

УДК 621.83

**А. Н. Михайлов**, д-р тех. наук, проф., **В. Б. Котляров**, инженер,**С. Б. Котляров**, инженер

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР

Тел: +7(964) 7045362; E-mail: [validarkotlarov@mail.ru](mailto:validarkotlarov@mail.ru)

## СИНТЕЗ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СОЗДАНИЯ КПП БЕЗ РАЗРЫВА ПОТОКА ПЕРЕДАВАЕМОЙ МОЩНОСТИ

*В статье приведены сведения о последовательности выполнения комплекса действий при создании нового изделия типа «Коробки переключения передач» (КПП) без разрыва потока передаваемой мощности. Указаны этапы жизненного цикла КПП от возникновения идеи до утилизации, освещены факторы, определяющие переход на каждый последующий этап проектирования с учетом итеративных и рекуррентных подходов достижения положительных результатов на каждом этапе. При этом указаны конструктивно-технологические признаки изделий, оказывающие влияние на выбор вариантов технологических воздействий при изготовлении.*

**Ключевые слова:** *этапы проектирования, жизненный цикл изделия, иерархические уровни, итеративный подход, технологическое воздействие, конструктивно-технологические признаки.*

**A. N. Mikhaylov, S. B. Kotlyarov, V. B. Kotliarov**

### SYNTHESIS OF THE MODEL OF A FUNCTIONALLY-ORIENTED TECHNOLOGICAL SYSTEM OF CREATION OF A TRANSMISSION GEARBOX WITHOUT A BREAK OF POWER FLOW

*The article provides information about the sequence of actions when creating a new product such as "Gearbox" (PPC) without breaking the flow of transmitted power. The stages of the PPC life cycle from the emergence of the idea to disposal are indicated, factors that determine the transition to each subsequent design stage are considered, taking into account iterative and recurrent approaches to achieve positive results at each stage. At the same time, the structural and technological features of the products are indicated that affect the choice of options for technological impacts during manufacture.*

**Keywords:** *design stages, product life cycle, hierarchical levels, iterative approach, technological impact, design and technological features.*

#### 1. Введение

В данной работе предлагается рассмотреть укрупненно принципы создания новых технических средств в техносфере на примере разработки новой механической коробки переключения передач (КПП), обладающей новым качеством, в виде обеспечения передачи крутящего момента без разрыва потока передаваемой мощности, и функционально ориентированной технологии ее изготовления. Известно множество различных КПП [1], применяемых на различных видах техники, а также общие базовые принципы их создания [2, 3].

В настоящее время научная мысль продвинулась далеко вперед во многих областях техносферы, в том числе и в направлении создания новых видов техники и общих принципов создания технологии изготовления, обеспечивающей получение новых совокупностей качеств технических средств и меры полезности [4]. Создание же конкретных технических изделий требует конкретизации и параметризации общих принципов применительно к самой идее создания нового изделия при наличии запроса в обществе на такое изделие, к уровню квалификации создателя-разработчика, наличию технических средств и ресурсов, в том числе финансирования и времени.

Целью настоящей работы является подтверждение и расширение технологических возможностей общей концепции построения функционально ориентированных технологий в машиностроении [4] путем конкретизации для частного

случая создания КПП без разрыва потока передаваемой мощности.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1. Установить путь информационного потока технической идеи создаваемого механизма с выделением узловых моментов от возникновения замысла до реализации на физическом плане.

2. Установить и выделить основные информационные потоки, связывающие конструкторско-технологические аспекты задачи, и второстепенные, вспомогательные.

3. Обосновать возможность и необходимость установления в действующем производстве основных технологических переделов уже на стадии конструирования механизма и его деталей, а также широкой интерпретации и применения новых технологических возможностей на стадии изготовления.

## **2. Основное содержание и результаты работы**

Рассмотрим применение указанных принципов на примере создания новой механической ступенчатой зубчатой КПП, обладающей новым пользовательским качеством: переключение передач при передаче крутящего момента на рабочие органы машины, без разрыва потока передаваемой мощности в процессе осуществления переключения.

Запрос на новое изделие обычно возникает в узком кругу специалистов, связанных с определенной задачей или решением определенной проблемы. Возникает запрос, как правило, в МЫСЛИТЕЛЬНОМ (ментальном) пространстве потенциального разработчика в образном выражении в процессе анализа работы машины или механизма, выдающего недостаточный результат для решения задачи. Этот недостаток может быть проявлен на физическом плане в маломощности механизма, недостаточной функциональности, в нестабильности работы, в проявлении иных показателей, не позволяющих решать поставленные задачи за счет применения механизма.

