

И.В.Пасекунов, кандидат технических наук

Техническая эффективность применения авиационных тренажеров

В статье рассмотрены факторы, оказывающие наибольшее влияние на эффективность использования авиационных тренажеров (АТр). Проанализировано влияние основных эксплуатационных показателей на техническую эффективность. Подробно рассмотрено распределение затрат рабочего времени АТр на примере одной смены обучения. Выявлена и обоснована необходимость перехода к эксплуатации АТр по техническому состоянию, как одному из способов минимизации временных и материальных затрат. На основе проведенного автором исследования предлагается выделить комплекс организационно-технических мероприятий, направленных на сокращение времени простоя оборудования, приводится перечень указанных мероприятий, формулируются основные составляющие подготовительно-заключительных операций тренировки, определяющие основные режимы работы АТр, приводящие к нерациональному использованию ресурса оборудования.

Введение

В настоящее время возобновились поставки современных авиационных тренажеров (АТр) в центры подготовки летного состава, авиационные училища и строевые части. Кроме того, реализуются программы создания новых образцов авиационной техники (АТ), которые требуют опережающей разработки и поставки технических средств обучения для летного состава.

Необходимо отметить, что основной объем поставок авиационных тренажеров обеспечивают предприятия, сумевшие в конкуренции добиться успехов в производстве тренажеров нового поколения и закрепиться на рынке, перейдя от единичных поставок к серийному производству широкой номенклатуры технических средств обучения (ТСО). Однако, ответственный подход к разработке и производству ТСО требует и соответствующего анализа эффективности использования АТр.

В рамках данной статьи рассмотрены основные положения существующих методик оценки технической эффективности использования АТр и пути их доработки для тренажеров нового поколения.

Техническая эффективность применения тренажера

Под технической эффективностью применения авиационного тренажера понимается обобщенный, интегральный показатель качества тренажера как технического устройства обучения авиационных специалистов [1, 2], который определяется как внутренними свойствами тренажера (значениями технико-эксплуатационных характеристик), так и условиями, в которых тренажер применяется в соответствии со своим функциональным предназначением. При этом надежность тренажера и его систем, а также методы и затраты на обеспечение его заданного уровня является одним из важнейших свойств, формирующих обобщенную оценку эффективности. С другой стороны, порядок использования тренажера, минимизация его простоев и эффективность использования по основному назначению за счет организационно-технических решений также влияют на данный показатель.

1. Влияние основных показателей на эффективность использования тренажера

Существующая методика оценки технической эффективности применения авиационных тренажеров в ВВС РФ построена на

оценке потерь времени, в течение которого тренажер должен использоваться по непосредственному назначению, в процессе оперативного, планового и внепланового технического обслуживания [1, 2].

Рассмотрим основные составляющие, определяющие техническую эффективность использования АТр, проиллюстрированные на рисунке 1.

Общее время рабочей смены может быть затрачено на [1]:

- 1) оперативное и плановое техническое обслуживание (ТО);
- 2) включение и подготовку тренажера к работе, а также выключение по окончании рабочей смены;
- 3) планирование подготовки;
- 4) постановку учебной задачи экипажу и смену летного состава в кабине;

- 5) изменение условий тренировки;
- 6) собственно проведение тренировки;
- 7) проведение разбора полета и выставление оценки с выдачей документированных результатов;
- 8) создание и отработку новых учебных сценариев или корректировку существующих;
- 9) проведение ремонтно-восстановительных работ при отказах оборудования АТр;
- 10) потери времени при восстановлении тренажера за время, меньшее необходимого для проведения тренировки, до окончания смены.

Отдельно необходимо рассматривать потери времени на проведение плановых ремонтов, включая контрольные облеты тренажера.



Рисунок 1 – Распределение затрат рабочего времени (затраты нормированы к продолжительности рабочей смены)

Необходимо отметить, что затраты времени, соответствующие пунктам 1, 2, 9, 10 и плановым ремонтам, определяются, в первую очередь, показателями надежности используемого оборудования, программного обеспечения и конструктивными особенностями тренажера, а затраты по пунктам 3-8 – еще и применяемыми методами организации работ в общей системе наземной и тренажной подготовки с использованием ТСО.

Анализ диаграммы, приведенной на рисунке 1, показывает, что до 50% времени рабочей смены используется нерационально. Ниже рассмотрены основные факторы, определяющие непроизводительные затраты времени в процессе обучения с использованием Атр.

