

УДК 658.512.4

**М. С. МЕЛЬНИКОВ, В. Е. ЗАЙЦЕВ***Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## **СОКРАЩЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ АВИАЦИОННОГО ТРУБОПРОВОДА ПУТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРИНЯТИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ**

*Рассмотрен вопрос сокращения длительности технологической подготовки производства (ТПП) деталей авиационного трубопровода на авиационном предприятии. Основным направлением сокращения длительности ТПП есть автоматизация конструкторского и технологического проектирования деталей. В статье описан метод кодирования геометрических и технологических параметров деталей, который позволяет использовать полученный код для автоматизации принятия рациональных технологических решений: оценки технологичности, поиска технологического процесса аналога, проектирования нового технологического процесса.*

**Ключевые слова:** технологическая подготовка производства, автоматизация, кодирование, детали авиационных трубопроводов, технологичность, проектирование технологических процессов.

### **Введение**

Основным направлением научно-технического прогресса в современном авиационном производстве является комплексная автоматизация всех этапов создания изделия – от его проектирования до изготовления, испытаний, эксплуатации и утилизации.

Одной из актуальных проблем технологической подготовки производства (ТПП) является применение компьютерных технологий в авиационной промышленности, характеризующейся частой сменяемостью сложных объектов производства. Сложность проблемы обуславливается большим объемом исходных данных, многообразием вариантов изготовления деталей, каждый из которых может быть разработан только в результате решения комплекса логических и вычислительных задач.

Одной из особенностей авиационного производства является частая сменяемость объектов производства. Это влечет за собой частую повторяемость работ по ТПП, доля которых в полном цикле создания, освоения и серийного производства самолетов непрерывно возрастает. В связи с этим встает вопрос об унификации технологических процессов (ТП).

### **Анализ последних исследований**

Проведенный обзор и анализ состояния проблемы технологической подготовки заготовительно-штамповочного производства на авиационном предприятии (проектирование технологического процесса изготовления деталей из трубчатых заготовок в частности), уровень ее автоматизации пока-

зал, что в настоящее время существует ряд эффективных систем автоматизированного проектирования (САПР) нескольких машиностроительных изделий, автоматизированные производственные системы механической обработки деталей. Автоматизация же этапа технологической подготовки и заготовительного производства в частности развита в значительно меньшей мере, что отрицательно сказывается на темпах практического внедрения автоматизированных производств [1, 2].

В качестве фактора, влияющего на снижения длительности выполнения ТПП, было выбрано использование систем автоматизированного проектирования технологической подготовки производства.

В качестве объекта исследования была выбрана группа деталей из трубчатых заготовок. Трубопроводы топливной системы, гидравлической системы, противообледенительной системы, системы кондиционирования воздуха занимают немаловажное место в планере самолета, а, следовательно, и в организации ТПП.

### **Формулирование цели и постановка задачи исследования**

Целью исследований является снижение длительности проектирования технологических процессов изготовления деталей авиационного производства из трубчатых заготовок.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи:

Разработать метод кодирования деталей авиационных трубопроводов для использования в автоматизированных системах для принятия рациональ-

ных технологических решений.

Разработать алгоритмы программного обеспечения, реализующие поддержку в принятии технологического решения при производстве авиационных деталей из труб в условиях единого информационного пространства (ЕИП) предприятия.

При проектировании технологических процессов в условиях автоматизированного проектирования появляется специальный этап работы, связанный с подготовкой исходных данных для машинного решения технологической задачи. К специальным работам относятся кодирование, сохранение информации и контроль результатов кодирования. Разработка систем кодирования предполагает проведение анализа и предварительное классифицирование объектов и средств производства.

Были рассмотрены основные способы формализованного представления конструкторско-технологических данных. Проведен анализ существующих классификаторов параметров деталей из труб авиационного производства и на основе полученных результатов были сформулированы такие проблемы:

- отсутствие системы кодирования технологической информации авиационных деталей из труб, которую можно использовать в современных инженерных и технологических компьютерных системах;
- отсутствие системы идентификации авиационных деталей из труб для поиска и выбора рациональных технологических решений в условиях единого информационного пространства;
- отсутствие системы накопления, систематизация и передача информации о деталях авиационного трубопровода, необходимой для проектирования и производства.