Запрос, как правило, не проявляется в семиотическом (С) пространстве, а находится в латентном состоянии в мыслительном (М) пространстве на протяжении какого-то периода до накопления достаточной информации для зарождения идеи по решению проявленного недостатка, в зависимости от множества самых разнообразных факторов. При накоплении достаточного информационно-энергетического потенциала и при определенной мотивации идея формируется в виде образа, который можно оформить в виде знакового отражения в семиотическом пространстве в словесном описании, в виде чертежей, прорисовок, заявок и т.д. С этого момента можно говорить о начале проявленной фазы создания нового изделия в реальном пространстве в виде семиотических знаков и подключению к процессу создания не только конструктивных ресурсов, но и ресурсов технологического обеспечения изготовления применительно к обозримому фонду ресурсов (знаниевых, кадровых, материальных, энергетических, информационных, управленческих и иных) разработчика. Но в мыслительном пространстве (М) потенциальным разработчиком к вынашиваемой идее могут быть привлечены очень ограниченные ресурсы, и очень ограниченное число потенциальных соисполнителей и потенциальных соразработчиков.

При переводе идеи из М-пространства в семиотическое пространство (С) существенно возрастает привлечение квалифицированных кадровых, энергетических и информационных ресурсов, вычислительной и иной вспомогательной техники, что можно выразить следующим образом:

$$\lim_{x \rightarrow 0} I_M(S_M \cap E_M \cap I_M) \rightarrow \lim_{x \rightarrow A} I_C(S_C \cap E_C \cap I_C) \quad (1)$$

где  $\lim I_M$  и  $\lim I_C$  – минимальные задействованные общие ресурсы для реализации идеи в мыслительном и семиотическом пространстве, расширяющие свои пределы при переходе в пространство (С), и включающие;

$R_M, R_C$  – материальные ресурсы на физическом плане, включая кадры и финансы при переходе идеи И в семиотическое (С) пространство;

$E_M$  и  $E_C$  – энергетические ресурсы (включая применяемые технические средства) для перевода идеи в знаки и изображения;

$I_M$  и  $I_C$  – информационные ресурсы и потоки, включаемые в процесс реализации проекта на стадии проработки в пространстве (С).

При этом общий ресурс, направленный на реализацию идеи от нулевого возрастает до некоторой величины А. Формируется выражение объема исходного входящего информационного  $I_V$  потока и объема ориентировочного выходного информационный потока  $I_W$  при неизвестном объеме вариантов проработки на каждой стадии процесса. На этой стадии в пространстве (С) идея уже перерождается в концепцию  $K_C$ , являющейся предтечей стадии проектирования, и можно записать:  $\lim_{x \rightarrow A} (R_C \cup E_C \cup I_C)$ .

При дальнейшем насыщении концепции ресурсами – материальными, энергетическими и информационными, концепция переходит в качественно новый статус – проект П, который может реализовываться поэтапно, многостадийно, и с итерационным и возможным рекуррентным подходом к решению задач на каждом иерархическом уровне проработки проекта. При этом собственно концепция может приобретать дополнительные качественные признаки под воздействием дополнительно полученной информации, и такие уточняющие воздействия с обратной связью могут проявляться на различных иерархических уровнях разработки проекта в семиотическом пространстве и вплоть до реализации технологии на физическом плане в материальном (твердотельном) исполнении, как отображено на рис. 1.

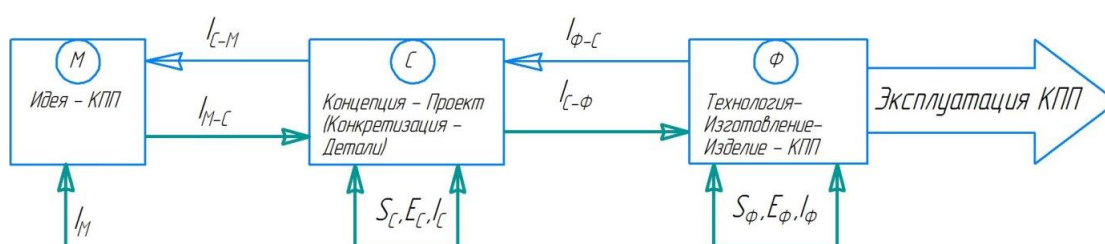


Рисунок 1. Порядок и схема разработки и создания КПП от идеи через проектирование до готового изделия и использования в сфере эксплуатации.