1.1. Влияние показателей надежности

В основе существующей методики оценивания технической эффективности применения авиационного тренажера [1, 2] лежит свойство надежности. Применительно к тренажеру наибольшее влияние на эффективность его использования оказывают свойства безотказности и ремонтпригодности, увеличение которых приводит к существенному

снижению потерь времени на техническое обслуживание и ремонт АТр.

Основной задачей всего процесса организации эксплуатации тренажера является обеспечение заданного объема тренировок на протяжении определенного интервала времени. В качестве показателя эффективности используется отношение реального и потенциального годового «налета» на тренажере. При этом потенциальный (расчетный) «налет» Q_n , который обеспечивается тренажером, определяется параметрами технической эксплуатации, с учетом потерь рабочего времени, указанных в п. 1.1.

Коэффициенты потерь времени k_0 на оперативное ТО и k_n на плановое ТО [1] используются для оценки влияния на потенциальный годовой «налет» продолжительности ТО и оперативных потерь ресурса. На рисунке 2 представлены характеристики изменения потенциального годового «налета» Q_n для различных значений k_0 и k_n , а также усредненное расчетное значение для серийно выпускаемых ЗАО «РАА «Спецтехника» тренажеров (СТБП-130, СТБП-25СМ, СТБП-27СМ и т.п.).

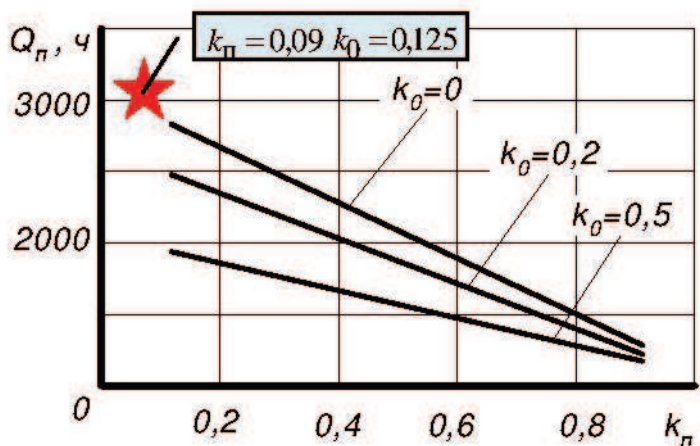


Рисунок 2 – Характеристики изменения потенциального годового «налета» (звездочкой отмечено значение $Q_n = 3170$ ч для СТБП-130)

В качестве мероприятий по повышению надежности необходимо отметить:

- применение отработанных схемно-технических решений, успешно апробированных

в предыдущих изделиях производителя. Классический вариант повышения надежности систем современных АТр за счет резервирования практически не применяется

из-за его нецелесообразности с учетом соотношения цена-эффективность и отсутствия катастрофических последствий отказов;

- ужесточение требований к комплектующим, включая изделия вычислительной техники, с обеспечением выходного контроля у ее поставщиков и входного контроля на предприятии-изготовителе АТр;
- повышение надежности программного обеспечения (ПО), т.е. минимизация числа невыявленных ошибок, защищенность исполняемых модулей и баз данных, устойчивость к ошибкам пользователей, отказам оборудования и детерминированные (или прогнозируемые) действия в случае их возникновения;
- применение средств защиты от неправильных действий обслуживающего персонала;
- включение профилактических работ по обслуживанию систем охлаждения вычислительной техники в перечень краткосрочного (чистка воздушных каналов, удаление пыли) и долгосрочного (замена теплоотводящей пасты радиаторов процессоров, вентиляторов систем охлаждения) планового технического обслуживания;
- применение средств контроля и диагностики состояния систем АТр в эксплуатации – системы контроля работоспособности (СКР), обеспечивающей оперативность поиска неисправностей и глубину поиска до блока;
- применение средств удаленной диагностики разработчиком состояния АТр с анализом возникших неисправностей и условий их возникновения;
- обеспечение высокого уровня ремонтной пригодности;
- обеспечение необходимых условий эксплуатации.

1.2. Надежность программного обеспечения

Программное обеспечение (ПО) вычислительной системы современного АТр – одна из

наиболее значимых, сложных и дорогостоящих компонент, реализующая как управление работой тренажера в целом, так и решение всего комплекса частных задач по имитации внешнего мира, самолета и его систем, обеспечения методических и эксплуатационных возможностей АТр.

