

# Концепция и методика проектирования оснастки агрегатно-сборочного производства самолетов на базе их электронных конструкторско-технологических макетов

А.В. Кондратьев<sup>1</sup> • В.Г. Читак<sup>2</sup>

1 – Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ», г. Харьков, Украина;

2 – Государственное предприятие «Антонов», г. Киев, Украина

Received: 01 March 2019 / Accepted: 11 March 2019

**Аннотация.** Разработана концепция и реализующая ее методика проектирования оснастки агрегатно-сборочного производства для практического внедрения в технологическую подготовку производства на примере центроплана самолета Ан 148 на базе его электронного конструкторско-технологического макета в интегрированной системе CAD/CAM/CAE/PDM и виртуальной реальности (VR). Сформулированы основные требования к сборочной оснастке в условиях 3-D цифровой конструкторско-технологической подготовки производства и создаваемой электронной конструкторско-технологической документации в процессе 3-D цифровой КТПП агрегатно-сборочного производства. Приведены 3-D цифровые модели оборудования, оргтехоснастки и инструмента на стационарном оборудовании, робототехнические комплексы для вскрытия отверстий и постановки крепежа в стендах и сборочных приспособлениях и другие составляющие. Разработаны методика и технологические рекомендации по конструированию сборочных приспособлений, разрабатываемых по электронным макетам узлов и агрегатов, а также при создании электронной документации на сборочные приспособления узлов и ступеней общей сборки центроплана в среде корпоративных систем CAD/CAM/CAE/PDM и VR. Приведены результаты отработки программно-технологического комплекса VR на примере разработки директивного технологического процесса сборки центроплана крыла самолета Ан 148 с применением интегрированных систем.

**Ключевые слова:** концепция, проектирование оснастки, агрегатно-сборочное производство, электронный конструкторско-технологический макет, интегрированная система, виртуальная реальность.

## Введение

В [1, 2] были сформулированы основные принципы реализации высокоэффективного производства гражданских самолетов в современных условиях, в развитие которых в [3] были изложены основные положения концепции системы комплексного автоматизированного проектирования и изготовления технологических приспособлений в режиме виртуальной реальности (СКИП/VR).

Разработана методика применения и практического внедрения в технологическую практику производства отечественных гражданских самолетов технологии VR для реализации сборки деталей, узлов и приспособлений в агрегатно-сборочном производстве на примере центроплана самолета Ан 148 и создания технологических планировок рабочих мест на основе спроектированных электронных моделей сборки. В [4] разработана общая концепция применения программно-технического комплекса в среде VR в 3D-цифровой конструкторско-технологической подготовке производства, реализованная методикой синтеза электронного макета изделия – центроплана ближнемагистрального самолета Ан 148 в интеграции с корпоративными системами CAD, PDM, VR.

## Цель работы

Ниже обсуждается концепция и методика применения оснастки для агрегатно-сборочного производства самолетов на базе их электронных конструкторско-технологических макетов в среде интегрированной системы CAD/CAE/CAM, системы управления производственной информацией (PDM) и VR. Основной задачей, которая должна решаться при проектировании сборочных приспособлений (сборочной оснастки) является создание системы баз в двух- или трехмерном пространстве для базирования и фиксации при сборке собираемых деталей, узлов, отсеков агрегатов для обеспечения качества стыков и требуемой точности размеров и формы агрегатов после сборки. Кроме того, при наличии большого количества оснастки для изготовления деталей и

сборочных приспособлений для сборки узлов, отсеков, агрегатов, требуется обеспечение соответствия их по размерам и формам сопрягаемых баз (увязка). До недавнего времени эта задача решалась путем копирования размеров и формы с объемных эталонов поверхности, монтажных эталонов, макетов, калибров, мастерплит, контрольных шаблонов в системе плазово-шаблонного метода увязки [5 – 8].

### Исследования

При современных цифровых методах проектирования изделий создается электронный конструкторско-технологический макет (ЭКТМ), а процесс согласования (увязки) размеров и формы деталей осуществляют при создании электронных моделей сборочных единиц. Наличие ЭКТМ позволяет разработать управляющие программы (УП) для изготовления деталей и технологической оснастки на оборудовании с ЧПУ. Современное оборудование с ЧПУ обеспечивает необходимую точность воспроизведения размеров при обработке деталей и оснастки. Необходимость копирования сопрягаемых размеров и формы для обеспечения собираемости деталей с применением плазово-шаблонной оснастки, макетов, эталонов и т.п. исключается. В этом плане методы задания размеров и формы изделий при проектировании и воспроизводстве их в авиастроении приближаются к методам общего машиностроения с его системой допусков и посадок и системой контроля [9 – 10].