В первом блоке М на рис. 1 перерабатывается информация  $I_M$  из внешнего пространства, свидетельствующая о необходимости устранить недостаток, возникающих в работе технологических машин в определенной сфере из-за необходимости во время изменения оборотов выходного вала, при работе коробки передач с зубчатым зацеплением, прерывать поток передаваемой мощности. Возникает идея в процессе включения следующей передачи не выводить ведущую шестерню из полного зацепления с зубча-

тым колесом предыдущей передачи, что возможно сделать в передаче без изменения модуля и диаметра ведущей шестерни только за счет изменения диаметров ведомых колес и изменения межосевого расстояния. При этом в обязательном порядке необходимо обеспечить равенство окружных скоростей венцов колес в пространственной точке переключения передач.

Перенос идеи в семиотическое знаковое пространство  $S$  проявляется концепция КПП, заключающаяся в том, что необходимо выбрать из множества возможных механизмов изменения положения оси колеса в пространстве – геометрическое место точек оси вала ведомых колес (ГМТ) – кулачковых, эксцентриковых, кулисных и т.д., удовлетворяющих работоспособность КПП при выполнении определенных конструктивных ограничительных условий, и не создавая невыполнимых технологических требований.

Разработка ведется рекуррентным образом [4, 5, 6] с многократным повторением действий при использовании новых составляющих не только на уровне общей концепции КПП, но и с выделением основных функционально формируемых деталей.

Переборка вариантов и комбинаций вариантов известных решений не дала положительных результатов. ВОЗНИКАЕТ НОВОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ.

При этом информационные потоки между пространствами циркулируют в режиме обратной связи. На рис. 2 представлена схема проработки конкретных вопросов при решении конструкторско-технологических задач, в основании общей концепции построения функционально-ориентированных технологий в машиностроении [4, 6].

Иерархические уровни КПП определяются от общей сборочной единицы через узловые сборочные единицы к деталям по их функциональному предназначению – основные детали, вспомогательные детали, нормализованные и стандартные. Как правило категория основных деталей включает в себя корпусные несущие и опорные детали, а также детали основного обеспечения целевой функции – в КПП это передача вращательного движения с изменением передаточного отношения между ведущим и ведомыми валами. Таковыми в данной КПП являются корпус, ведущая шестерня, блок-вал ведомых колес (который в общем случае может быть выполнен как монолитным цельнообработанным, так и сборочным), ведущий вал.

На более низком иерархическом уровне представлены детали вспомогательной категории, в которую входят направляющие детали, детали механизмов переключения и фиксации положения подвижных деталей, специально сконструированные крышки, детали для размещения подшипниковых узлов и др.

В категорию нормализованных деталей нижнего иерархического уровня входят различного вида фиксаторы, шпонки, штифты, ручки, планки, специальные прокладки и другие детали, выпускаемые специализированными предприятиями или своими производственными подразделениями в массовом или серийном порядке, которые можно заказать на стороне или приобрести на договорных основаниях.

Категория стандартных изделий, как правило, включает в себя все крепежные детали и чаще всего являются покупными деталями.

На этапе конструирования КПП конструктор не может не обращаться к технологическим аспектам проектирования по причине необходимости обеспечения принципиальной собираемости изделия, как в узловых сборках, так и относительно общей сборки изделия; необходимо учитывать физическую возможность механообработки деталей, возможности придать необходимые свойства поверхностям

