществления проектов используется множество методов моделирования.

В целях изучения, анализа и оценки существующих моделей технической эксплуатации проведем их анализ.

Описание и анализ действующей системы технической эксплуатации проводится с использованием графов состояний и переходов, выделяя разное количество состояний от 11 до 21 [3]. Основным критерием для оценки служат временные затраты. При неоднозначном выделении определенных состояний и переходов между ними представляется достаточно сложная задача для расчета показателей эффективности системы ТО и в случае выявления недостатков и при-

нятия мер, направленных на их устранение, в силу разного количества состояний и отсутствия описания взаимодействия всех участников процесса, это представляется достаточно проблематично. На эффективность процесса ТО кроме его структуры влияет и взаимодействие всех составляющих процесса (квалификация персонала, его численность, наличие материальных средств). Так же с усложнением процесса увеличивается, и сложность его описания, в силу более разветвленной структуры, и затрудняется наглядное представление процесса. При динамическом изменении процесса в случае графа причинно-следственных связей, данная динамика не будет отражена, так данный метод подходит для хорошо формализованных процессов.

Оценка регламентируемых процессов должна производиться с точки зрения затрат времени, необходимых для выполнения процессов.

Для оценки эффективности необходимо построить адекватную модель процесса технической эксплуатации.

Данная модель системы должна отвечать ряду требований и учитывать недостатки метода графа причинно-следственных связей. К таким требованиям относятся:

- возможность построения модели по иерархическому принципу;
- достаточная декомпозиция модели до требуемого уровня;
- возможность поэтапного создания модели;
- разделение функций участников проекта по созданию модели и итеративный характер ее рецензирования;
- возможность применения типовых моделей или распространение созданной модели на другие типы предприятий отрасли;
- возможность описания взаимодействия между элементами модели с определением управляющих воздействий (управление моделью, процессом, операцией, действием);
- гибкость системы к изменениям. Возможность использования динамических моделей;
- простота и точность описания объектов модели, одновременное документирование процессов;
- наглядность представления при большой сложности системы.

Для формализации функционального аспекта могут быть предложены блок-схемы, IDEF-диаграммы и подобные методы, используемые в современных CASE-средствах. Основной особенностью описанных средств формальной регламентации процессов является их ориентация на фиксацию экспертных решений в наглядной графической форме.

В большей степени методологией создания функциональных моделей, отвечающих этим требованиям, является моделирование систем при помощи IDEF0.

Методология функционального моделирования IDEF0 представляет собой использование совокупности методов, правил и процедур, предназначенных для построения функциональных спецификаций сложных иерархических систем, и может быть применима для моделирования множества бизнес-процессов предприятия [4].

Основной принцип, заложенный в методологии IDEF0, состоит в пошаговой нисходящей декомпозиции процессов до уровня, определенного целями функционального моделирования. Каждый шаг декомпозиции соответствует некоторому уровню детализации процессов.

Разработка функциональной модели – это создание функциональных спецификаций с помощью набора графических знаков, помеченных предложениями на естественном языке, и правил их применения в виде графических диаграмм, описывающих состав и взаимосвязи процессов на одном или нескольких уровнях абстрагирования.

В методологии IDEF0 возможность адекватного восприятия смысла построенной различными специалистами функциональной спецификации обеспечивается за счет неформальных вербальных описаний (комментариев). Эти комментарии задаются разработчиками на основе своего понимания функционально специфицируемой предметной области и никак не связаны с формальными конструкциями языка IDEF0.

В настоящее время присутствуют алгоритмы и их компьютерные реализации, позволяющие превращать набор статических диаграмм IDEF0 в динамические модели, например, построенные на базе «раскрашенных сетей Петри».

Документирование технологических процессов целесообразно описать при помощи методологии IDEF3 имеющей прямую взаимосвязь с методологией IDEF0 – каждая функция (функциональный блок) может быть представлена в виде отдельного процесса средствами IDEF3. Описание последовательности технологических операций IDEF3 составлено из действий, связей и перекрестков. Отношения между действиями смоделированы с тремя типами связей, связей предшествования, относительных связей и объектных связей потока.