В новых условиях проектирование каждого сборочного приспособления должно производиться на базе ЭКТМ собираемого узла, отсека, агрегата. Необходимо обеспечение полного образмеривания деталей и составных частей приспособления в системе строительных баз собираемого агрегата. В составе конструкторской документации (КД) на сборочную оснастку должны быть схемы контрольных замеров, заполняемые цехом – изготовителем оснастки по результатам контроля и устранения несоответствий после монтажа сборочных приспособлений. Один экземпляр заполненной и подписанной, в установленном на предприятии порядке, схемы замеров должен быть занесен в паспорт стапеля или сборочного приспособления.

Состав используемой и создаваемой электронной конструкторско-технологической документации в процессе 3-D цифровой КТПП АСП должен включать:

#### 1. Электронную технологическую документацию для агрегатной сборки с:

- электронными схемами технологического членения изделия;
- электронными схемами сборки агрегатов изделия;
- технологическими комплектами (ТК) на машинных носителях;
- условиями поставки деталей на сборку на машинных носителях;
- директивными технологическими процессами на машинных носителях;
- электронной нормативно-технологической документацией;
- цифровыми технологическими планировками рабочих мест участков, цехов агрегатной и окончательной сборки изделий АТ;
- графиками сборки по ТК, расчетами трудоемкости, циклов сборки, планов выпуска узлов и агрегатов;
- базами знаний по технологиям агрегатной сборки для типов СЕ самолетных агрегатов.

#### 2. Электронную конструкторскую документацию на сборочную оснастку с:

- номенклатурным перечнем оснастки;
- классификатором сборочной и организационной оснастки;
- электронными моделями типовых представителей сборочной оснастки по классификатору;
- параметрическими электронными моделями типовых представителей сборочной оснастки;
- параметрическими электронными моделями деталей и узлов сборочной оснастки;
- типовыми электронными моделями деталей, узлов и сборочных приспособлений;
- техническими требованиями к производству оснастки на оборудовании с ЧПУ и планированием изготовления оснастки по ТК в единой с основным производством системе;
- сводными данными и экономическим анализом трудоемкости и циклов изготовления оснастки;
- план-графиками запуска в производство номенклатуры оснащения;
- базами знаний по типовым конструкциям сборочной оснастки.

#### 3. 3-D цифровые модели оборудования, оргтехоснастки и инструмента на:

- стационарное оборудование;
- робототехнические комплексы (РТК) для вскрытия отверстий и постановки крепежа в стендах и сборочных приспособлениях;
- агрегатные головки, устройства и оборудование с ЧПУ, оборудование, встраиваемое в сборочные приспособления, для выполнения сверления и разделки отверстий, установки крепежа, фрезерования плоскостей разъемов агрегатов;
- 3-D цифровые модели ручного механизированного инструмента: сверлильных машинок, протяжных устройств, клепальных молотков, скоб, пистолетов для постановки специальных видов крепежа, пневматических ножниц, шприцов и т.п.;
- базы данных контрольного измерительного оборудования и инструмента.

Ниже изложены рекомендации по конструированию сборочных приспособлений разрабатываемых по ЭКТМ узлов, отсеков, агрегатов.

Для сборки узлов, не требующих приспособления, рекомендуется использовать поддерживающие устройства произвольной конструкции, обеспечивающие удобное положение узла при сборке и подход для инструмента.

Для сборки плоских узлов малых габаритов, имеющих обводообразующие элементы каркаса, рекомендуются к использованию упрощенные, переналаживаемые приспособления типа горизонтального плаза или вертикально расположенного каркаса с лекалом или рядом поперечных лекал по обводообразующему контуру, фиксаторами стенки по КФО (БО). Установка остальных профилей и жесткостей на стенку осуществляется с базированием по СО и установкой контрольных винтов. Сверление отверстий и клепка на универсальном оборудовании вне приспособления.

Для сборки плоских узлов больших габаритов (лонжеронов, нервюр, низинок шпангоутов фюзеляжа, настилов пола и т.п.) рекомендуются к применению вертикальные приспособления рамного типа с двухсторонним подходом для обеспечения возможности сверления отверстий и установки крепежа в приспособлении. При такой конструкции приспособления рекомендуется установка на приспособление автоматических программируемых устройств портального типа для автоматического выполнения отверстий и установки крепежа без выемки для этого собираемого агрегата из стапеля. Рама приспособления при этом служит направляющей для перемещения портальных устройств.