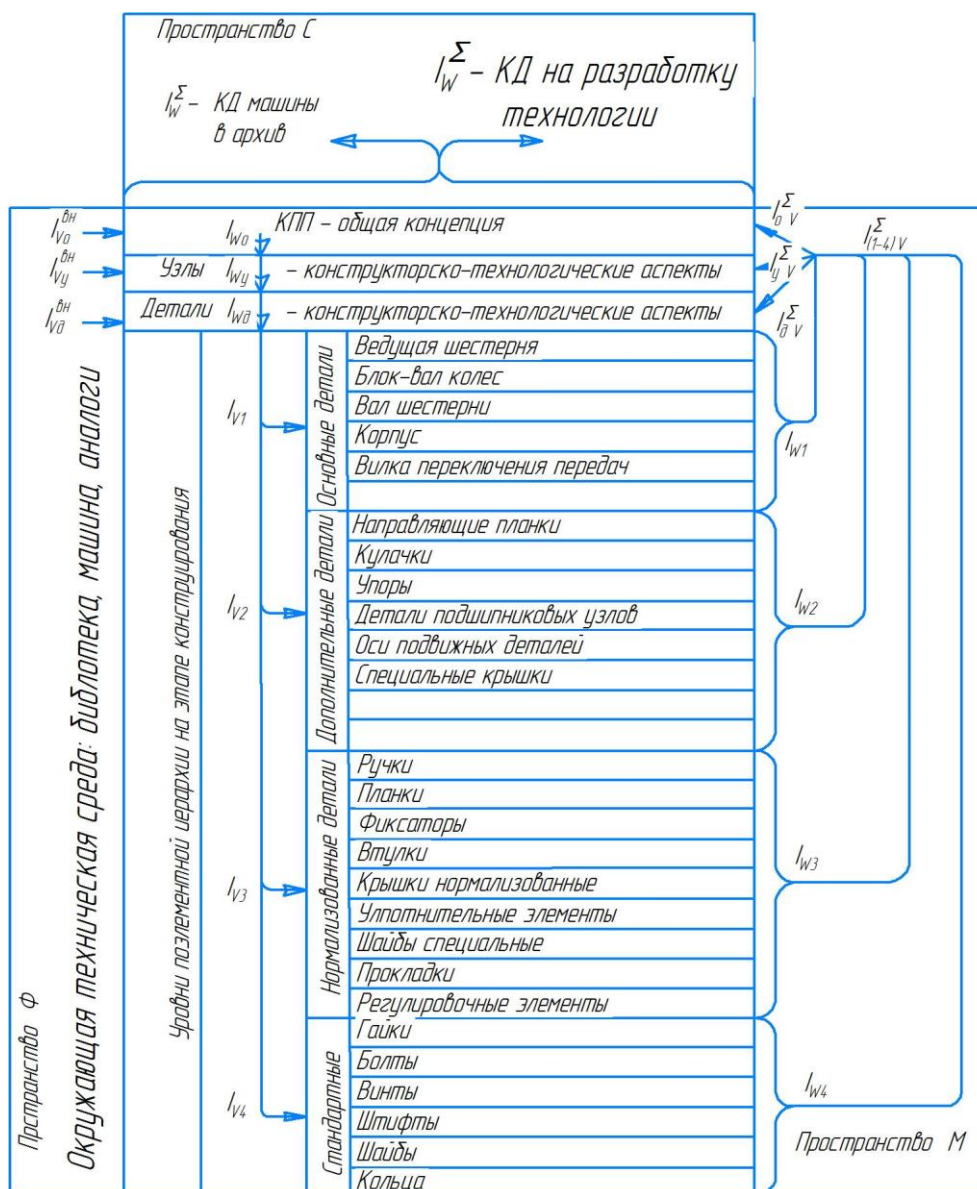


Рисунок 2. Принципиальная схема проектирования КПП на этапе создания конструкторской документации, учитывающей технологические аспекты имеющегося производства.

на действующем производстве. Например, на предприятии, для которого проектируется изделие к изготовлению, может отсутствовать определенный вид термообработки, может отсутствовать специальное зубообрабатывающее оборудование, и тогда, вместо монолитного блок-вала ведомых колес необходимо разрабатывать вариант сборочного узла блок-вала, и возможны иные аспекты производства.

Информационные выходные потоки  $I_W^K$  используемые при конструировании и отраженные в знаках пространства С, формируются как частные потоки информации в результате проработки по каждой детали и по каждому элементу детали из пространства М.

$$I_w^{K\Sigma} \in I_j^{C\bar{b}} \cap I_1^K \cap I_i^K \cap \dots \cap I_r^K, \quad (2)$$

где  $I_w^{C\bar{b}}$  - отражает информацию о сборочной единице  $j$ -го узла, включая способы сопряжения входящих в узел деталей, как оригинальных так и стандартных, покупных;

$I_w^K$  - отражает информацию о каждой детали из ряда от 1-ой до  $r$ -ой, включая размеры, допуски на размеры изготовления, шероховатость поверхностей.