От рациональности и простоты способа представления данных в значительной степени зависит множество факторов проектирования ТП: время подготовки исходных данных, сложность и универсальность алгоритмов и программ проектирования и, наконец, само время проектирования ТП, требования к конфигурации оборудования на котором будет реализован данный способ.

В связи с этим был предложен новый метод кодирования авиационных деталей из трубчатых заготовок и технологического процесса на их изготовление в условиях ЕИП. Он заключается в выборе необходимых параметров детали (конструкторских и технологических) для ее кодирования технологом для определенного предприятия.

При исследовании номенклатуры авиационных деталей из труб, были выявлены параметры деталей из труб, которые максимально влияют на технологичность ее изготовления. Также было определено

от чего зависят эти параметры и на какие другие параметры они влияют. Ниже представлена сводная таблица этих параметров и зависимостей (табл. 1).

Основываясь на этой таблице, были выбраны параметры конструкторско-технологического кода (КТК), позволяющие описать деталь, максимально учитывая ее геометрические и технологические особенности (рис. 1) [3].

Конструкторская часть кода						Технологическая часть кода								
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Длина трубы	Диаметр трубы	Толщина стенки	Радиусгиба	Количествогибов	Конструктивныеособенности	Материал	Типтрубы	Формообразованиеконцов	Прямыеучасткинаконцах	Расстояниемеждугибами	Наполнитель	Окраска	Химическоепокрытие	Контроль

Рис. 1. Конструкторско-технологический код детали из трубы

В комплексе требований, предъявляемых к технико-экономическим показателям промышленных изделий, важное место занимают вопросы технологичности конструкций.

Для каждого параметра, описанного ранее КТК, были созданы оценочные таблицы. Такая таблица содержит в себе диапазоны значений параметра и присвоенную им оценку в соответствии с затратами на обеспечение заданного значения. Также каждому параметру необходимо присвоить «коэффициент весомости», определяемый технологами на конкретном предприятии. Этот коэффициент позволяет учитывать особенности определенного производства [4].

### Проектирование нового ТП детали из трубы на авиационном производстве в условиях ЕИП

Один из способов, позволяющий создавать рациональные технологические процессы, базируется на методе моделирования деятельности технолога. Этот способ является исторически первым в каждом типе производства, поскольку он возник на основе обобщения опыта квалифицированных технологов.

Были разработаны алгоритмы проектирования нового ТП изготовления авиационных деталей из труб в условиях ЕИП для материалов Д16Т, АМг, нержавеющая сталь, титан, где параметры разработанного конструкторско-технологического кода служат условиями прохождения по алгоритму.

Проходя сверху вниз по алгоритму, в соответствии со значениями параметров кода, система как

Таблица 1

Влияние геометрических и технологических характеристик детали из трубы на ее технологичность

Характеристики	От чего зависит:	На что влияет:
<b>Радиусгиба</b> $R_{min} = f(d, S, T_{в}) = 0.5D_{н}/\delta$	материал, наружный диаметр трубчатой заготовки (тр.з), толщина стенки.	кол-во оснастки, вид оборудования, величину утонения.
<b>Утонение</b> $\delta = (S_o - S_k)/S_o \times 100$	материал, наружный диаметр тр.з., радиусгиба, толщина стенки.	кол-во оснастки, вид оборудования.
<b>Овальность</b> $k = (D_1 - D_2)/D_o \times 100$	Материал, наружный диаметр тр.з., радиусгиба, толщина стенки.	кол-во оснастки, вид оборудования.
<b>Гофрообразование</b>	материал, наружный диаметр тр.з., рабочее давление в системе.	кол-во оснастки, вид оборудования.
<b>Наполнитель</b>	материал, наружный диаметр тр.з.	кол-во оснастки, вид оборудования, наружный диаметр.
<b>Длина прямого участка между гибом</b>	материал, наружный диаметр тр.з.	вид оборудования, выбор технологии гибки.
<b>Геометрия концов</b>	материал, наружный диаметр тр.з., толщина стенки.	кол-во оснастки, вид оборудования.
<b>Формообразование концов</b>	материал, тип соединения.	технология формообразования, толщина стенки, вид оборудования

конструктор собирает формулировки операций, формируя тем самым «скелет» нового технологического процесса. Технологию остается только проверить ТП и в случае необходимости внести корректировки.

