

УДК 658.511.8

Организация весового контроля при производстве авиационной техники

Зинченко А.А.

Арсеньевская Авиационная Компания «ПРОГРЕСС им. Н.И. Сазыкина,

Площадь Ленина, 5, Арсеньев, Приморский край, 692335, Россия

e-mail: kragi@mail.ru

Аннотация

Проведён анализ действующей системы весового контроля при производстве авиационной техники. Поднят вопрос об актуализации проблем, связанных с проведением весового контроля в авиационной промышленности, предложены пути их решения. Разработано и представлено к рассмотрению программно-математическое обеспечение (ПО) «Контроль массы», направленное на решение задачи создания «Автоматизированной системы весового контроля» (АСВК), получение обработки результатов измерения массы деталей, сборочных единиц (ДСЕ), составлению и циркуляции документации. Рассмотрены перспективы развития АСВК в системе CALS-технологий [1] или же используя более понятную российским специалистам терминологию, в системе Информационной Поддержки процессов жизненного цикла Изделий (ИПИ) [2].

Ключевые слова: летательный аппарат, АСВК, весовой контроль, программное обеспечение, конструкция минимального веса, CALS технологии.

Ведение

Система весового контроля в производстве является составной частью общей программы создания конструкции минимального веса, обеспечивающей выполнение заданных технико-экономических и тактических характеристик летательного аппарата (ЛА).

Практика создания ЛА показывает, что от этапа разработки технических предложений до серийного производства, конструкция утяжеляется. Это безусловный закон создания техники, связанный с непрерывно появляющимися новыми требованиями, обстоятельствами, возникающими по мере более углубленной проработки конструкции [3].

Каждый тип ЛА имеет уникальные возможности и ограничения, заложенные конструкцией, которые могут быть оптимально использованы при его эксплуатации в определённых условиях. Так, выбор ЛА, эксплуатирующими организациями, основан на оценке его характеристик, главными из которых являются полезная нагрузка и дальность полёта [4].

Данная работа, преследует цель:

- рассмотреть АСВК, разработанную специалистами ПАО ААК «ПРОГРЕСС»;
- показать перспективы развития АСВК;
- показать необходимость пересмотра действующей нормативно-технической базы [5].

1 История развития автоматизированной системы весового контроля

Центральный аэрогидродинамический институт (ЦАГИ) им. проф. Н.Е. Жуковского в 70-х годах прошлого столетия вёл разработку АСВК. В результате работы появились отраслевые стандарты ОСТ 1 00273-78 [6], ОСТ 1 00274-78 [7], ОСТ 1 00351-79 [8], ОСТ 1 00352-79 [9], ОСТ 1 00353-79 [10]. Стандарты морально устарели, практическое их использование невозможно. АСВК этой версии ориентирована на использование ручной перфорации исходных данных, т.е. использование устаревшей электронно-вычислительной базы.

Изучение инструкций по весовому контролю ДСЕ разных авиационных предприятий, свидетельствует об отсутствии какой-либо автоматизации. Отсутствие или недостаток информации в свободном / закрытом доступе по статистическим данным масс ДСЕ разных типов ЛА, может также свидетельствовать об отсутствии системы централизованного сбора и накопления данных по массе ДСЕ [11].

Отсутствие на рынке программ по автоматизации весового контроля для аэрокосмической отрасли, послужило толчком к проведению научно-исследовательской работы (НИР). К концу 2016 г. специалистами ПАО ААК «ПРОГРЕСС» была разработана и успешно внедрена в производство собственная АСВК. Система включает методическое обеспечение по руководству и взаимодействию участников весового контроля (стандарт организации, инструкцию), программное обеспечение (ПО) «Контроль массы». Система имеет дальнейшее развитие, НИР продолжается.

Авторы работ [12, 13] уделяют большое внимание исследованиям, направленным на разработку современной модели АСВК и подведением под неё

теоретической базы. Работы этих авторов только укрепляют понимание о необходимости изменений в области организации весового контроля ДСЕ.

2 Действующие процессы системы весового контроля

Функциональная модель АСВК определяет стратегию организации, структуру и ключевые бизнес-процессы в рамках организации. Основное внимание уделяется их анализу и формализации. В составе основного бизнес-процесса АСВК выделяются два типа процессов – внешний и внутренний. Целью внешнего процесса АСВК является обеспечение обмена внешней информацией АСВК в информационной среде. Под внешним процессом понимается информация, циркулирующая между участниками внешнего процесса [13].