Для описания потоков данных и разработке требований к информационной системе организации существует методология DFD [5], которая позволяет отразить последовательность работ, выполняемых по ходу процесса и потоки информации, циркулирующие между этими процессами. Так же методология DFD позволяет отразить документооборот и потоки материальных ресурсов от одной работы к другой.

Для проверки правильности функциональных моделей применяются имитационные модели. Такие модели представляют собой алгоритм, который шаг за шагом воспроизводит процессы, происходящие в системе. Это дает возможность за короткий срок воспроизвести работу системы, что позволит оценить её работу в широком диапазоне варьируемых параметров.

Существуют специальные языки имитационного моделирования, которые облегчают создание модели по сравнению с использованием универсальных языков программирования. Кроме языков для узкого класса изучаемых систем существуют системы имитационного моделирования, позволяющие обойтись без программирования.

Для представления системы ТО предлагается использование средств формализации, таких как:

- описания функций и взаимодействия объектов с целью определения эффективности системы может быть использована методология IDEF0;
- описание потоков работ при помощи IDEF3 методологии;
- описание потоков информации при помощи DFD.

Последним элементом, до которого производится детализация функциональной системы, является простейший элемент, разложение которого на составные части не представляется возможным.

Процесс поддержания ВС в исправном состоянии осуществляется в рамках системы ТО. В качестве исходной информации для осуществления данного процесса выступают заявки (которые содержат перечень работ и могут содержать описание отказа или дефекта), требования (на оказания услуг), запросы (на доработку технической документации или для продления ресурса ВС), документы об условиях эксплуатации. В результате обработки заявок и требований решается, какие виды работ должны быть проведены на ВС. При выполнении заявок и требований определяются ответственные за их исполнение, а также документация, используемая при выполнении задач.

Методология IDEF3 предназначена для описания потоков работ. IDEF3 – способ описания процессов с использованием структурированного метода, позволяющего эксперту в предметной области представить положение вещей как упорядоченную последовательность событий с одновременным описанием объектов, имеющих непосредственное отношение к процессу.

Для иллюстрирования функциональных блоков IDEF0 может быть применено построение IDEF3-моделей.

Диаграммы потоков данных (DFD) – методология графического структурного анализа, описывающая внешние по отношению к системе источники и адресаты данных, логические функции, потоки данных и хранилища данных, к которым осуществляется доступ.

Необходимость использования DFD диаграмм заключается в потребности описать существующие в структуре организации потоки данных. Описания могут создаваться по двум признакам: процессному или функциональному. В первом случае получается модель производственных процессов в формате DFD, во втором – схема обмена данными между подразделениями.

DFD описывает:

- функции обработки информации (работы);
- документы (стрелки), объекты, сотрудников или отделы, которые участвуют в обработке информации;
- внешние ссылки, которые обеспечивают интерфейс с внешними объектами, находящимися за границами моделируемой системы;
- таблицы для хранения документов (хранилище данных).

На рис. 2 представлен пример диаграммы потоков данных при выполнении работ по монтажу обратного клапана. Показаны хранилище данных и хранилище инструментов, а также взаимосвязь элементов производственного процесса.