Степень надежности ПО характеризуется вероятностью работы программного продукта без отказа в течение определенного периода времени.

К числу основных факторов, влияющих на надежность ПО относятся¹:

- взаимодействие ПО с внешней средой (программно-аппаратная средства ВС АТр, операционная система);
- взаимодействие с человеком (разработчиком и пользователями: инструктором, обслуживающим персоналом);
- организация ПО (проектирование, постановка задачи, а также способы их достижения и реализации) и качество его разработки. Этот фактор вносит наибольший вклад в надежность ПО;
- тестирование.

Основные способы обеспечения и повышения надежности ПО, применяемые при разработке современных АТр:

- совершенствование технологии программирования. При проектировании ПО большое внимание уделяется проработке архитектуры разрабатываемых систем, интерфейсов и протоколов взаимодействия компонентов друг с другом либо с внешними системами. Используется резервирование каналов связи, реализация каналов с гарантированной доставкой, контроль типов передаваемых и принимаемых данных, защита ресурсов от несанкционированной модификации;
- резервирование программ – N-версионное программирование, при этом каждая выпускаемая версия ПО проверяется на соответствие поставленным требованиям;

1 <http://gendocs.ru/v300/?download2=1>

- верификация и валидация программ с последующей коррекцией. В ходе работы над каждой версией ПО осуществляется многоуровневое тестирование: модульное, интеграционное тестирование, тестирование производительности и безопасности, тестирование документации, непрерывная верификация ПО. В ходе разработки используются автоматизированные средства выявления ошибок – средства статического и динамического анализа исходного кода программ.

Тем не менее, в процессе отладки ПО практически невозможно обнаружить и ликвидировать все ошибки. Согласно данным разработчиков методологии расчета надежности ПО [8] в нем может оставаться от 0,25 до 10 ошибок на 1000 команд в зависимости от сложности ПО и его отработанности. Скрытые ошибки ПО, как правило, проявляются в процессе эксплуатации внезапно и являются следствием проявления скрытых ошибок в программе, выявляемых при определенном сочетании входных данных. Поэтому важной

характеристикой надежности ПО является его восстанавливаемость, которая определяется технологичностью процесса устранения выявленных ошибок без внесения ошибок второго рода. Устранение скрытых ошибок ПО может быть выполнено только его разработчиками на основе документированной системой контроля работоспособности информации о проявлениях ошибок на этапе эксплуатации. В связи с этим, большое внимание при разработке АТр уделяется созданию средств удаленной диагностики работоспособности ПО, выявлению сбоев и причин их возникновения, разработки и обновления на АТр новых версий ПО.

1.3. Влияние условий эксплуатации

Уменьшение времени простоев АТр при выполнении ремонтно-восстановительных работ напрямую связано с повышением долговечности за счет обеспечения комфортных условий эксплуатации его оборудования.

Распределение влияния основных внешних воздействующих факторов (ВВФ) на отказы вычислительной техники [6] приведено на рисунке 3.

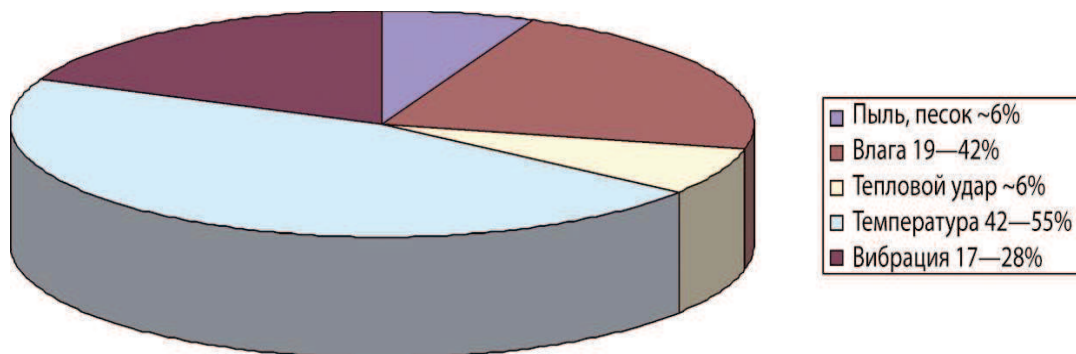


Рисунок 3 – Распределение отказов по видам внешних воздействующих факторов

В соответствии с требованиями типовых ТЗ тренажер по стойкости, прочности и устойчивости к климатическим воздействиям при эксплуатации должен удовлетворять требованиям, предъявляемым к аппаратуре стационарных помещений группы 1.1 ГОСТ РВ 20.39.304-98 для климатического исполнения «УХЛ», устанавливаемых в постоянно отапливаемых помещениях и сооружениях, и должен быть работоспособен в следующих условиях:

- относительной влажности не более 80% при температуре плюс 25°C;
- воздействия пониженной рабочей (+5°C) и после воздействия пониженной предельной (-10°C) температуры окружающей среды;
- воздействия повышенной рабочей (+35°C) и после воздействия повышенной предельной (+50°C) температуры окружающей среды.