Для сборки обшивок со стрингерами необходимо использовать поддерживающие приспособления или паллеты для сохранения формы обшивки при сборке и выполнения автоматического или полуавтоматического процессов установки крепежа.

Сборку боковых панелей фюзеляжа рекомендуется осуществлять в вертикальных приспособлениях балочного типа со стационарной системой лекал по внутреннему контуру обшивки (сборка от каркаса), с фиксаторами по КФО (БО) боковин шпангоутов и БО на припусках обшивок.

Установку приспособлений следует выполнять в одном блоке (в одном ряду или в два ряда для прав/лев панелей) для обеспечения единой базы монтажа относительно продольных строительных плоскостей фюзеляжа для всех приспособлений. При этом в местах поперечного членения панелей, согласно принятой схеме конструктивно-технологического членения, выполнять разрывы для обеспечения переходов работающих с одной стороны приспособления на другую для фюзеляжей большой длины. С наружной стороны обшивки не должно быть стапельных конструкций, кроме прижимных лент для обшивок, для обеспечения свободного подхода сверлильно-зенковального и клепального оборудования, в том числе при выполнении этих операций с помощью программируемого робототехнического комплекса (РТК).

Для сборки верхних панелей фюзеляжа рекомендуются вертикальные приспособления балочного типа аналогичной с приспособлениями для сборки боковых панелей фюзеляжа конструкции с поворотом собираемой панели в положение боковой для исключения потолочных работ.

Для сборки в стапеле фюзеляжа обычной схемы с членением на носовой, средний и хвостовой отсеки (при отсутствии кооперации с получением собранного среднего отсека фюзеляжа) конструкцию стапеля рекомендуется выполнять с учетом одновременной сборки в нем среднего отсека фюзеляжа. Конструкция стапеля должна обеспечивать следующий порядок сборки:

- установка собранного отсека пола средней части фюзеляжа на приемные ложементы;
- регулировка положения отсека пола и его фиксации по реперам центроплана (для низкопланов), узлам установки шасси и контурам ложементов по стыкам с носовой и хвостовой частями фюзеляжа;
- стыковка отсека пола средней части фюзеляжа с носовым и хвостовым отсеками фюзеляжа;
- установка, регулировка и фиксация центроплана (для высокопланов);
- установка и фиксация боковых панелей среднего отсека фюзеляжа;
- установка и фиксация верхних панелей среднего отсека фюзеляжа;
- стыковка боковых и верхних панелей среднего отсека фюзеляжа по продольным и поперечным стыкам, в том числе с носовым и хвостовым отсеками фюзеляжа.

Для сборки крыла рекомендуется конструкция стапеля с вертикальным (носком вверх) расположением в нем собираемого агрегата и его нервюр. Главное преимущество такой схемы стапеля – отсутствие потолочных работ, наличие свободного подхода при работах на верхней и нижней панелях. Лонжероны поступают в стапель с установленными в стапеле сборки лонжеронов: каретками и кронштейнами навески механизации крыла и управления выпуском и уборкой механизации, профилями крепления нервюр, с завершёнными сборочными работами, связанными с вскрытием отверстий и установкой крепежа по стенкам и поясам лонжеронов. Работы по сборке и установке носовых и хвостовых частей также должны быть завершены в стапелях сборки лонжеронов или подготовлены к завершению и указанные части сняты для исключения риска их механического повреждения при выполнении сборки в стапеле. Базирование лонжеронов в стапеле сборки необходимо производить по расположенным на них кронштейнам (выборочно, в зависимости от жесткости лонжеронов и расположения кронштейнов) с контролем плоскости стенки лонжерона. Базирование панелей производится по периметру стыка с лонжеронами, положению нервюр с фиксацией контуров панелей с помощью лекал, установленных в стапеле сборки панелей после сборки по наружному контуру панели по местам каждого четвертого рубильника стапеля (нервюры агрегата). Лекала к каркасу стапеля сборки не крепятся. Для контроля

контуров после сборки на каркас стапеля крепятся контрольные эквидистантные шаблоны в сечениях, оговоренных ТУ.