Также можно проводить укрупненный анализ смыслового значения конструкторско-технологического кода в результате моделирования выполнения алгоритма автоматизированного проектирования ТП.

### Поиск ТП-аналога

Для поиска ТП-аналога КТК используется в качестве идентификатора детали, технологического процесса ее изготовления. Удобство его использования заключается в том, что технолог выбирает те или иные параметры КТК, значения которых максимально отвечают требуемым для искомой детали [5,6].

### Последовательность выполнения работ по проектированию нового технологического ТП детали из трубы авиационного производства с использованием КТК

Через технологическое отверстие в силовом элементе должен пройти изогнутый трубопровод (рис 2).

На этапе конструкторского проектирования конструктор может определить какой радиусгиба будет более технологичный.

Система формирует два КТК для двух вариантов детали с разными радиусамигиба (рис 3). Два кода будут отличаться 4 знаком (радиусгиба) и, зависящего от него, 10 знаком (длина прямых участков). Согласно оценочным таблицам система подсчитывает две оценки технологичности –  $Z_1$  для



Рис. 2. Технологическое отверстие в силовом эл-те.

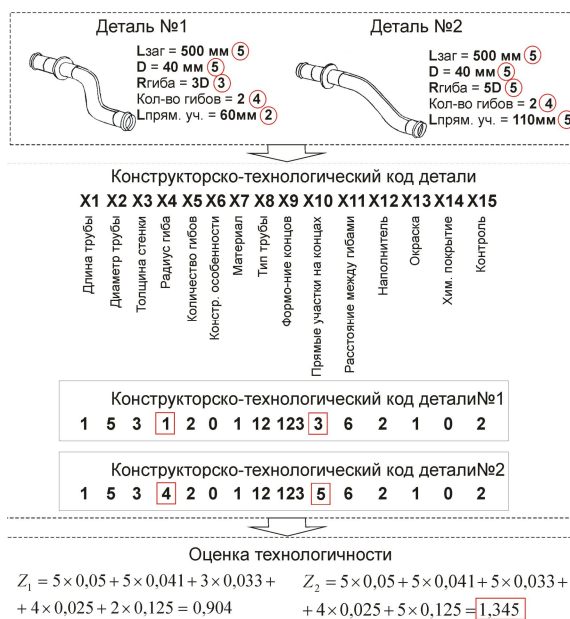


Рис. 3. КТК двух деталей

первого варианта детали и  $Z_2$  для второго. Более высокая оценка соответствует более технологично-му решению изготовления детали.

Затем, согласно разработанному алгоритму (рис. 4) система формирует текст нового технологического процесса – номер операции и ее содер-

жание (табл. 2). Критериями перехода по веткам алгоритма являются значения КТК (жирные стрелки на рис. 4). Технологию остается проверить его и внести необходимые правки, если потребуется.