2.1 Исследование внешних процессов системы весового контроля

Проектные конструкторские бюро, предприятия, опираясь на положения, изложенные в ОСТ 1 02606-86 [14], ГОСТ 17265-80 [15] разрабатывают собственные инструкции по организации весового контроля ДСЕ каждого изделия, где описывают процедуру взаимодействия всех участников и требуемые формы отчётной документации. Если предприятие выпускает разные типы ЛА, возникает необходимость в разработке собственных стандартов, способных объединить всю номенклатуру изделий [16].

Создание ЛА сопровождается глубокой кооперацией между различного рода организаций, связывая их средствами коммуникации, но единой эффективной специализированной системы, обеспечивающей сбор и обмен данными по

взвешиванию ДСЕ нет. Тем не менее, несвоевременное поступление данных о взвешивании ДСЕ в конструкторские бюро предприятий изготовителей, разработчику ЛА, а иногда и полное их отсутствие, может привести к перетяжелению ЛА, неправильному распределению нагрузки внутри конструкции, смещению положения центра массы ЛА и неизбежному вводу в конструкцию балансировочного груза, масса которого может достигать 0,3 % от общей массы пустого ЛА. [16].

2.2 Исследование внутренних процессов весового контроля

Внутренний процесс АСВК в рамках системы, функционирует в каждой отдельной организации. Внутренний процесс АСВК должен способствовать установлению единых правил весового контроля и массово-инерционных характеристик (МИХ) ЛА.

Анализ системы весового контроля в условиях реального производства, позволил создать организационно-структурную схему, представленную на рисунке 1

При исследовании внутренних процессов весового контроля установлены некоторые причины, влияющие на получение достоверных результатов:

- а) Декомпозицию ЛА в электронном виде каждое подразделение организации формирует себе самостоятельно, решая свои «узкие» задачи;
- б) Качественный весовой контроль сто процентов (100%) ДСЕ ЛА (всех ЛА) без автоматизации процессов провести невозможно, «ручной» сбор результатов взвешивания приводит к постоянной цикличности действий (работы), при этом в

технологической операции «Взвешивание» («Контроль массы») задействовано большое количество сотрудников предприятия;

в) При недостаточном или полном отсутствии результатов взвешивания одной позиции ДСЕ (от 3 до 5 измерений), всех ДСЕ, невозможно провести анализ их массы;

г) ДСЕ после конструктивных изменений, влияющих на их массу, должны повторно взвешивать, но в большом потоке информации сложно проследить за исполнением этой работы.

д) Учет и анализ конструктивных изменений, влияющих на массу ДСЕ в пределах одного ЛА или серии;

е) При взвешивании ДСЕ, зафиксированы случаи неправильного выбора средств измерения массы относительно объекта контроля.