Для сборки лонжеронов необходимо применять приспособление рамочного или балочного типа с вертикальным расположением плоскости лонжерона, при этом должна быть обеспечена фиксация стенок по КФО (БО), фиксация всех кареток, кронштейнов, расположенных на плоскости лонжерона. В стапеле необходимо предусмотреть фиксацию носовых или хвостовых частей и возможность их окончательной установки на лонжерон. Предлагаются следующая методика и технологические рекомендации при создании электронной конструкторско-технологической документации на сборочные приспособления узлов и стапеля общей сборки центроплана в среде корпоративных системы CAD/CAE/CAM, PDM и BP.

В качестве примера как и в работе [3], для оснащения сборочной оснастки в условиях 3D-цифровой КТПП изделия определен центроплан пассажирского самолета Ан 148. Центроплан самолета Ан 148 прямоугольной формы в плане, расположен между корневыми нервюрами консольной части крыла (КЧК) и образует бак - кессон. Силовой набор центроплана состоит из продольного и поперечного наборов. Продольный силовой набор образован двумя лонжеронами (передним и задним) и силовыми панелями. На лонжеронах установлены кронштейны для стыка центроплана с фюзеляжем, на развитых вертикальных полках которых имеются отверстия для стыковки с лонжеронами консольных частей крыла. Нижние и верхние панели центроплана выполнены из монолитных панелей. Поперечный силовой набор состоит из нервюр балочной конструкции. Центроплан самолета Ан 148 имеет следующие основные характеристики: длина 3000 мм, ширина 2300 мм, максимальная высота 670 мм, масса центроплана 700 кг.

Концепция проектирования сборочных приспособлений и стапелей на основе ЭКТМ центроплана в среде CAD/CAE/CAM/PDM соответствует схеме представленной на рис. 1.

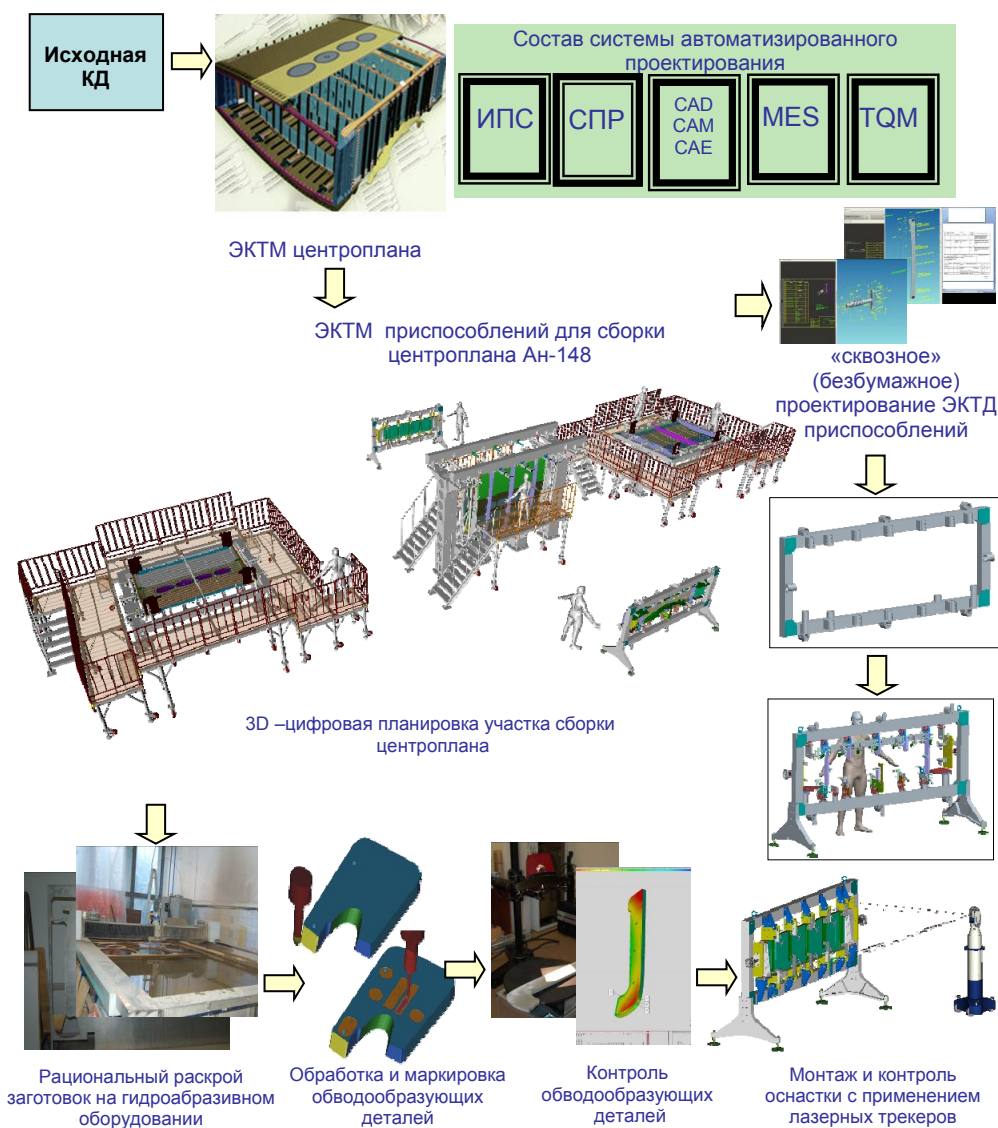
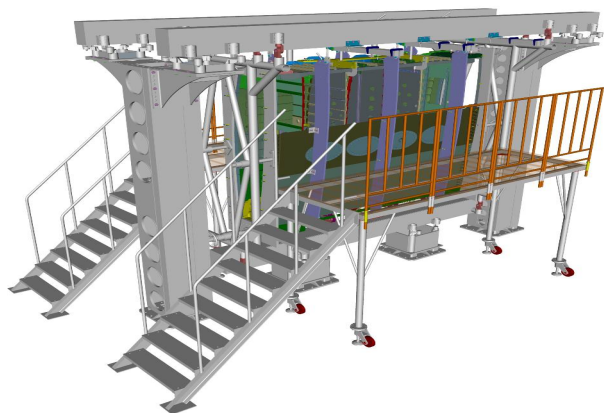
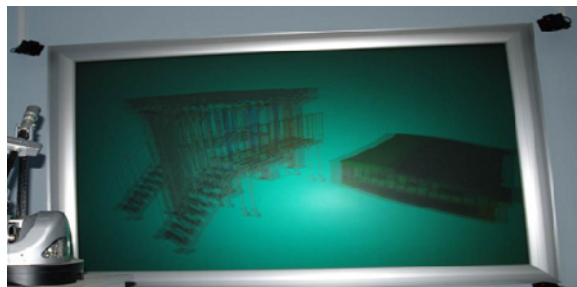