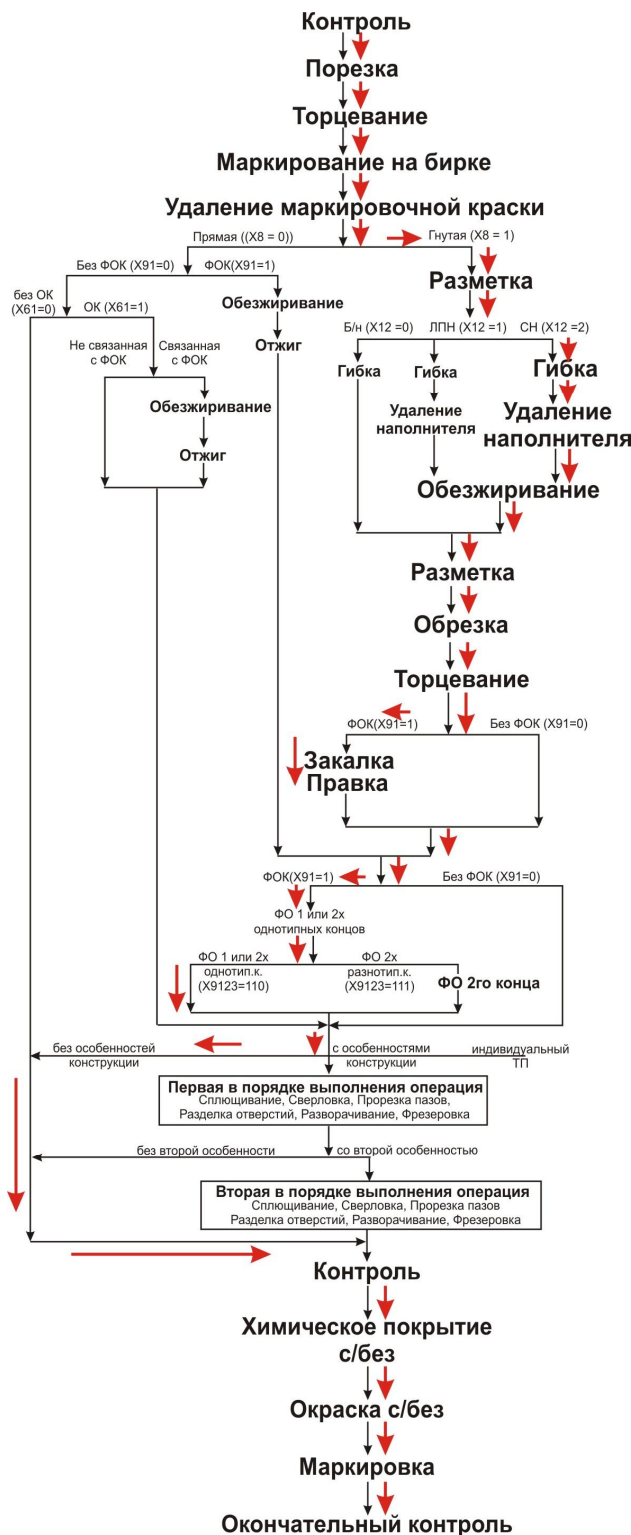


Рис. 4. Последовательность выполнения работ по проектированию нового ТП детали из трубы авиационного производства