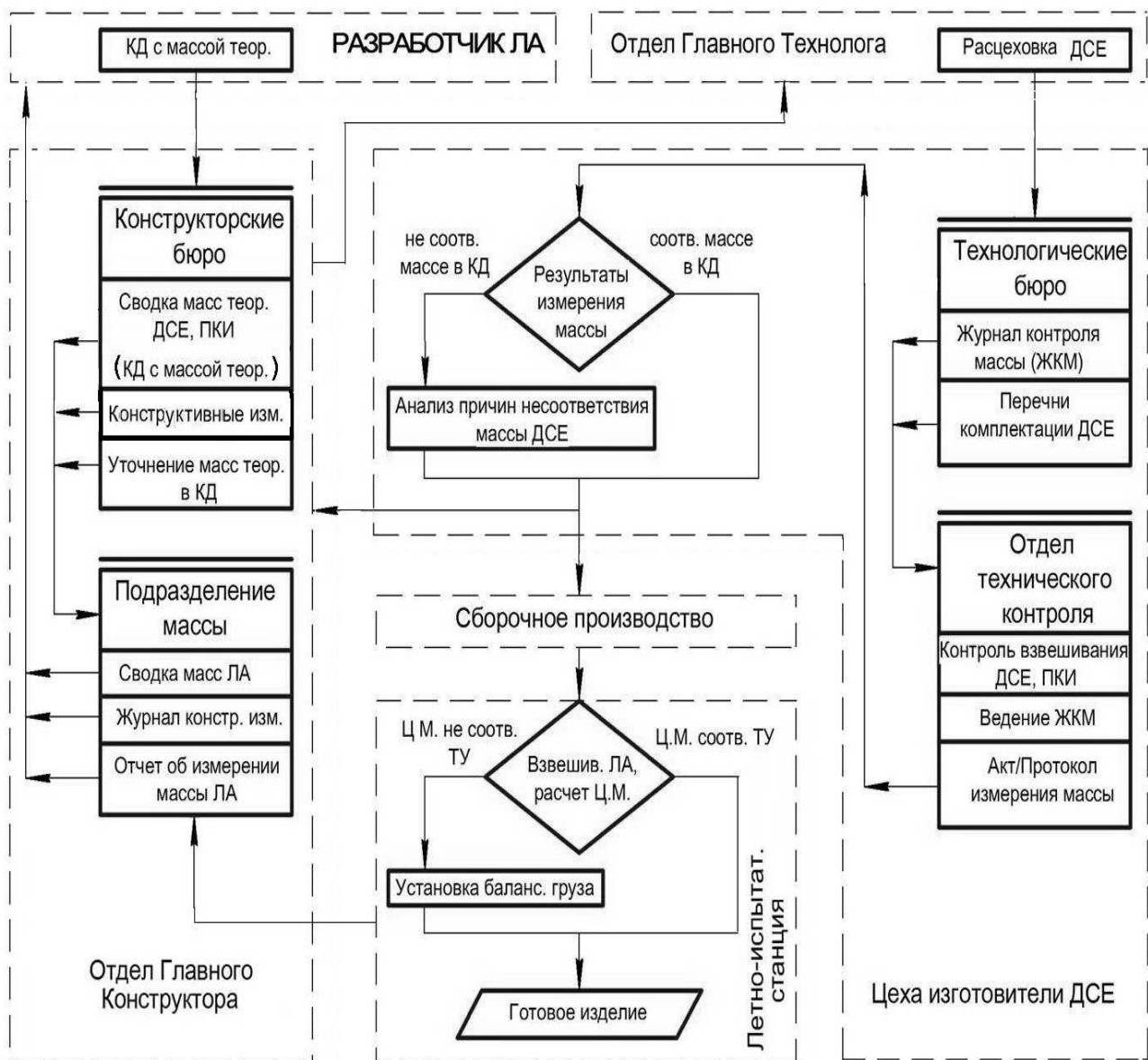


Рисунок 1. Организационно-структурная схема весового контроля

3 Действующая автоматизированная система весового контроля

Сегодня активно используется ПО «Контроль массы» ДСЕ, разработанное на языке программирования «С++» и базы данных «Oracle». Программное обеспечение пока имеет ограниченные функции, т.к. адаптировано к условиям серийного производства (отсутствует расчёт положения центра массы (ЦМ), расчёт моментов

инерции, в программе предусмотрен только ручной ввод результатов взвешивания), и это говорит только о наличии потенциала развития.

На программно-математическое обеспечение «Контроль массы» (Автоматизированная система контроля массы деталей, сборочных единиц и покупных изделий летательных аппаратов), авторам выдано свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ за №2016661092.

Главная форма программного обеспечения (ПО) «Контроль массы» с поясняющей информацией, представлена на рисунке 2.