Рис. 1. Концепция проектирования сборочного приспособления и стапелей на основе электронного конструкторско-технологического макета центроплана

Ниже описан процесс отработки ПТК-ВР на примере разработки директивного технологического процесса (ДТП) сборки центроплана с применением интегрированных систем CAD/CAE/CAM,PDM, ВР. ЭКТМ стапеля сборки центроплана спроектирован в среде CAD/CAE/ CAM, PDM корпоративной системы Pro Engineer/TCE и изображен на рис. 2. На рис. 3 показан ЭКТМ центроплана, погруженный в среду ПТК-ВР.



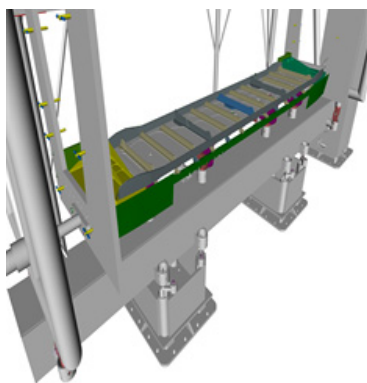
**Рис. 2.** ЭКТМ стапеля сборки центроплана, спроектированного в среде CAD/CAM/CAE, PDM



**Рис. 3.** ЭКТМ центроплана в среде ПТК-ВР

ДТП сборки центроплана включает следующие этапы.

1. Установка 2-го лонжерона центроплана в стапель, фиксация по стыковым отверстиям кронштейнов с консольной частью крыла и крепление прижимами (рис. 4а, б).