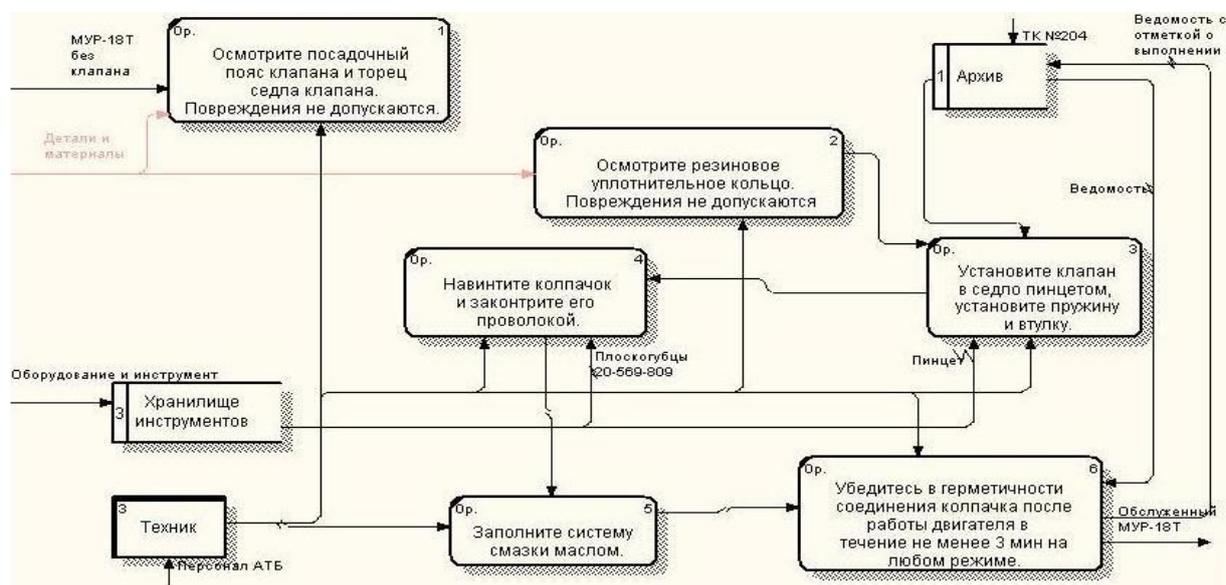


Рис. 2. Диаграмма потоков данных работы по монтажу обратного клапана

По диаграммам DFD мы имеем возможность определить необходимые ресурсы при выполнении операций, определить движение информационных и ресурсных потоков. Совместное использование DFD диаграмм и IDEF3 и дальнейшее преобразование функциональной модели в имитационную позволяет более точно определить параметры процесса, найти «узкие» места, зависящие как от наличия свободных ресурсов, так и от квалификации исполнителей.

При подробном описании конкретных технологических процессов функциональное моделирование является недостаточным. Для этих целей целесообразно использовать имитационное моделирование.

Имитационное моделирование – это метод, позволяющий строить модели, описывающие процессы так, как они проходили бы в действительности. Такую модель можно «проиграть» во времени как для одного испытания, так и для заданного их множества. При этом результаты будут определяться случайным характером процессов. По этим данным можно получить достаточно устойчивую статистику.

Такое моделирование дает возможность пользователю экспериментировать с системами (существующими или предлагаемыми) в тех случаях, когда делать это на реальном объекте

практически невозможно или нецелесообразно. Имитационная модель помогает понять сложные системы, предсказать их поведение и развитие процессов в различных ситуациях и, наконец, дает возможность изменять параметры и даже структуру модели, чтобы направить эти процессы в желаемое русло. Модели позволяют оценить эффект планируемых изменений, выполнить сравнительный анализ качества возможных вариантов решений.

Плюсом имитационного моделирования является то, что временем в модели можно управлять: замедлять в случае с быстропротекающими процессами и ускорять для моделирования систем с медленной изменчивостью.

Имитационное моделирование является экспериментальной и прикладной методологией, имеющей целью:

- описать поведение систем;
- построить теории и гипотезы, которые могут объяснить наблюдаемое поведение;
- использовать эти теории для предсказания будущего поведения системы, т.е. тех воздействий, которые могут быть вызваны изменениями в системе или изменениями способов ее функционирования.

Создавать имитационные модели без предварительного анализа бизнес-процессов не всегда представляется возможным. Действительно, не поняв сути бизнес-процессов предприятия бессмысленно пытаться оптимизировать конкретные технологические процессы. Поэтому функциональные модели и имитационные модели не заменяют, а дополняют друг друга, при этом они могут быть тесно взаимосвязаны.