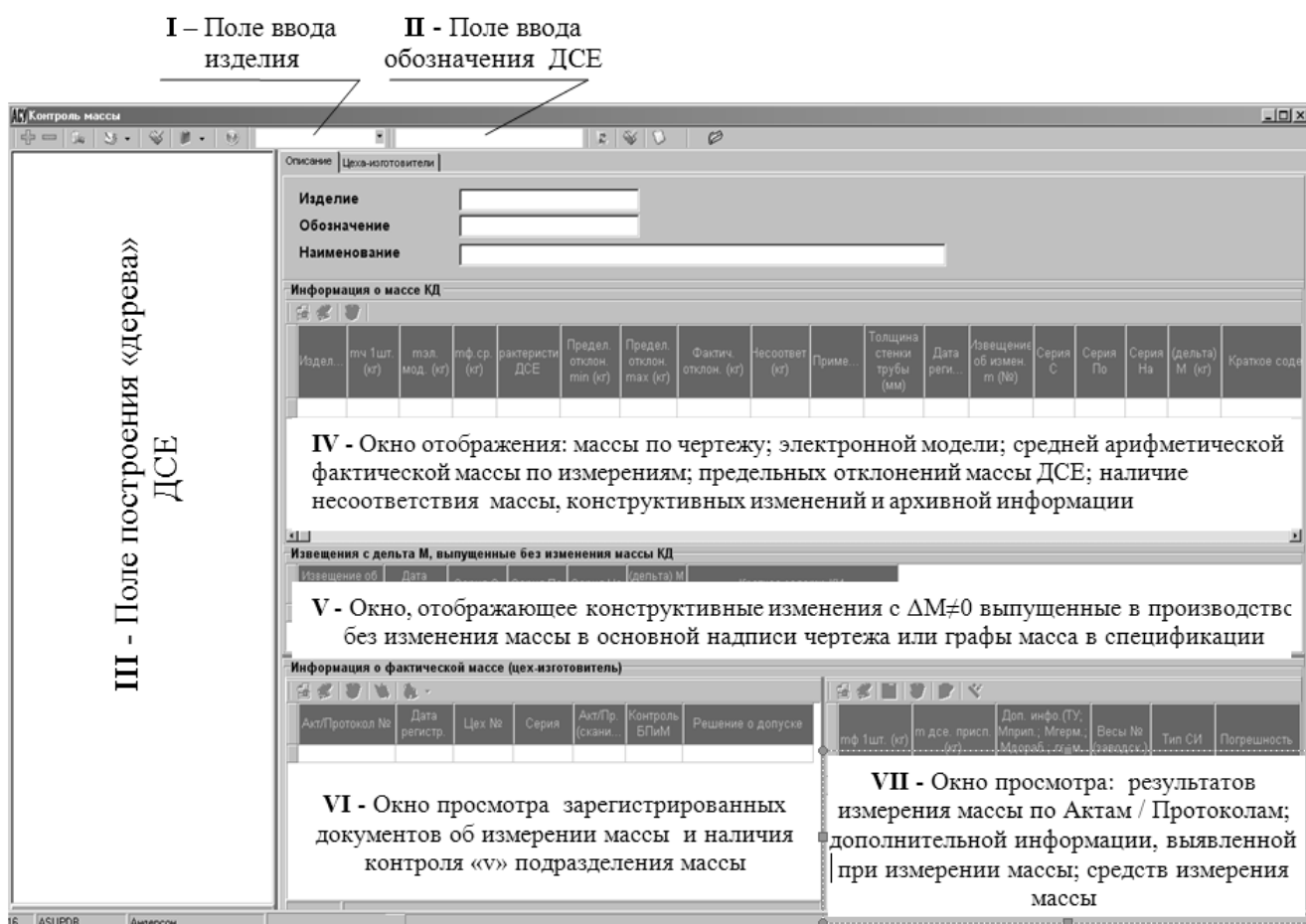


Рисунок 2. Главная форма программного обеспечения «Контроль массы»

Предварительный просмотр

100% Заккрыть

Изделие _____ Чертёж .6100.0060

Цех Исполн итель	Обозначение КД	КП	Наименование КД	Кол-во на СБ ед. (шт)	т ч., кг		Результаты измерения массы, кг												Общ. кол- во изме рени й	т срари ф.	Фактич. отклон (кг)	Несо ответ ствие
					1 шт	На СБ ед.	т ф. измерение 1				т ф. измерение 2				т ф. измерение 3							
							1 шт.	№	Дата	Серия	1 шт.	№	Дата	Серия	1 шт.	№	Дата	Серия				
	.6100.0060	СБ	ПАТРУБОК	1	0,13	0,13	0,079	(АСКМ №А 240/108	09.09.2014		0				0				3	0,079	-0,051	-0,041
.6100.0060																						
	.6100.0060.00	ДТ	ПОЛУПАТРУБОК	1	0,01	0,01	0,045	(АСКМ №А 561/105	09.06.2010		0				0				5	0,045	0,035	0,035
	.6100.0061	ДТ	ШТУЦЕР	2	0,03	0,06	0,031	(АСКМ №А 523/128	11.11.2014	1304	0				0				1	0,031	0,002	0
	.6100.0060.00	ДТ	ПОЛУПАТРУБОК	1	0,01	0,01	0,045	(АСКМ №А 561/105	09.06.2010		0				0				5	0,045	0,035	0,035

Заполняемость, %

Итого: тч. На СБ ед., кг: Сумма масс по фактич. отклон. (с учётом кол-во ДСЕ на СБ), кг:

Рисунок 3. Отчёт о весовом контроле сборочной единицы ...6100.0060

На рисунке 3, представлена одна из форм отчётности по взвешиванию сборочной единицы 6100.0060 - Патрубок, состоящая из 3-х позиций и общего количества деталей 4шт.