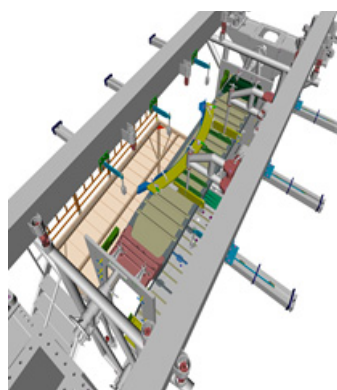


*а*

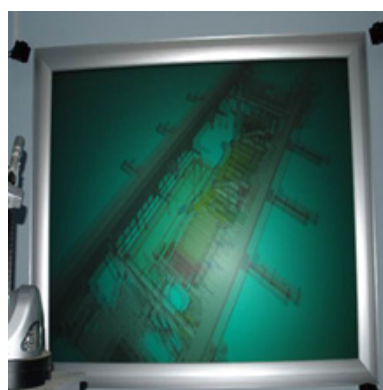


*б*

**Рис. 4.** Установка второго лонжерона центроплана в стапель: *а* – ЭКТМ 2-го лонжерона в среде CAD/CAM/CAE, PDM *б* – ЭКТМ 2-го лонжерона в среде ПТК-ВР



*а*



*б*

**Рис. 5.** Установка первого лонжерона центроплана в стапель: *а* – ЭКТМ 1-го лонжерона в среде CAD/CAM/CAE, PDM *б* – ЭКТМ 1-го лонжерона в среде ПТК-ВР

2. Установка 1-го лонжерона центроплана в стапель, фиксация по стыковым отверстиям кронштейнов с консольной частью крыла и крепление прижимами (рис. 5а, б).
3. Установка нервюр 0, 1, 2. Сверление отверстий под технологический крепеж и установка крепежа.
4. Установка фитингов по поясу 0 нервюры по стыку с 1 и 2 лонжеронами. Сверление отверстий. Крепление технологическим крепежом.
5. Установка компенсаторов 2 нервюры 2. Сверление отверстий в компенсаторе совместно с нижней панелью. Крепление технологическим крепежом.
6. Сверление отверстий в стенках и поясах нервюр 0, 1, 2 и стойках лонжеронов 1 и 2. Крепление технологическим крепежом.
7. Снятие крепежа по стыку нервюр с секцией нижних панелей и поясами 1 и 2 лонжеронов. Установка секций нижних панелей на механизм откатки и отводка с рабочей зоны.
8. Установка в стапель сборки центроплана секции верхней панели на механизм откатки, подводка панели к поясам 1-го и 2-го лонжеронов и фиксация по стыковым отверстиям с консольной частью крыла.
9. Сверление отверстий с шагом не менее 250 мм в поясах 1-го и 2-го лонжеронов и панелях. Установка технологического крепежа.
10. Снятие крепежа по стыку нервюр с секцией верхней панели и поясами 1 и 2 лонжеронов. Установка секции верхних панелей на механизм откатки и отводка с рабочей зоны.
11. Подготовка сопрягаемых поверхностей под герметизацию. Нанесение герметика.
12. Подводка секции нижней панели к поясам лонжеронов и фиксация ее. Установка технологического крепежа с шагом 100 мм.
13. После полимеризации герметика сверление, зенкерование, развертывание, снятие фасок на панелях. Установка болтов, свинчивание.
14. Сверление, зенкерование, развертывание отверстий в нижнем поясе 0 нервюры совместно с ребрами нижних панелей. Установка болтов, свинчивание.
15. Сверление, зенкерование, развертывание отверстий в нижних поясах 1 и 2 нервюрах совместно с ребрами нижних панелей. Установка болтов и свинчивание.
16. Подводка секции верхней панели к поясам лонжеронов и фиксация ее. Установка технологического крепежа с шагом 100 мм. Снятие технологического крепежа по стыку панели 2 с панелями 1 и 3. Снятие панели 2.
17. Сверление, зенкерование, развертывание отверстий в верхних поясах нервюр 0, 1, 2 совместно с ребрами верхних панелей 1 и 3. Установка болтов и свинчивание.
18. Подготовка сопрягаемых поверхностей под герметизацию. Нанесение герметика на верхние панели 1 и 3. Установка панели 2. Крепление технологическим крепежом с шагом 100 мм.
19. После полимеризации герметика сверление, зенкерование, развертывание отверстий на панели 2 совместно с панелями 1 и 3. Установка болтов.
20. Сверление, зенкерование, развертывание отв. в верхних поясах нервюр 0, 1, 2 совместно с ребрами верхней панели 2. Установка болтов и свинчивание.
21. Очистка центроплана от стружки и других посторонних предметов, подготовка к контролю и испытаниям и сдаче.