Для обеспечения выполнения указанных требований оборудование АТр включает системы охлаждения и вентиляции вычислительной системы и других ответственных систем тренажера, которые располагаются в помещениях с круглосуточно регулируемой температурой и влажностью.

С другой стороны, известно¹, что, например, температурный режим с диапазонами:

1) +5..+10 °С – уменьшает срок службы компьютера на 5%;

2) +10..+15°С – уменьшает срок службы компьютера на 3%;

3) +15..+25°С – является нормальным температурным режимом. На срок службы компьютера отрицательно не влияет;

4) +25..+35°С – уменьшает срок службы компьютера на 35%.

В связи с этим, разработчики и изготовители АТр для оптимальной работы оборудования тренажера обычно рекомендуют условия эксплуатации, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Условия эксплуатации оборудования тренажера.

Параметры	Значение
Диапазон рабочей температуры окружающей среды	+5°С ... +30°С
Рекомендуемая рабочая температура	20 ± 4°С
Диапазон значений относительной влажности помещений	20% ... 80% (без конденсата)
Рекомендуемая относительная влажность	60 ± 10% при t = +25°С
Запыленность воздуха в зоне размещения вычислительного комплекса и в тренажерном зале	≤ 0,75 мг/м ³
Запыленность воздуха в помещениях	≤ 2 мг/м ³
Размеры частиц пыли (атм. пыль, сажа, дым, споры, асбест).	≤ 3 мкм

Дополнительно в помещениях тренажерного комплекса устанавливаются климатические датчики, с помощью которых система контроля работоспособности тренажера обес-

печивает мониторинг климатических условий и выдает рекомендации по возможности эксплуатации тренажера, а также управляет системами климат-контроля вычислительной системы тренажера и систем принудительной вентиляции.

Достаточно жесткие требования также устанавливаются для электроснабжения тренажера и его заземления. Конструктивно система электропитания тренажера штатно защищена устройством бесперебойного питания, а также оборудуется средствами защиты от перегрузок и коротких замыканий, средствами сигнализации срабатывания защиты, приборами контроля параметров электропитания.

2. Особенности эксплуатации АТр по состоянию

Одним из методов повышения технической эффективности применения АТр за счет минимизации временных и материальных затрат на техническое обслуживание является переход на эксплуатацию по состоянию с контролем параметров или с контролем уровня надежности. Для АТр самолетов военного назначения управление техническим состоянием заключается в обеспечении заданного уровня надежности и эффективности применения АТр при минимальных затратах на ее эксплуатацию.

В этом случае тренажер эксплуатируется без установления межрегламентного ресурса до появления отказа [1]. Работы по техническому обслуживанию, связанные с предупреждением появления отказов, проводятся в установленные в РЭ сроки, а работы, связанные с восстановлением, заменой и регулировкой блоков, выполняются только по результатам технической диагностики, прогноза состояния или проявления внезапных отказов. В этом случае объем работ зависит только от фактического состояния АТр. При этом не только уменьшается время на проведение технического обслуживания, но и снижается

1 <http://www.b2b.virtofvm.ru/Stat'i.html>

ущерб от проявления единичного отказа за счет исключения взаимосвязанных отказов.

Таким образом, стратегия управления по состоянию реализует принцип управления с обратной связью и применима для систем с высоким уровнем контролепригодности.

Поскольку большая часть оборудования современного АТр так или иначе построена на компонентах вычислительной техники, возможно ее разделение на две группы устройств:

- элементы с внезапными отказами, к которым относятся электронные компоненты (микросхемы);
- элементы с постепенными отказами, включающие разъемные соединения, запоминающие устройства (НЖМД, DVD(CD)-RW), механические и электромеханические системы (приводы дисков, имитаторы органов управления, электро-механические приборы и т.п.).