Таблица 2

Пример сформированного технологического процесса согласно выполненному алгоритму

№	Описание операции
5	<b>Контроль</b> Проверить геометрические размеры, маркировку, марки материала, наличие клейм приемки БТК
10	<b>Отрезная ИОТ ИОТ 033-07-10-88</b> Отрезать заготовку, L=4728 мм
15	<b>Слесарная ИОТ 033-07-18-90</b> 1. Снять заусенцы 2. Притупить острые кромки с 2-х концов 3. Промыть заготовку по ТТ 40016
20	<b>Маркирование ИОТ 033-07-18-90</b> Маркировать трубопровод по чертежу и 140ТИЗ1-2000-96 ударно на бирке
25	<b>Транспортировка ИОТ 045-14-14-89</b>
30	<b>Разметка</b> Произвести разметку зонгиба по эталону
35	<b>Наполнение ИОТ 033-07-18-90</b>
40	<b>Гибка ИОТ 033-07-18-90</b> Гнуть трубу по разметке.
45	<b>Удаление наполнителя ИОТ 033-07-18-90</b>
50	<b>Разметка</b> Разметить линии обрезки трубы
55	<b>Отрезная ИОТ ИОТ 033-07-10-88</b> 1. Отрезать припуск по разметке 2. Произвести торцовку 2-х концов трубы 3. Очистить внутреннюю поверхность трубы от абразивной пыли на глубину 10 мм от торца трубы с 2-х сторон 4. Калибровать трубу с 2-х концов до размеров: D <sub>min</sub> =17,9 мм, D <sub>max</sub> =17,95 мм
60	<b>Контроль БТК согласно ТКК ИОТ 112-01-04-90</b> Контролировать овальность трубы Контролировать состояние поверхности: наружная и внутренняя поверхности трубы должны быть гладкими и ровными, чистыми, без трещин, забоин и царапин.
65	<b>Окрашивание.</b> Произвести покрытие трубы по ТТ 127-10.40012Т
70	<b>Развальцовка ИОТ 033-07-22-90</b> Произвести развальцовку 2-х концов трубы по ГОСТ 13954-74, 2 установки
75	<b>Промывка ИОТ 033-09-07-90</b> 1. Промыть концы трубы струей уайт-спирита 2. Высушить в течение 15 мин
80	<b>Зачистка ИОТ 033-07-18-90</b> Очистить внутреннюю поверхность раструба с 2-х сторон трубы. Зачистить торцы
85	<b>Промывка ИОТ 033-09-07-90</b> 1. Промыть концы трубы струей уайт-спирита 2. Высушить в течение 15 мин
90	<b>Контроль БТК согласно ТКК ИОТ 112-01-04-90</b> Контролировать геометрические размеры детали по чертежу и эталону
95	<b>Испытание ИОТ 033-07-19-90</b> 1. Испытать трубопровод на прочность 2% раствором воды с хромпиком в течении 5 мин, Ризб=(1,0± 0,1) МПа 2. Испытать трубопровод на герметичность воздухом в течении 5 мин, Ризб=(1,0± 0,1) МПа
100	<b>Промывка ИОТ 033-09-07-90</b>
105	<b>Сушка ИОТ 033-09-07-90</b>
110	<b>Контроль БТК ИОТ 112-01-04-90</b> 1. Контроль наличия отметки об испытаниях 2. Контролировать отсутствие видимых деформаций 3. Контролировать трубопровод по чертежу и эталону, контроль массы трубопровода, клеймить: контроль БТК
110	<b>Контроль БТК ИОТ 112-01-04-90</b> 1. Контроль наличия отметки об испытаниях 2. Контролировать отсутствие видимых деформаций 3. Контролировать трубопровод по чертежу и эталону, контроль массы трубопровода, клеймить: контроль БТК
115	<b>Укупорка ИОТ 033-09-05-90</b> 1. Проверить деталь на отсутствие посторонних предметов 2. Заглушить оба конца трубы металлическими заглушками 3. Погрузить в расплавленную массу поочередно оба конца трубы 4. Выдержать трубу на воздухе до остывания массы не менее 1,5-2 часа
120	<b>Транспортировка ИОТ 045-14-14-89</b>
125	<b>Окрашивание.</b> Окрасить трубопровод чертежа по ТТ 55273.50198
130	<b>Контроль БТК ИОТ 112-01-04-90</b>
135	<b>Маркирование ИОТ 033-07-18-90</b> Маркировать трубопровод согласно эталона и 140ТИЗ1-2000-96
140	<b>Контроль БТК ИОТ 112-01-04-90</b>

## Выводы

1. Исследование факторов, влияющих на сроки и трудоемкость проектирования ТП авиационных деталей из труб показало:

– на повышение уровня технологической подготовки производства авиационных деталей и деталей из труб в частности, влияет ряд факторов, которые можно объединить в три группы: технические, экономические и организационные;

– основным направлением научно-технического прогресса в современном авиационном производстве является комплексная автоматизация всех этапов создания изделия – от его проектирования до изготовления, контроля и испытаний.

2. Разработан метод кодирования авиационных деталей из труб для использования в автоматизированных системах. Впервые создан подход классификации деталей из труб в авиационном производстве для использования их в автоматизированных системах проектирования ТП и разработан метод автоматизированного кодирования параметров технологических процессов изготовления деталей из труб в условиях ЕИП.

3. Разработаны алгоритмы программного обеспечения, реализующие поддержку в принятии технологического решения при производстве авиационных деталей из труб в условиях единого информационного пространства:

– алгоритм кодирования параметров деталей из труб авиационного производства для обеспечения автоматизированного проектирования ТП их изготовления в условиях ЕИП;

– алгоритмы поиска рациональных технологических решений при технологическом проектировании авиационных деталей из труб в условиях ЕИП, позволяющие повысить эффективность технологической подготовки производства при использовании информационных технологий.

