

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 621

СОВРЕМЕННЫЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ РАЗРАБОТКИ ОКБ СУХОГО

Д. В. Столяров

*Публичное акционерное общество «Объединенная авиастроительная
корпорация» ОКБ Сухого, г. Москва, Российская Федерация*

Рассмотрено влияние новых технологий и их внедрения на методы проектирования конструкций планера. В частности, изложены подходы к проектированию деталей и агрегатов, изготавливаемых с помощью аддитивных технологий.

Ключевые слова: аддитивные технологии, топологическая оптимизация, сетчатые структуры, трехслойные панели.

MODERN AND PERSPECTIVE DESIGN METHODS OF AIRFRAME BY SUKHOI DESIGN BUREAU

D. V. Stolyarov

*Public Joint Stock Company "United Aircraft Corporation"
Sukhoi Design Bureau, Moscow, Russian Federation*

The paper considers and analyzes the new modern technologies impact on design methods and new types of airframe designs. Including the new methods and design technics that should appear in wide additive manufacturing application.

Keywords: additive manufacturing, topological optimization, anisogrid structures, sandwich panels.

Технологии изготовления авиационных агрегатов развиваются и совершенствуются. Развитие технологий меняет облик конструкций и, как следствие, подход к конструированию. Так, например, электронно-лучевая сварка титановых и алюминиевых сплавов позволяет избавиться конструкцию от стыков с большими габаритами. При этом конструкция получается максимально монолитной – без затрат массы на стыки. Инфузионная технология и RTM-технология позволили усложнить форму композиционных монолитных деталей и отойти от концепции «черный алюминий», в которой вся геометрия композиционных деталей наследовалась с аналогичных металлических деталей. Опять же конструкция агрегата из композиционного материала меняла облик в сторону более монолитного агрегата. На данный момент аддитивные технологии открывают новые перспективы перед конструкторами, и, конечно, внедрение их повлияет на облик конструкции. В настоящее время уже можно предположить, какие агрегаты конструкторы смогут реализовать.

Метод адаптации существующих конструкций к новым технологиям. Первым методом на основе опыта внедрения предыдущих прорывных технологий можно назвать метод адаптации к существующим конструкциям. В этом методе технология используется для реализации потребности в объединении нескольких деталей в одну, более сложную. Также возможно применение технологии для наращивания

потребных габаритов заготовок для фрезерования. В обоих случаях облик конструкции не меняется радикально и достижим методами ЭЛС (электронно-лучевой сварки). Единственное преимущество перед ЭЛС – высокая точность, так как детали не требуют последующей термообработки, как в случае с ЭЛС. Метод проектирования таких агрегатов и деталей схож с проектированием сварных конструкций с использованием традиционных проектировочных расчетов в стеночных конструкциях, подкрепленных ребрами.

Методы топологической оптимизация двух видов: оптимизация формы детали; оптимизация конструктивно-силовых схем (КСС) агрегата. Наиболее отличающийся облик конструкций от тех, которые мы привыкли видеть, дает метод топологической оптимизации. Это машинная генерация формы конструкции, которая оптимальна по прочности, жесткости и весу. Стоит подчеркнуть, что сгенерированная форма содержит только необходимый материал, т. е. важность каждого элемента в работе такой конструкции одинакова. Традиционные технологии уже сформировали облик конструкций – форма их сложна, но привычна и изучена. Теперь же для того чтобы реализовать новые возможности технологии, конструктору необходимо изобрести сложную форму, от которой он был отгорожен технологическими ограничениями. Таким образом, машина подсказывает человеку оптимальную форму, и этот метод возможно реализовать на двух уровнях: оптимизировать форму детали и оптимизировать КСС агрегата.

Метод подкрепления периодическими структурами: соты, гофры, объемно ориентированные стержни. Можем ли мы применить новые возможности 3D-печати к оболочке планера? Можем, если используем известный тип конструкции – оболочку, подкрепленную периодическими структурами. Известные сотовые трехслойные панели с композиционными или металлическими обшивками являются такими конструкциями. Метод проектирования таких панелей известен и усложняется лишь учетом прочности заполнителя. При этом соты и гофры, применяемые в авиационных конструкциях, имеют весьма тонкие стенки и достигают толщин не более 0,03–0,05 мм. Разрешающая же способность 3D-принтеров позволяет уверенно реализовывать толщины не менее 0,8 мм, что является технологическим ограничением в адаптации сотовой конструкции заполнителя. Сотовый заполнитель, напечатанный на 3D-принтере, очевидно, будет тяжелее полученного традиционными технологиями пайки сот из фольги. Альтернативой для аддитивных технологий являются стержневые заполнители, ориентированные в пространстве определенным образом. Применение конструкций с периодическими структурами вкуче с оптимизацией толщины полотна дает возможность приблизиться к другой бионической структуре, известной в природе, такой, как кость животного или человека. Ее толщина оптимизирована для обеспечения устойчивости и прочности, а заполнитель также имеет периодическую пористую структуру. На данный момент тестируются образцы на сдвиг и устойчивость, спроектированные по методу подкрепления оболочек периодическими структурами.