Функциональная модель определяет количество элементов структурной модели, которые должны определять, сколько необходимо иметь различных информационных точек.

При имитационном моделировании структура моделируемой системы – ее подсистемы и связи – непосредственно представлена структурой модели, а процесс функционирования подсистем, выраженный в виде правил и уравнений, связывающих переменные, имитируется на компьютере.

Совместное использование CASE-инструмента построения функциональной модели и системы имитационного моделирования позволяет наиболее эффективно оптимизировать технологические процессы практически в любой сфере деятельности, в том числе и в системе ТО.

Имитационное моделирование состоит из двух больших этапов: создания модели и анализа построенной модели с целью принятия решения.

Имитационная модель включает следующие основные элементы: источники и стоки, процессы и очереди. Источники – это элементы, от которых в модель поступает информация или объекты. Скорость поступления данных или объектов от источника обычно задается статистической функцией. Сток – это устройство для приема информации или объектов. Понятие очереди близко к понятию хранилища данных – это место, где объекты ожидают обработки. Времена обработки объектов (производительность) в разных процессах могут быть разными. В результате перед некоторыми процессами могут накапливаться объекты, ожидающие своей очереди. Часто целью имитационного моделирования является минимизация количества объектов в очередях. Тип очереди в имитационной модели может быть конкретизирован. Очередь может быть похожа на стек – пришедшие последними в очередь объекты первыми отправляются на дальнейшую обработку.

В качестве примера приведена имитационная модель ТО конкретного объекта (маслоагрегата МА-18 двигателя Д-18) (рис. 3), построенная на основе IDEF3 и DFD моделей.

По результатам имитационного моделирования проведен анализ производственного процесса ТО. Получены временные характеристики производственного процесса в зависимости от наличия свободных ресурсов и возникающих ситуаций на входе ТО.

На рис. 4 представлен результат расчета времени затрат на ТО одного изделия. Для получения устойчивой статистики проведены расчеты временных затрат на ТО 1000 изделий. Величиной измерения является время в минутах, затраченных на ту или иную операцию.



Рис. 3. Имитационная модель процесса технического обслуживания обратного клапана маслонасоса

Суммарное время

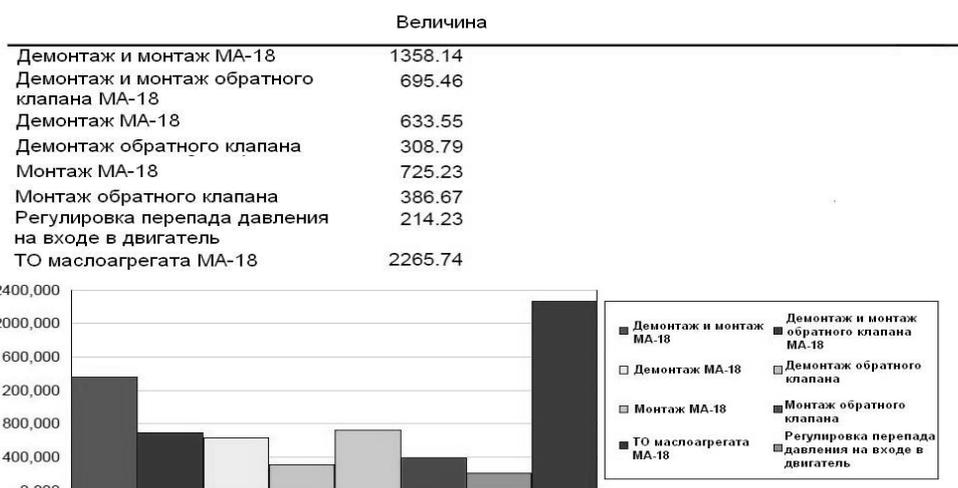


Рис. 4. Расчет временных характеристик на основе имитационной модели

По рис. 4 можно определить на какую операцию по ТО затрачивается наибольшее количество времени и, проанализировав ее, можно предложить мероприятия по сокращению её продолжительности, с учетом сохранений требований по обеспечению безопасности полетов.