Полная информация  $I_w^{K\Sigma}$  при конструировании изделия проявляется как конъюнкция частных потоков  $I_{wi}^K$  по каждой детали, по каждой угловой и общей сборке (2). По определенному множеству деталей возможны кольцевые проработки вопросов с учетом технологических аспектов обеспечения как геометрических форм и размеров деталей, так и обеспечения требуемых свойств поверхностей, модификаций и свойств подповерхностных слоев материала на заданных участках деталей.

Такие же рекуррентные подходы с возвращением к разработке отдельных элементов деталей, в зависимости от возможности технологических воздействий в будущем производстве, а также обеспеченности покупными изделиями. Такие кольцевые проработки применяются на всех иерархических уровнях с обеспечением итеративного подхода к достижению оптимального варианта конструкции, что позволяет существенно ускорить процессы подготовки производства и разрабатывать операционные процессы изготовления деталей, учитывая возможность применения автоматизированных способов разработки процессов [7, 8].

Кроме внутренних информационных потоков относительно узлов, деталей и общей конструкции при разработке КД разработчиками используется информация, поступающая из внешней среды, включающей библиотеку знаний, описание аналогов, информация о различных машинах, в которых применяются разного рода КПП, а также информация о технологической среде, предназначенной для изготовления изделия. Так символы  $I_{vo}^{6H}$ ,  $I_{vy}^{6H}$ ,  $I_{v\delta}^{6H}$  отражают входящие при конструировании объемы информации относительно общей сборки, узловой сборки и каждой детали соответственно. Полный объем КД передается в технологическое подразделение для разработки технологических процессов и в архив для хранения.

При передаче в технологические подразделения конструкторской документации (КД) на коробку начинается этап конкретизации технологии для маршрутной и операционной технологии изготовления КПП. На этапе разработки технологии на всех иерархических уровнях технологического проектирования осуществляется кольцевое с коррелятивной обратной связью решение принятия того или иного технологического воздействия при изготовлении деталей, а также осуществления контроля [10].

На рис. 3 представлена схема разработки технологии изготовления КПП на всех иерархических уровнях как продолжение общего проекта разработки изделия.

При этом информация о технологических воздействиях по обратной связи направляется в сферу конструктивных решений для возможной коррекции принятых конструктивных решений на всех иерархических уровнях – конструктивные элементы деталей, точность сопряжений, собираемость, точность изготовления и шероховатость поверхностей, модификации.

В сфере разработки технологии появляется поток информации из внешних источников о наличии оборудования, которое возможно применить при изготовлении,

о возможном инструментальном обеспечении, оснастке, станочном парке, возможности формообразования заготовок, обеспечения термообработки [11] по требованиям КД. Здесь же определяется материально-финансовое обеспечение производства, энергетическое обеспечение (включая все инженерные коммуникации производства), логистическое обеспечение (включая возможность обеспечения покупными и стандартными изделиями).