Метод топологической оптимизации КСС агрегата. Говоря о периодических структурах, подкрепляющих оболочку агрегата, и имея ввиду новые технологические возможности, можно задаться вопросом: а возможно ли подкреплять оболочку непериодической структурой? Другими словами, может ли заполнитель быть переменной плотности, или ориентирован иначе? Топологическая оптимизация КСС дает утвердительный ответ на этот вопрос. Исходными данными для такой оптимизации служит область, ограниченная агрегатом, а результат – локальные оси жесткости, в которые необходимо «вырастить» подкрепляющий элемент. Конструктор может интерпретировать этот результат, как стеночным, так и стержневым вариантом кон-

струкции. Имея внятную схему заделки агрегата, такого, как стабилизатор, интерцептор и другие элементы механизации и оперения, машина подскажет КСС – оптимальное расположение подкрепляющих элементов. Чаще всего результат будет похож на лучевую схему: некое ветвистое дерево, которое предстоит интерпретировать в конструкцию. В общем случае прогрессивные черты таких конструкций можно описать следующим образом:

- наполнитель заменяет собой внутренний каркас агрегата (стабилизатора);
- переменная плотность позволяет добиться оптимизации жесткости и прочности связи верхней обшивки с нижней;
- способ соединения наполнителя – пайка/склейка/сварка/печать;
- обшивки могут быть как композиционные, так и металлические;
- в зоне соединения с заделкой монолит может быть соединен болтами с обшивкой;
- «лучевая» структура интерцепторов – цельнопечатанная или сваренная из напечатанных фрагментов;
- может служить несъемной оснасткой для композиционных панелей тонких толщин (в роли закладного элемента);
- может быть приварена сквозным проплавом к металлической обшивке оптимизированной толщины.

Стоит заметить, что конструкции лучевых схем уже реализовывались в деревянных планерах самолетов поршневого эры. Новое здесь – возросшая роль обшивки и контура оболочки. Эта роль – как раз в сдвиге и нормальных напряжениях оболочки. Это делает оболочку строительной основой для современных металлических и композиционных планеров.

Метод проектирования конструкций с поддерживающими структурами: отличия и общие черты с традиционными методами проектирования, отличия от топологической оптимизации. Сохранить строительную основу при проектировании новых конструкций – весьма сложная задача. Тем более, что топологическая оптимизация старается избавить нас от разграничения на первичные и поддерживающие структуры. Если же поставить задачу сохранить строительную основу (первичную структуру) и подкрепить ее альтернативным методом, то возникает потребность в новом методе проектирования. Это метод проектирования конструкций с поддерживающими структурами. Поддерживающие структуры выделяются здесь, так как строительная основа не представляет особой проблемы для проектирования. Это (строительная основа), как правило, – замкнутый контур, или открытый контур типа швеллера. Так, спроектированный образец лонжерона по методу поддерживающих структур содержит в себе оптимизированный короб замкнутого контура или швеллер, однако способ передачи нагрузок на него с узлов навески и привода совершенно отличается от традиционного. Привычная стеночная структура кронштейнов, вваренных в контур, заменена на сложную сетчатую. Кроме этого никаких ребер, разбивающих регулярную зону на клетки, здесь нет. Плотной подкреплено периодической структурой также сетчатого типа. Возможные варианты этих сетчатых структур можно обобщить в три группы по топологии: пространственная ферма; паутинка; скелет рыбы. Пространственная ферма – стержневая структура, подкрепляющая первичные пояса и контуры стержневыми стойками с диагональными подкосами. Паутинка – топология имеет характерный признак лучевой стержневой структуры, исходящей из областей монолита с максимальными разрывными напряжениями. Скелет рыбы – топология строится на осевой структуре (хребте), исходящей из проушины и уменьшающей площадь сечения по мере передачи нагрузки на контур. Передачи нагрузки с этой осевой структуры (хребта) на контур осуществляется через

ферменные стержневые структуры. Варианты агрегатов с подобной топологией легко сконструировать, исследовать их эффективность и корректировать метод в части частоты и сечения поддерживающих структур.

Возможно, что применение всех этих методов и анализ их эффективности позволят занять каждому методу свою нишу в конструкции планера самолета. В любом случае конструкторская мысль будет меняться и приспосабливаться к новым технологиям и возможностям. Вместе с этим будут рождаться и другие методы конструирования, позволяющие достигать более эффективных технических решений.

УДК 622.91:621.311

УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Н. В. Грунтович

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Представлен обзор проводимых исследований в области диагностирования текущего состояния и прогнозирования показателей энергетической эффективности энергетических систем и промышленных комплексов. Для крупных промышленных потребителей предложено решение вопросов их устойчивого функционирования при объективной оценке энергетической составляющей затрат в структуре себестоимости продукции, управления их энергоэффективностью. Результаты анализа особенностей работы систем газоснабжения отдельных регионов и Республики Беларусь в целом позволили сформировать балансовую структуру потребления газа и учесть дальнейшее ее изменение при развитии системы газоснабжения в условиях устойчивого развития промышленного комплекса страны и вводе в эксплуатацию атомной энергетической станции.

Ключевые слова: энергоэффективность, удельные расходы энергоресурсов, моделирование, прогнозирование, режимы промышленных потребителей, системный анализ, региональные системы газоснабжения, сложная техническая система, печное оборудование, футеровка, водопроводно-канализационное хозяйство, искусственное волокно, транспортировка нефти.

ENERGY EFFICIENCY MANAGEMENT OF ENERGY SYSTEMS AND INDUSTRIAL COMPLEXES

N. V. Hruntovich

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The presented work is devoted to a review of ongoing research in the field of diagnosing the current state and predicting the energy efficiency indicators of energy systems and industrial complexes. For large industrial consumers, it is proposed to solve the issues of their sustainable functioning with an objective assessment of the energy component of costs in the structure of the cost of production, management of their energy efficiency. The results of the analysis of the features of the operation of gas supply systems in individual regions and the Republic of Belarus as a whole made it possible to form a balance structure of gas consumption and take into account its further change in the development of the gas supply system in the conditions of sustainable development of the country's industrial complex and the commissioning of a nuclear power plant.

Keywords: energy efficiency, specific energy expenses, modeling, forecasting, industrial consumers, system analysis, regional gas supply systems, complex technical system, stove equipment, lining, water supply, artificial fiber, oil transportation.