Отчётная форма даёт информацию:

- о массе сборочной единице «Патрубок», масса по чертежу, тч = 0,130 кг (предельное отклонение на тч СБ единицы $\pm 0,010$ кг);
- об оформлении на сборку одного Акта об измерении массы - №А240/108 от 09.09.2014г. (регистрационный номер Акта 240, СБ взвешена в цехе №108);
- количество измерений массы в Акте, 3шт. (взвешено три СБ единицы);
- по измерениям, средняя арифметическая масса, тср.ариф.ф = 0,079 кг;
- отклонение массы от указанной в чертеже, минус 0,051 кг;
- несоответствие с учётом предельных отклонений, минус 0,041 кг.

- все входящие ДСЕ прошли контроль массы, т.е. «Заполняемость» таблицы составила 100%;

- сумма масс (по чертежу) ДСЕ входящих в «Патрубок», согласно спецификации

$$\Sigma m_{ч} = 0,010 + (0,030 * 2) + 0,010 = 0,080 \text{ кг};$$

- отклонение массы всех ДСЕ в СБ единице с учётом их количества, $\Sigma m_{откл.} = = 0,035 + 0,002 + 0,035 = 0,072 \text{ кг};$

- масса фактическая по спецификации, $\Sigma m_{ф} = 0,045 + (0,031 * 2) + 0,045 = = 0,152 \text{ кг}$ или $\Sigma m_{ф} = \Sigma m_{ч} + \Sigma m_{откл.} = 0,080 + 0,072 = 0,152 \text{ кг}.$

Приведённые в отчёте результаты взвешивания СБ единицы ($m_{ч} 0,130 \text{ кг}; \Sigma m_{ч} 0,080 \text{ кг}; m_{ср.ариф.ф} 0,079 \text{ кг}; \Sigma m_{ф} 0,152 \text{ кг}$), указывают на необходимость проведения анализа отклонения массы всех входящих в СБ деталей и возможного аннулирования результатов с последующей организацией повторного взвешивания всех ДСЕ. Использовать данные результаты в конструкторской документации не получится.

4 Результат внедрения программного обеспечения «Контроль массы»

ПО «Контроль массы» достаточно успешно обслуживает внутренние процессы производства по весовому контролю ДСЕ.

Система обладает рядом возможностей:

- Отслеживать каждым структурным подразделением (цехом) свою номенклатуру ДСЕ, а также количество измерений массы этих ДСЕ;
- Проводить оценочный расчет выполненного контроля массы в процентном соотношении от общего объема ДСЕ;

- Создать перечень ДСЕ, подлежащих контролю массы в серийном производстве (здать годовой план работ по контролю массы ДСЕ);
- Исключить из документооборота цеховые журналы контроля массы;
- Выбрать наиболее подходящие средства измерения массы, исходя из массы, измеряемой ДСЕ, подбор средств измерения массы осуществляется из соответствующей базы предприятия в соответствии с ОСТ 1 00380-80 [17];
- Хранить в информационных массивах реквизиты исполнителей;
- Проводить регистрацию документов об измерении массы;
- Автоматически определять предельные отклонения на массу ДСЕ согласно ОСТ 1 02606-86 [14];
- Автоматически определять несоответствия массы и формировать отдельную таблицу (запрос) «Конструкторские документы (КД) на уточнение массы»;
- Обнулять количество измерений массы ДСЕ, при конструктивных изменениях, влияющих на массу ДСЕ;
- Выводить на печать документы, связанные с проведением весового контроля;
- Отображать ДСЕ в виде «дерева» построения в иерархическом порядке. ДСЕ отображающиеся в «дереве» красным цветом, свидетельствует об отсутствии взвешивания, черным о наличии;
- Вводить массу, рассчитанную по электронной модели;
- Осуществлять расчет массы сборочных единиц по спецификации, как чертёжных значений, так и по измерениям (в случае отсутствия фактических значений массы ДСЕ, для расчёта принимается масса, указанная в чертеже);

- Прикреплять к электронным цифрам (результатам измерений) сканированные всеми подписанные документ об измерении массы;
- Регистрировать конструкторские документы (извещения, предварительные извещения) с изменением массы ($\Delta M \neq 0$);
- Уменьшить, при проведении контроля массы риски, связанные с «человеческим фактором».