При этом следует отметить, что интенсивность отказов устройств первой группы ($10^{-6} \dots 10^{-9} \text{ ч}^{-1}$) существенно меньше, чем у второй ($2,5 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$ для НЖМД) и ($2,5 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$ для разъемных соединений).

В связи с этим, прогнозирование сбоев и внезапных аппаратных отказов может базироваться на косвенных параметрах и вероятностных оценках, использующих предыдущий опыт работы с подобными системами и анализ логики схожих механизмов отказов [4], а также применении математических моделей, объективно описывающих процесс изменения состояния контролируемых систем и его идентификация.

В этих целях широко используется метод FMEA (Potential Failure Mode and Effects Analysis) – индуктивный анализ потенциальных отказов системы с классификацией по вероятности появления и серьезности последствий. Метод также является одной из форм оценки проекта в целом с целью выявления слабых мест проектирования и реализации.

Наиболее проработаны методы прогнозирования аппаратных постепенных отказов на основе дрейфа значений определенных параметров, например, в связи с износом.

Существующие в настоящее время технологии контроля состояния оборудования и дистанционного управления позволяют обеспечивать:

- удаленное и локальное управление питанием (включение, выключение, перезагрузка системы);
- мониторинг температуры, напряжения, скорости вращения вентиляторов и множества других датчиков;
- установку пороговых значений для параметров системы (напряжение, температура, количество ошибок памяти и прочее). Пороговые значения используются для занесения в список ошибок и отправки сообщений об этом разработчику;
- протоколирование системных событий SEL (System Event Log);
- настройку автоматических действий на системные события PEF (Platform Event Flag). Среди возможных действий системы могут быть следующие: оповещение, выключение, перезагрузка, сброс содержимого памяти в файл для последующей диагностики;
- настройку действий на сторожевой таймер (watchdog) – устройство, с установленной частотой посылающее запросы операционной системе, и при отсутствии ответа от нее, выполняющее определенное действие, например, перезагрузку;
- считывание и установка световых индикаторов системы;
- считывание информации FRU (Field Replaceable Unit) (серийный номер, описание) для потенциально съемных устройств;
- разграничение прав доступа к сервис-процессору. Например, могут быть следующие роли: Administrator – полный доступ к возможностям сервис-процессора; Operator – просмотр и очистка протоколов, включе-

ние и выключение платформы; User – просмотр основного состояния системы;

- смену типа носителя для загрузки системы (PXE, CD/DVD, HDD) и удаленный доступ к последовательному интерфейсу SOL (Serial over LAN).

В перечень вышеуказанных используемых технологий входят:

- S.M.A.R.T. (от англ. self-monitoring, analysis and reporting technology) – технология внутренней оценки состояния жесткого диска компьютера; а также механизм предсказания возможного выхода его из строя;
- IPMI (от англ. Intelligent Platform Management Interface) – интеллектуальный интерфейс управления, предназначенный для автономного мониторинга и управления функциями, встроенными непосредственно в аппаратное и микропрограммное обеспечения серверных платформ. Ключевые характеристики IPMI – мониторинг, восстановление функций управления, журналирование и инвентаризация, которые доступны независимо от процессора, BIOS и операционной системы. Функции управления платформой могут быть доступны, даже если система находится в выключенном состоянии, поскольку аппаратная составляющая системы IPMI выполняется в виде одной или нескольких связанных микросхем и носит название BMC (Baseboard management controller), встроенный в платформу автономный микроконтроллер. Сервисный процессор работает независимо от центрального процессора, BIOS и операционной системы. Ошибки, возникающие в любом из этих элементов, не способны повлиять на его работу. Микроконтроллер имеет собственный процессор, память, сетевой интерфейс, обеспечивая изготовителю возможность удаленного управления вычислительной системой АТр.

Основные достоинства использования интегрированных сервис-процессоров [5]:

- повышение отказоустойчивости: автономность сервис-процессора позволяет восстановить работоспособность системы даже в таких критических ситуациях как, например, порча прошивки BIOS; дает возможность удаленного гарантийного обслуживания;
- упрощение работы IT-персонала разработчика: централизация управления обновлением версий ПО, автоматизация рутинных действий по их диагностике с помощью службы Platform Events Flag (PEF);
- экономическая эффективность: поскольку затраты на обслуживание вычислительной системы АТр составляют значительную часть т. н. совокупной стоимости владения, использование KVM-over-IP позволит сократить издержки по содержанию избыточного обслуживающего персонала и дополнительного оборудования, а также сократить время восстановления работы оборудования, уменьшая связанные с ним потери.