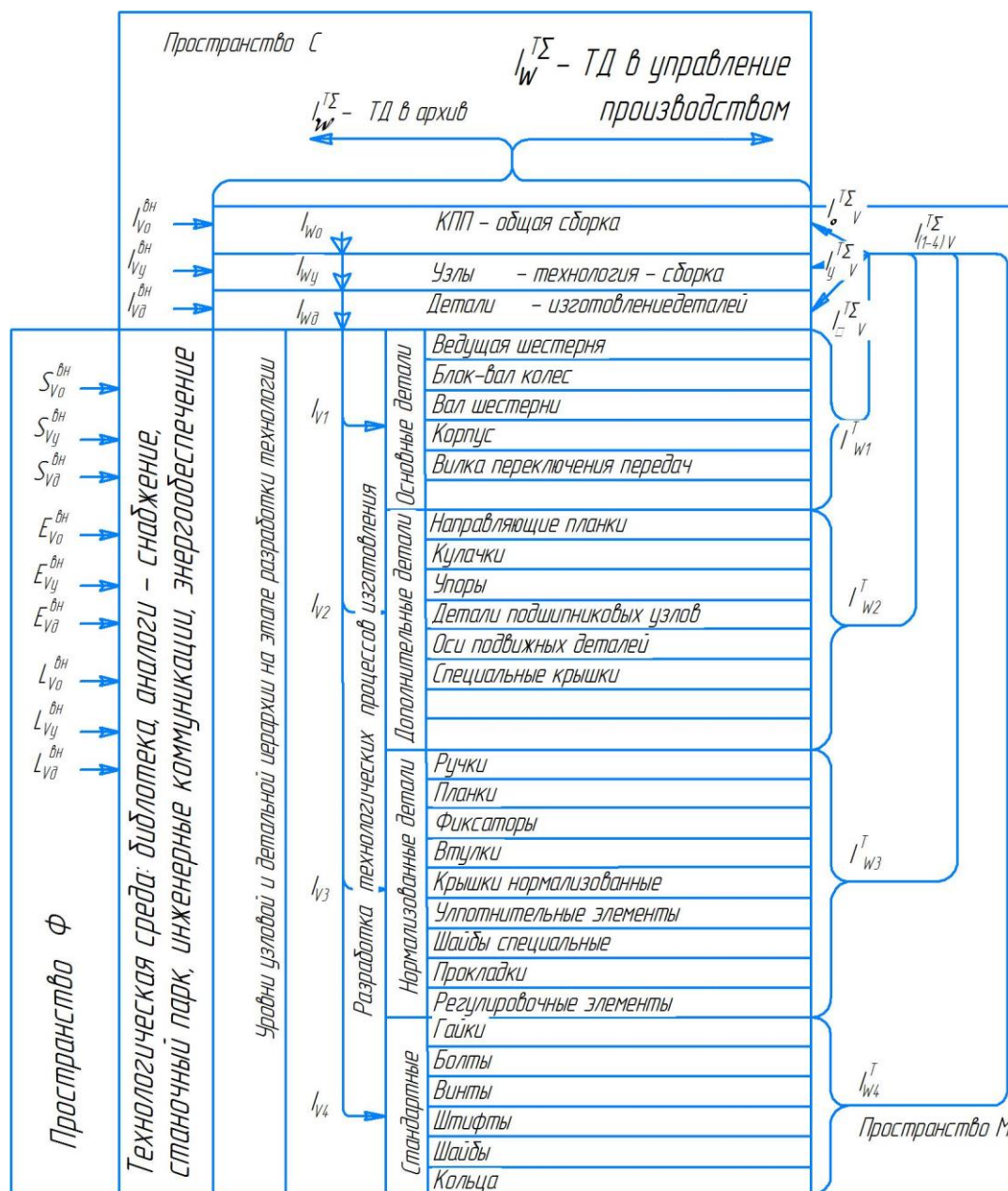


Рисунок 3. Принципиальная схема разработки технологии изготовления КПП с учетом циркуляции информационных потоков по всем иерархическим уровням.

Осуществление учета всех возможных ресурсов предприятия на этапе разработки технологии при технологической подготовке производства дает возможность обеспечить минимизацию затрат на всех этапах производства за счет

оптимизации размещения заказов на изготовление как на собственном производстве, так и при передаче на аутсорсинг определенной части работ. Например при расчете вариантов затрат в случае изготовления литого корпуса КПП на другом предприятии, или принятие сварного варианта, возможного для реализации на собственном производстве. Также можно сравнивать затраты при изготовлении зубчатых колес, при изготовлении достаточно сложного в геометрическом отношении блок-вала колес.

Общая информация о технологии  $I_W^{T\Sigma}$  представляет конъюнкцию всех частных технологических процессов сборочных узлов, процессов изготовления всех деталей, входящих в узлы механизма и в механизм в целом:

$$I_W^{T\Sigma} \in I_{W_j}^{Tc\delta} \cap I_{W_i}^{T\delta} \cap \dots \cap I_r^{T\delta} \quad (3)$$

Используя разнонаправленность и относительную плотность информационных потоков, привязанность к конструктивным и технологическим элементам структур технических систем можно осуществлять оптимизацию процессов обработки деталей и изготовления изделий на ранних стадиях проектирования (путем оптимизации) частных составляющих на каждой детали или сборки, отражаемых частными входящими в выражение (3) составляющими элементами. Суммарные потоки информации, входящие  $I_V^\Sigma$  в технологическую систему, или выходящие  $I_W^\Sigma$  из нее, состояются из частных информационных потоков  $I_{Vr}$  входящих, и  $I_{Wk}$  - выходящих, с помощью которых полностью определяется уровень возможной как технической, так и возможной иного вида обеспеченности процесса – материальной, финансовой, управленческой и т.д. Принадлежность частного информационного потока к тому или иному элементу технической системы обозначается соответствующим дополнительным индексом, и характеризует соответствующие технические показатели деталей или технологических аспектов в отношении подузлов и деталей при конструировании, вариантов выбираемых технологических воздействий при изготовлении.