ПО устанавливается всем участникам весового контроля, что позволило стать системе более «прозрачной».

По предварительным расчётам установлено, экономия рабочего времени и средств в организации составило на уровне $50 \div 60\%$.

5 Перспективы развития весового контроля как системы

Для существования весового контроля ДСЕ в системе ИПИ, обязательно должны быть формализованы и отрегулированы внутренние процессы, именно от них зависит дееспособность всей системы. Наложить внешние связи на внутренние процессы организаций относительно не сложно, к примеру, используя VPN-каналы.

Систему весового контроля предлагается дополнить:

- сервером с информационным полем (см. рисунок 4), в котором работают все участники весового контроля, поддержка связи в режиме «постоянно», либо у всех участников должны быть свои информационные ресурсы и должна быть система обновления (синхронизации) данных, поддержка связи «периодически».

Примечание - Декомпозицию ЛА осуществляет разработчик один раз, в дальнейшем, в случаях изменении конструкции, она поддерживается всеми организациями, участвующими в производстве

- расчётом масс ДСЕ ЛА на стадии проектирования по методике использующей искусственные нейронные сети (к примеру, - программу NeuroWorks) [18]. Программа работает с эмпирически зависимыми формулами, а значит в расчёты можно включить статистические данные весового контроля ДСЕ, т.е. использовать базу данных АСВК.

- включением в АСВК смежных организаций, что приведёт к снижению нагрузки в части повторного взвешивания покупных изделий (ПКИ) у изготовителя ЛА (взвешивание осуществляет поставщик ПКИ). Если АСВК доступно всем участникам весового контроля, то любое заинтересованное лицо (с правом на просмотр) может получить всю интересующую его «текущую» информацию, что позволит исключить специальную отчётность о результатах взвешивания ДСЕ и ускорить подачу информации разработчику ЛА;

- введением современной системы идентификации ДСЕ путём прямой их маркировки [19] (штрих-кодовой кодировкой, FRID-технологией). Эти меры помогут отслеживать ДСЕ на протяжении всего жизненного цикла ЛА;

- современными средствами измерения массы, способных давать максимальное количество информации о ДСЕ после её идентификации (масса, время, дата, габаритные размеры, фотография ДСЕ);

- условиями для совместимости (синхронизации) АСВК с САД, САЕ системой, что позволит исключить ввод координат ДСЕ для определения положения (ЦМ) агрегатов, всего ЛА [13] и использовать фактические значения распределённых нагрузок при оценки прочности конструкции ЛА в САЕ системах. Знания о

фактических массах ДСЕ, могут лежать в основе параметрической модели при весовом проектировании ЛА [20];

- учётом массы технологических припусков деталей ЛА. Припуск в процессе сборки может быть удалён полностью, частично или вообще не удалён. Данный показатель может быть использован для анализа несоответствия массы ДСЕ и в качестве критерия технологического совершенства производства;

- учётом цветных и драгоценных металлов.