4. Различные методы проектирования технологических процессов, применяемых в автоматизированных системах позволяют сократить время проектирования техпроцессов за счет увеличения скорости проектирования при одновременном улучшении качества (уменьшение ошибок, соответствие ЕСТД и СТП и т.д.). Применение разработанного метода кодирования деталей позволяет сэкономить до 70% времени на создание технологических процессов за счет увеличения скорости проектирования при одновременном улучшении качества.

## Литература

1. Сухов, В. В. Оптимизация конструктивно-технологического облика деталей заготовительно-штамповочного производства в авиационной промышленности. [Текст] / В. В. Сухов. – К.: Техніка, 1997. – С. 151-159.

2. Бычков, С. А. Количественная характеристика заготовительно-штамповочного производства [Текст] / С. А. Бычков, И. В. Павлов, В. В. Сухов // бюллетень УкрНИИАТ, 1996. – 4 с. – Деп. в ГНТБ Украины 17.12.96, № 276-Ук96.

3. Мельников, М. С. Оценка технологичности деталей в САПР ТП. [Текст] / М. С. Мельников // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. научн. тр. / М-во образования и науки Украины, Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Харьков, 2007. – Вып. 36. – С. 100–104.

4. Мельников, М. С. Кодирование авиационных деталей из трубчатых заготовок и его применение в системах автоматизированного проектирования. [Текст] / М. С. Мельников, В. Е. Зайцев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. научн. тр. / М-во образования и науки Украины, Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Харьков, 2013. – Вып. 62. – С. 112–116.

5. Зайцев, В. Е. Автоматизация технологической подготовки производства в заготовительно-штамповочном производстве. [Текст] / В. Е. Зайцев, В. Г. Данченко, М. С. Мельников // Авиационно-космическая техника и технология. – 2006. – № 3 (39). – С. 42–46.

6. Мельников, М. С. Автоматизация поиска технологического процесса с применением конструкторско-технологического кода детали. [Текст] / М. С. Мельников // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. научн. тр. / М-во образования и науки Украины, Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Харьков, 2007. – Вып. 32. – С. 101–103.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., проф. кафедры проектирования ракетно-космических аппаратов В. Е. Гайдучук, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

**СКОРОЧЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ  
АВІАЦІЙНОГО ТРУБОПРОВОДУ ШЛЯХОМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРИЙНЯТТЯ  
РАЦІОНАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ**

*М. С. Мельніков, В. Є. Зайцев*

Розглянуто питання скорочення тривалості технологічної підготовки виробництва (ТПВ) деталей авіаційного трубопроводу на авіаційному підприємстві. Головним напрямком скорочення терміну ТПВ є автоматизація конструкторського та технологічного проектування деталей. У статті описано метод кодування геометричних і технологічних параметрів деталей, що дозволяє використовувати отриманий код для автоматизації прийняття раціональних технологічних рішень: оцінки технологічності деталей, пошука технологічного процесу-аналога, проектування нового технологічного процесу.

**Ключові слова:** технологічна підготовка виробництва, автоматизація, кодування, деталі авіаційних трубопроводів, технологічність, проектування технологічних процесів.

**REDUCTION OF TECHNOLOGICAL PREPARATION TIME NEEDED FOR PRODUCTION  
OF AVIATION PIPELINE DETAILS BY MEANS OF AUTOMATION OF RATIONAL  
TECHNOLOGICAL DECISION-MAKING**

*M. S. Melnikov, V. E. Zaitsev*

The question of reducing the length of technological preparation of production (TPP) of parts for the aviation pipeline in aircraft manufactory has been discussed. The main direction of reducing the length of the TPP are automation design and technological design of details. A method for encoding geometric and technological parameters of parts has been described, allowing to use the resulting code to create automated logical decisions: estimation of adaptability, search technological process-analog design, a new technological process.

**Keywords:** technological production planning, automation, coding, aircraft parts pipelines, manufacturability, design technological processes.

**Мельников Михаил Сергеевич** – мл. науч. сотр. кафедры технологии производства летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: msmishanya@inbox.ru.

**Зайцев Виталий Егорович** – д-р техн. наук, проф. кафедры технологии производства летательных аппаратов, проректор по научно-педагогической работе, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: vitaliy.zaitsev@khai.edu