Таким образом, подход, при котором используется создание функциональной модели системы при помощи нотации IDEF0, дополнение ее диаграммами IDEF3 и DFD, а затем дальнейшее преобразование их в имитационную модель позволяет более детально изучить моделируемый процесс, описать все составляющие его элементы, определить точки, требующие корректировки, повышенного внимания для успешной реализации процессов, протекающих в системе, а также показать место человека в процессе, его взаимодействие с другими элементами производственного процесса. Данный подход является наиболее предпочтительным по сравнению с тем, как до настоящего времени (с использованием графоаналитического подхода) описывалось изменение состояний, в которые попадает ВС в производственном процессе ТО в частности и системы технической эксплуатации в целом. Для понимания взаимодействия человека с остальными составляющими производственного процесса необходимо рассмотреть саму организацию системы ТО и взаимодействие человека в ней.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бочкарев С.К., Зрелов В.А., Киселёв Д.Ю., Киселёв Ю.В., Проданов М.Е. Информационная поддержка этапа технической эксплуатации в жизненном цикле изделий авиационной техники // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева. Самара, 2007. Вып. 1(12). С. 236-246.
2. Смирнов Н.Н., Владимиров Н.И., Чинючин Ю.М. [и др.] Техническая эксплуатация летательных аппаратов: учеб. для вузов. М.: Транспорт, 1990. 423 с.
3. Смирнов Н.Н., Чинючин Ю.М. Техническая эксплуатация самолетов за рубежом. М.: МИИГА, 1992. 112 с.
4. Кузьмик П.К., Норенков И.П. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии. М.: Изд-во МГТУ им. П.Э. Баумана, 2002. 320 с.
5. Соломенцев Ю.М. Информационно-вычислительные системы в машиностроении. CALS-технологии. М.: Наука, 2003. 290 с.

AN INTEGRATED APPROACH FOR MODELLING OF
AIRCRAFT MAINTENANCE PROCESSES

Kiselev D.Yu., Kiselev Yu.V.

The paper deals with modeling of the processes of maintenance and repair of aircraft. The role of information in improving the effectiveness of maintenance systems is described. The methodology for functional modelling of maintenance processes is given. A simulation model is used for modelling possible changes.

Keywords: functional model, system of maintenance and repair, state graph, block diagram, CASE-tools.

REFERENCES

1. Bochkarev S.K., Zrellov V.A., Kiselev D.Yu., Kiselev Yu.V., Prodanov M.E. Informatsionnaya podderzhka etapa tekhnicheskoi ekspluatatsii v zhiznennom tsikle izdelii aviastroeniya. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aéro-kosmicheskogo universiteta imeni akademika S.P. Koroleva*, 2007, vol. 1, no. 12, Pp. 236-246. (In Russian).
2. Smirnov N.N., Vladimirov N.I., Chinyuchin Yu.M. i dr. *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya letatel'nykh apparatov*, M., Transport, 1990. 423 p. (In Russian).
3. Smirnov N.N. *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya samoletov za rubezhom*. M., MIIGA, 1992. 112 p. (In Russian).
4. Kuz'mik P.K., Norenkov I.P. *Informatsionnaya podderzhka naukoemkikh izdelii*. CALS-tekhnologii. M., MGТУ im. P.E. Baumana, 2002. 320 p. (In Russian).
5. Solomentsev Yu.M. *Informatsionno-vychislitel'nye sistemy v mashinostroenii*. CALS-tekhnologii. M., Nauka, 2003. 290 p. (In Russian).

Сведения об авторах

Киселев Денис Юрьевич, 1983 г.р., окончил СГАУ (2006), кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации авиационной техники СГАУ, автор более 15 научных работ, область научных интересов – оптимизация процессов технического обслуживания.

Киселев Юрий Витальевич, 1948 г.р., окончил КуАИ (1972), доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации авиационной техники СГАУ, автор более 60 научных работ, область научных интересов – диагностика авиационной техники.