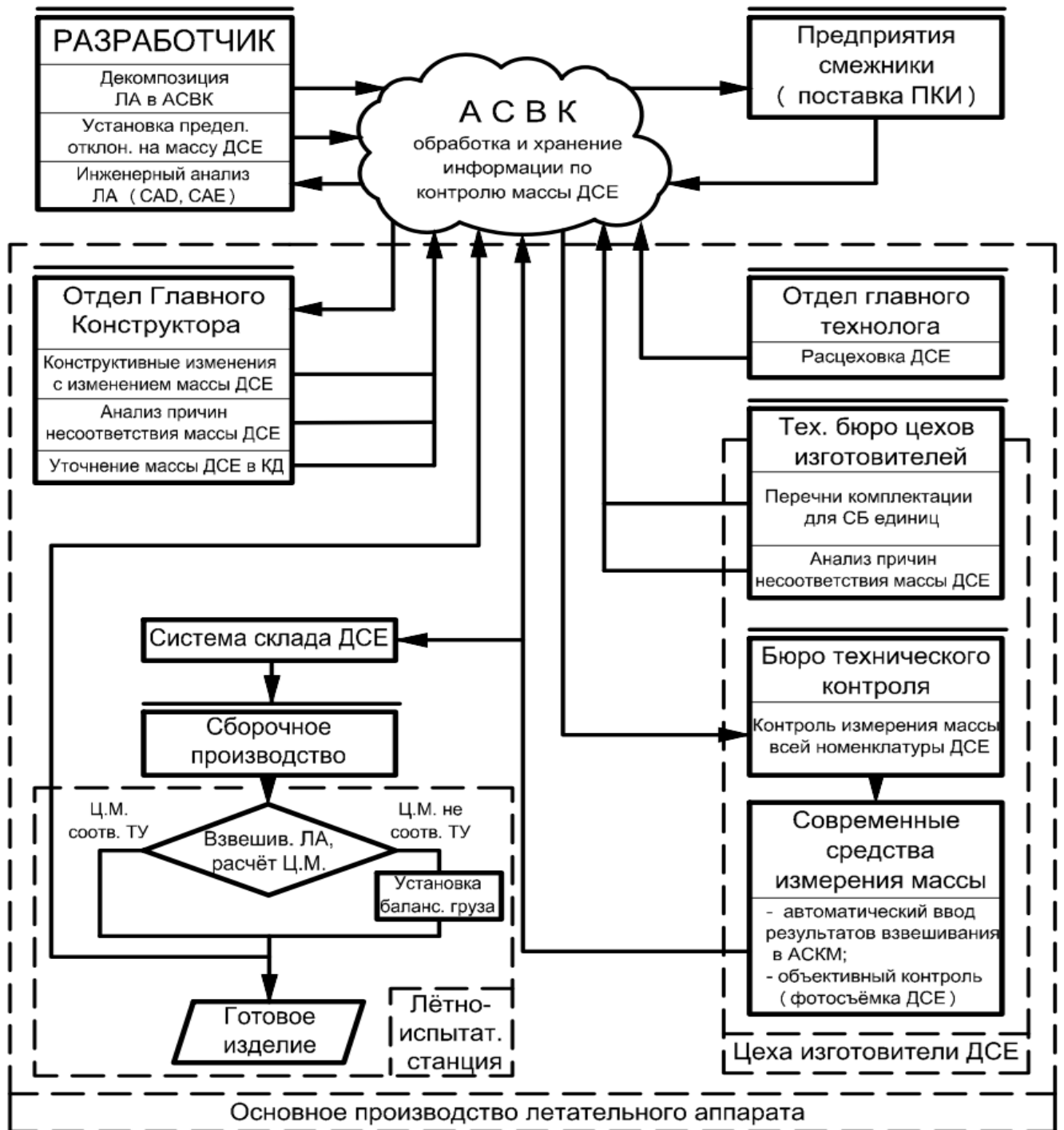


Рисунок 4. Концепт схемы автоматизированной системы весового контроля

В качестве дополнительной функции к АСВК можно рассматривать программное приложение (в настоящий момент отсутствует), обрабатывающее нивелировочные данные ЛА, снятые с лазерного трекера, тахеометра (трёхмерные координаты реперных точек посредством программного обеспечения переводить в привычную

таблицу превышений одной точки над другой), лазерного или оптического нивелира, т.к. данные нивелировки ЛА зависимы от инерционно - массовых нагрузок на фюзеляж ЛА.

Выводы

Описанная модель АСВК в разделе 5, даже при частичной реализации окажет положительное влияние на время проектирования ЛА, учитывая, что сам процесс проектирования является итерационным, то это будет способствовать сокращению количества итераций [21], поможет ускорить процесс запуска ЛА в серийное производство, уменьшить стоимость проекта ЛА [22] и улучшить кооперацию организаций между собой. Таким образом, АСВК должна занять достойное место в системы Информационной Поддержки жизненного цикла Изделия.

Библиографический список

1. CALS NATO Handbook. Ver. 2, June 2000, 342 p.
2. Судов Е.В., Левин А.И. Концепция развития CALS-технологий в промышленности России. - М.: НИЦ CALS-технологий «Прикладная логика», 2002. - 102 с.
3. Кривцов В.С., Карпов Я.С., Лосев Л.И. Проектирование вертолётов. – Харьков: Изд-во ХАИ, 2003. - 344 с.
4. Shannon A. Aircraft Payload-Range Analysis for Financiers / Aircraft Monitor. Version 1.0. April 2013, available at: <https://ru.scribd.com/document/271543812/Aircraft-Payload-Range-Analysis-for-Financiers-v1>