На последующих этапах проектирования могут уточняться затраты на реализацию тех или иных процессов при создании новых машин и механизмов, опять же итеративно приближаясь к оптимальному варианту или запланированному показателю на основе рекуррентного подхода, а также минимизировать необходимое для проектирования и изготовления изделия время.

### 3. Заключение

Проведенные в данной работе аналитические исследования применительно к процессу проектирования технической системы изготовления на примере коробки переключения передач без разрыва потока передаваемой мощности, включающей этапы конструкторских работ, разработки технологии изготовления, пока безотносительно к типу производства (опытный образец или серийное производство, что безусловно налагает свои дополнительные связи на проектные работы), показали адекватность и актуальность системы создания функционально-ориентированных технологий в сфере машиностроения для разных деталей и узлов. Исследования позволили достичь поставленной в работе цели путем решения ряда некоторых частных задач.

1. Определены пути передачи информационных потоков и их пространственная принадлежность с начального этапа создания нового технического изделия, а именно, с



зарождения идеи на основании запроса, до реализации в материал на жизненном цикле. Указаны узловые моменты в процессе проектирования, определяющие выбранный вариант направления дальнейшей разработки на разных иерархических уровнях.

2. Установлены и выделены обобщающие и частные информационные потоки, их направленность и степень влияния на общий процесс проектирования технической системы и на частные технические решения, позволяющие находить оптимальные временные, ресурсные и управленческие выходы.

3. Показана возможность установления в рамках условно действующего производства основных технологических переделов уже на стадии конструирования механизма и его деталей, и тем более на стадии технологического проектирования, а также широкой интерпретации и применения новых технологических возможностей на стадии изготовления.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Дьяков, И. Ф. Ступенчатые и планетарные коробки передач транспортных машин. Учебное пособие / И. Ф. Дьяков, В. И. Тарханов – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 143 с. – ISBN 978-5-9795-0773-6.

2. Гируцкий, О. И. Развитие конструкций и перспективы автоматических трансмиссий / О. И. Гируцкий, В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич // Научное издание МГТУ им. Н. Э. Баумана. Наука и образование, № ФС77-48211 Государственная регистрация №0421200025, – М.: ФГУП НАМИ, – Могилев: Белорусско - Российский университет, 1994. – 360 с.

3. Базров, Б. М. Основы технологии машиностроения. Учебное пособие / Б. М. Базров. – М.: Машиностроение, 2005.

4. Михайлов, А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения / А.Н. Михайлов – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с.

5. Михайлов, А. Н. Особенности проектирования функционально-ориентированных технологических процессов / А. Н. Михайлов, А. В. Костенко // Сборник трудов материалов международного научного симпозиума технологов-машиностроителей, Ростов-на-Дону, 14-17 сент. 2016 г. – Ростов н/Д: ДГТУ, 2016. – С. 21–24.

6. Суслов, А. Г. Функционально-ориентированные технологии обработки рабочих поверхностей деталей машин / А. Г. Суслов – М.: Московский государственный индустриальный университет, 2014.

7. Цветков, В. Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов / В. Д. Цветков – Минск: Наука и техника, 1979. – 264 с.

8. Хейфец, М. Л. Проектирование процессов комбинированной обработки / М. Л. Хейфец – М.: Машиностроение, 2005. – 272 с.

9. Технологическая наследственность в машиностроении / А. М. Дальский, Б. М. Базров, А. С. Васильев и [др.] / Под ред. А. М. Дальского. – М.: МАИ, 2000. – 364 с.

10. Технический контроль в машиностроении: Справочник проектировщика / Под общ. ред. В. Н. Чупырина, А. Д. Никифорова. – М.: Машиностроение, 1987. – 512 с.

11. Термическая обработка в машиностроении: Справочник. / Под ред. Ю. М. Лахтина, А. Г. Рахштадта. – М.: Машиностроение, 1980. – 783 с.

Поступила в редколлегию 15.05.2020 г.