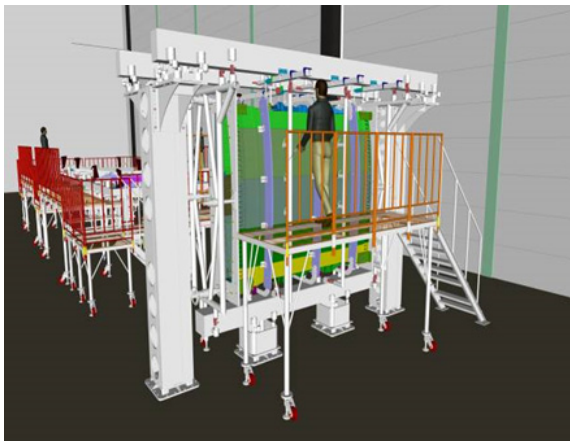
Погруженный ЭКТМ стапеля общей сборки центроплана в среду ПТК-ВР позволяет представить виртуальный производственный процесс сборки в заданной технологической последовательности в реальном времени. Это позволяет проконтролировать качество принимаемых решений по конструкции стапеля и оптимизировать ТП сборки центроплана, объективно оценить и нормировать затраты на производственные процессы изготовления стапеля в режиме реального времени. Помимо стапеля общей сборки центроплана в процессе работы в режиме ПТК-ВР выполнены работы по конструированию и отработке технологии сборки для приспособлений. Результатом разработанной методики и применения рекомендаций явился укрупненный технологический процесс сборки центроплана в среде CAD/CAE/ CAM, PDM, ВР. Ниже приведены основные технологические рекомендации к созданию 3D-цифровых технологических планировок участков цеха агрегатной сборки самолетов.

В соответствии с программой выпуска самолета (агрегатов самолета), на основании расчетов определяют количество рабочих мест (стендов) в цехе агрегатной сборки. Рекомендуется оформлять планировку рабочих мест с размещением самолетов на производственных площадях цеха. Эти работы следует выполнять в среде ВР для визуализации и симуляции производственных процессов сборки: последовательности оснащения и организации процессов сборки агрегатов, установки интерьера, оборудования, готовых изделий, систем; перемещение в рабочем пространстве цеха агрегатной сборки агрегатов самолета с учетом изменения наземного транспорта, мостовых кранов, оргтехоснастки.

На рис. 6 и 7 показана, разработанная в системе ВР, линия крупноузловой сборки центроплана с отработкой на эргономичность.



Рис. 6. Линия крупноузловой сборки центроплана самолета Ан 148 , разработанная в системе виртуальной реальности. Общий вид



а



б

Рис. 7. Фрагменты линии крупногабаритной сборки центроплана

#### Выводы

1. Разработанные методика и технологические рекомендации являются первой работой в области применения и практического внедрения в технологическую подготовку производства летательных аппаратов технологии VRs применением ПТК-VR на примере ЭКТМ центроплана ближнемагистрального самолета Ан 148 в интеграции с корпоративными системами CAD, PDM, VR.

2. Общая методика рекомендована для инженерно-технического персонала самолетостроительных предприятий, занимающихся отработкой на технологичность и запуском в серийное производство гражданских отечественных самолетов.

## Концепція і методика проектування оснащення агрегатно-складального виробництва літаків на базі їх електронних конструкторсько-технологічних макетів

А.В. Кондратьєв, В.Г. Чітак

*Анотація.* Розроблено концепцію та реалізуючу її методику проектування оснащення агрегатно-складального виробництва для практичного впровадження в технологічну підготовку виробництва на прикладі центроплана літака Ан 148 на базі його електронного конструкторсько-технологічного макета в інтегрованій системі CAD/CAM/CAE/PDM і віртуальної реальності.

Сформульовано основні вимоги до складальної оснастки в умовах 3-D цифрової конструкторсько-технологічної підготовки виробництва і створеної електронної конструкторсько-технологічної документації в процесі 3-D цифрової КТІВ агрегатно-складального виробництва.

Наведено 3-D цифрові моделі обладнання, оргтехоснащення і інструменту на стаціонарне обладнанні, робототехнічні комплекси для розтину отворів і постановки кріплення в стендах і складальних пристосуваннях і інші складові. Розроблено методику та технологічні рекомендації по конструюванню збиральних пристосувань, що розробляються по електронним макетів вузлів і агрегатів, а також при створенні електронної документації на складальні пристосування вузлів і ступеня загальною складання центроплана в середовищі корпоративних систем CAD / CAM / CAE / PDM і BP. Наведено результати відпрацювання програмно-технологічного комплексу віртуальної реальності на прикладі розробки директивного технологічного процесу складання центроплана крила літака Ан 148 із застосуванням інтегрованих систем.