В связи с этим на базе вышеуказанных технологий можно построить систему контроля работоспособности тренажера, не только оценивающую текущую работоспособность систем тренажера и его готовность к работе в целом, но и прогнозирующую его состояние, осуществляющую обнаружение предотказных состояний на основе построения модели «упреждающего» допуска для значимых параметров изделия.

3. Обеспечение рациональной организации работ

Часть требований, задаваемых в ТЗ, являясь необходимыми для обеспечения функциональных и методических возможностей тренажера, тем не менее, приводят к нерациональному использованию ресурса оборудования АТр и времени рабочей смены (до 25% – смотри рисунок 1). Это происходит при выполнении следующих функций:

- планирование подготовки;
- постановка учебной задачи экипажу;

- изменение условий тренировки;
- проведение разбора полета и выставление оценки с выдачей документированных результатов;
- создание и отработка новых учебных сценариев.

Сокращение времени подготовительно-заключительных операций тренировки может быть достигнуто за счет вынесения их реализации на дополнительное оборудование, включаемое в состав тренажера (АРМ), или использовании уже имеющегося в распоряжении эксплуатанта, а именно:

- разработки программных интерфейсов, обеспечивающих совместимость при обмене данными между АТр и существующими классами подготовки и разбора полетов;
- использования при подготовке учебных сценариев реальных полетных заданий, разработанных на штатных системах подготовки полетных заданий (СППЗ типа «Иолит», «Сапфир» и т.п.), а также использования указанных систем при выполнении оценивания результатов учебных «полетов» на АТр;
- использования единой базы данных учебных сценариев для тренажеров определенного типа авиационной техники, создаваемой специалистами ЦПЛС, летных училищ и строевых частей в целях методического обеспечения тренажерной подготовки;
- включения в состав поставки АТр автономных автоматизированных рабочих мест для проведения:

1) построения моделей виртуального мира (районы полетов, аэронавигационная и метеорологическая обстановка, модели тактических сценариев и т.п.);

2) разработки учебных сценариев (упражнения по КБП, варианты условий тренировки, полетные задания, данные для автоматизированного оценивания и т.п.);

3) проведения автономного разбора полета и выставление оценки с выдачей документированных результатов.

Заключение

Эффективность тренажерной подготовки напрямую связана с повышением технической эффективности применения авиационных тренажеров за счет уменьшения времени простоев и нецелевого использования дорогостоящего оборудования.

Для реальной оценки технической эффективности применения перспективных тренажеров существующие в настоящее время методики должны быть доработаны и адаптированы к техническим и эксплуатационным характеристикам тренажеров, достигнутым в настоящее время.

Одновременно должна проводиться работа по повышению надежности программного обеспечения и компонентов, применяемых при производстве АТр, а также внедрения метода эксплуатации по состоянию, позволяющего сократить эксплуатационные расходы на 25...30%. Это возможно с учетом повышения контролепригодности оборудования, которое находит все большее распространение в тренажеростроении, при условии обеспечения необходимой информационной поддержки процесса эксплуатации АТр и взаимодействия между разработчиком, производителем и эксплуатирующими организациями.

Организация работ с использованием существующих и дополнительных рабочих мест для планирования подготовки, разработки и корректировки сценариев, объективного контроля и разбора полетов сокращает время нецелевого использования АТр на 15-20%.

По самым скромным оценкам, все вышеуказанные меры позволяют в перспективе повысить эффективность использования рабочего времени на 20-25%, что существенно повысит возможности тренажерной подготовки в целом.

Список использованных источников

1. Красовский А.А., Лопатин В.И., Наумов А.И., Самолаев Ю.Н. Авиационные тренажеры. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1992.
2. Наумов А.И., Цупренко К.В., Герасимчук Ю.Н., Задорожный А.А. Авиационные тренажеры. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 2006.
3. Красовский А.А. Основы теории авиационных тренажеров. – М.: Машиностроение, 1995.
4. Воеводин В.П. Эволюция понятия и показателей надежности вычислительных систем: Препринт ИФВЭ 2012–24. – Протвино, 2012.
5. Сапронов А., Саттаров Д. IPMI, BMC-технологии удаленного управления сервером, <http://www.etegro.ru/articles/ipmi-bmc/>.