5. Программа стандартизации в авиационной промышленности на 2016 – 2020 годы.
– М.: Союз авиапроизводителей России, 2015. [URL:
https://pandia.ru/text/80/083/6458.php](https://pandia.ru/text/80/083/6458.php)
6. Автоматизированная система весового контроля. Документация контроля весовых и массово-инерционных характеристик изделий на предприятии. ОСТ 1 00273-78. Отраслевой стандарт. 1979. - 71 с. URL:
<https://pdf.standartgost.ru/catalog/Data2/1/4293828/4293828259.pdf>
7. Автоматизированная система весового контроля. Организационная структура и документация передачи информации в отрасли. ОСТ 1 00274-78. Отраслевой стандарт. 1979. - 16 с. URL: <http://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293834/4293834580.htm>
8. Автоматизированная система весового контроля. Техническое и программное обеспечение. ОСТ 1 00351-79. Отраслевой стандарт. 1979. - 15 с. URL:
<http://meganorm.ru/Index2/1/4293834/4293834561.htm>
9. Автоматизированная система весового контроля. Структура внутренних массивов и основные алгоритмы. ОСТ 1 00352-79. Отраслевой стандарт. 1979. – 25 с. URL:
<https://docplan.ru/Index2/1/4293834/4293834561.htm>
10. Автоматизированная система весового контроля. Работа с банком данных. ОСТ 1 00353-79. Отраслевой стандарт. 1979. – 22 с. URL:
<http://meganorm.ru/Index2/1/4293834/4293834558.htm>
11. Torenbeek E. Advanced aircraft design. Conceptual design, analysis and optimization of subsonic civil airplanes, John Wiley, Chichester, 2013, 436 p.

12. Runar A., Stein B. Early stage weight and cog estimation using parametric formulas and regression on historical data / For Presentation at the 69 th Annual Conference Of Society of Allied Weight Engineers, Inc. Virginia, Virginia, 23-26 May, 2010, available at: <https://www.yumpu.com/en/document/view/12283572/early-stage-weight-and-cog-estimation-using-shipweight>
13. Сорокин С.В. Системный анализ требований задачи весового контроля // Программные продукты и системы. 2011. № 1. С. 129 - 132.
14. Самолёты и вертолёты. Контроль массы деталей, сборочных единиц и покупных изделий в серийном производстве. ОСТ 1 02606-86. Отраслевой стандарт. 1986. – 22 с. URL: <http://meganorm.ru/Index2/1/4293834/4293834468.htm>
15. Детали и сборочные единицы ракетных и космических изделий. Контроль масс и положений центров масс. ГОСТ 17265-80. - М.: Издательство стандартов, 1993. – 27 с.
16. Зинченко А.А., Кумченко И.И., Тарабанова В.В. Автоматизированный контроль массы деталей и узлов летательного аппарата // Вестник инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2016. № 1 (26). С. 41 – 48.
17. Отраслевая система обеспечения единства измерений. Выбор средств измерений массы, силы, ускорений для контроля технических процессов производства и проведения измерений. ОСТ 1 00380-80. Отраслевой стандарт. 1980. URL: <http://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293852/4293852768.htm>

18. Абашев О.В. Методика весовых расчетов узлов и агрегатов самолёта с применением искусственной нейронной сети // Труды МАИ. 2011. № 46. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=25979>
19. Внедрение идентификации путём прямой маркировки деталей. Особенности маркировки и проверки подлинности деталей в автомобильной и аэрокосмической отрасли. URL: <http://www.videojet.ru/content/dam/pdf/Russia%20-%20Russian/Brochure/em-Auto-001-01-RU-wp-implementation-of-direct-part-marking-ru.pdf>
20. Chaitanya R., Berry P., Krus P. RAPID – Robust Aircraft Parametric Interactive Design (A Knowledge Based Aircraft Conceptual Design Tool) // 4th International Conference of the European Aerospace Societies, 2013, available at: <http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:687478/FULLTEXT02.pdf>
21. Berry P., Jouannet C. Recycling old weight assessment methods and giving them new life in aircraft nt design // 28th international congress of the aeronautical sciences. ICAS 2012, 2012, available at: http://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2012/PAPERS/602.PDF
22. Getting to grips with A320 Family performance retention and fuel savings / Airbus s.a.s. 31707 blagnac cedex, france. Issue 2, January 2008, available at: <https://ru.scribd.com/document/57686478/A320-Family-Performance-Retention-an-Fuel-Savings>