**Ключові слова:** концепція, проектування оснащення, агрегатно-складальне виробництво, електронний конструкторсько-технологічний макет, інтегрована система, віртуальна реальність.

## The concept and method of designing the equipment of the aggregate-assembly production of aircraft based on their electronic design and technological models in the environment CAD / CAE / CAM production management system information (PDM) and virtual reality

A. Kondratiev, V. Chitak

**Abstract.** A concept and a technique for designing the equipment for assembly-and-assembly production have been developed for practical implementation in the technological preparation of production using the example of the central section of the An 148 aircraft based on its electronic design and technology layout in the integrated CAD / CAM / CAE / PDM system and virtual reality . Formulated basic requirements for assembly tooling in 3-D digital conditions.

design and technological preparation of production and the created electronic

design and technological documentation in the process of 3-D digital KTRP aggregatebut assembly production.

There are 3-D digital models of equipment, office equipment and tools on stationary equipment, robotic systems for opening holes and mounting hardware in stands and assembly devices, and other components.

The methodology and technological recommendations for the design of assembly devices developed on electronic models of components and assemblies, as well as the creation of electronic documentation for the assembly devices for assemblies and stocks of the general assembly of the center section in the corporate CAD / CAM / CAE / PDM and BP systems are developed.

The results of the development of the virtual reality software-technological complex are given on the example of the development of the directive technological process of assembling the wing center section of the An 148 aircraft using integrated systems.

**Keywords:** concept, tooling design, aggregate-assembly production, electronic design and technological layout, integrated system, virtual reality.

### References

1. Читак В.Г. Состояние и перспективы развития авиастроения Украины в современных условиях / В.Г. Читак // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – 2018. - Вып. 94, №2. – С. 7 – 18.
2. Читак В.Г. Анализ современного состояния информационной поддержки автоматизированных технологических процессов производства отечественных гражданских самолетов / В.Г. Читак // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 95, №3. – 2018. – С. 7 – 20.
3. Бычков С.А. Методика реализации системы автоматизированного конструирования и изготовления приспособлений при технологической подготовке самолетостроительного производства в режиме виртуальной реальности / С.А. Бычков, В.Г. Читак // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – № 82.– 2018. – С. 47-59.
4. Читак В.Г. Концепция применения программного технического комплекса в среде виртуальной реальности в 3D-цифровой конструкторско-технологической подготовке производства агрегатов самолетных конструкций /В.Г. Читак // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – № 83.– 2018. – С. 35 – 45.
5. Король В.Н, Матвиенко В.А. современные тенденции технологической модернизации производства гражданских самолетов [Текст] // Технологические системы. – №1(62). – 2013. – С. 42–48. <http://technological-systems.com/index.php/Home/article/view/255>
6. Технология самолетостроения / А.Л. Абибов, М.Н. Бирюков, В.В. Бойцов и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 551 с.
7. Бабушкин А.И. Моделирование и оптимизация сборки летательных аппаратов / А.И. Бабушкин. – М.: Машиностроение, 1990. – 240 с.
8. Кривов Г.А., Тарасов Ю.М., Громашев А.Г., Матвиенко В.А. Обеспечение соответствия новых технологий агрегатно-сборочного производства гражданских самолетов требованиям авиационных правил // Международная энциклопедия CALS-технологий. – М.: Авиационно-космическое машиностроение, 2015. – С. 399-407с.
9. Бойцов В.В. Сборка агрегатов самолета / В.В. Бойцов, Ш.Ф. Ганиханов, В.Н. Крысин. – М.: Машиностроение, 1988. – 152 с.
10. Кривов Г.А., Зворыкин К.О., Матвиенко В.А. Механизированные технологии в современном агрегатно-сборочном производстве самолетов // Международная энциклопедия CALS-технологий. - М.: Авиационно-космическое машиностроение, 2015.–С. 122-124 с.
11. Кривов Г.А., Зворыкин К.О. Ключевые тенденции развития мирового самолётостроения и участие в интеграционных процессах украинских предприятий [Текст] / Г.А. Кривов, К.О. Зворыкин // Технологические системы. – № 2(83). – 2018. – С. 21–30. <http://technological-systems.com/index.php/Home/article/view/111/119>. [dx.doi.org/10.29010/083.2]