

В.А. ЗАЛОГА, д-р техн. наук, **К.А. ДЯДЮРА**, канд. техн. наук,
А.В. ПРОКОПЕНКО, Сумы, Украина

МЕТОДОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЗАИМОЗАВИСИМЫХ ПРОЦЕССОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ В ПРОЕКТАХ МАШИНОСТРОЕНИЯ

На основі моделі ендогенного науково-технічного прогресу (модель П. Ромера) запропонована модель спільної взаємодії функціональних підсистем проектування, виготовлення й експлуатації кожна з яких може мати самостійний характер застосування своїх результатів. Їхня інтеграція в загальну систему забезпечує якісно нову сукупність властивостей і міри корисності машинобудівного виробу виробничо-технічного призначення, а також підвищення техніко-економічних показників при його виготовленні й експлуатації.

На основе модели эндогенного научно-технического прогресса (модель П. Ромера) предложена модель совместного взаимодействия функциональных подсистем проектирования, изготовления и эксплуатации каждая из которых может иметь самостоятельный характер применения своих результатов. Их интеграция в общую систему обеспечивает качественно новую совокупность свойств и меры полезности машиностроительного изделия производственно-технического назначения, а также повышения технико-экономических показателей при его изготовлении и эксплуатации.

On the basis of model of endogenous scientific and technical progress (model of P. Romera) the model of joint co-operation of functional subsystems of planning, making and exploitation is offered each of which can have independent character of application of the results. Their integration in the general system provides high-quality the new aggregate of properties and measure of utility of machine-building good setting, and also increases of indexes at his making and exploitation.

Введение. В современных экономических и политических условиях важной проблемой, которая часто обсуждается как на высшем государственном так и на международном уровнях, является конкурентоспособность продукции, предприятий, экономики. При этом конкурентные позиции предприятий и государства на рынке во многом зависят от научно-технического уровня машиностроительной отрасли, которая является основным источником не только создания машин, оборудования, инструментов и т.п., но и существенно влияет на рост производительности труда в других отраслях и сферах экономики. Сегодня

неоспоримым фактом является то, что использование в машиностроительной отрасли новейших технологий и современных информационных средств оказывает непосредственное влияние на соотношение «цена-качество» на всех этапах жизненного цикла изделия (ЖЦИ).

Современный ЖЦИ представляет собой совокупность взаимосвязанных технических, экономических, социальных и иных систем, которые обладают различной степенью инерционности при их функционировании. Характерной особенностью рыночных условий на современном этапе развития общества является стремительное сокращение некоторых этапов ЖЦИ, в частности, таких как проектирования и изготовления, что связано с возрастанием требований к срокам создания и внедрения в производство новых изделий, а также технологий их изготовления, которые постоянно изменяются под воздействием научно-технического прогресса.

Обобщающим показателем развития государства считается экономический рост, который характеризуют следующие количественные показатели: объем выпуска продукции, темпы прироста труда и капитала, темпы роста валового национального продукта (ВНП) и валового внутреннего продукта (ВВП) и т.п.

В настоящее время теория научно-технического прогресса, признанная как решающий фактор экономического развития и лидирующая по числу публикаций в экономической литературе, к сожалению, используется, как правило, не для производственных целей. Она, к сожалению, пока еще не стала базовым инструментом формирования научно-технических программ и отбора инвестиционных проектов.

Наиболее известной моделью эндогенного научно-технического прогресса, которая основана на идее накопления человеческого капитала, является модель П. Ромера [1]. В модели предполагается, что в экономике существует три сектора: научно-исследовательский, производства средств производства (продукции производственно-технического назначения) и производства конечной продукции. Каждая сфера может иметь самостоятельный характер применения своих результатов, однако их совместное использование дает наибольший эффект. Их общий результат оказывает непосредственное воздействие на развитие производства и экономический рост как отдельной отрасли, так и государства в целом.

Постановка задачи. На основании анализа этапов ЖЦИ [2, 3, 4] можно установить, что машиностроительное изделие производственно-

технического назначения наиболее целесообразно рассматривать как композицию следующих уровней (рис. 1) [5]:

- изделие как объект проектирования и разработки.
- изделие как объект изготовления;
- изделие как объект эксплуатации;

При этом уровень эксплуатации изделия является первичным, уровень изготовления вторичным, а уровень проектирования и разработки – третичным. Все эти уровни взаимосвязаны между собой посредством прямых и обратных связей, которые обеспечивают непрерывные потоки информации об условиях эксплуатации изделия (технологической системы), а также об обеспечении свойств изделия на уровне проектирования и изготовления.

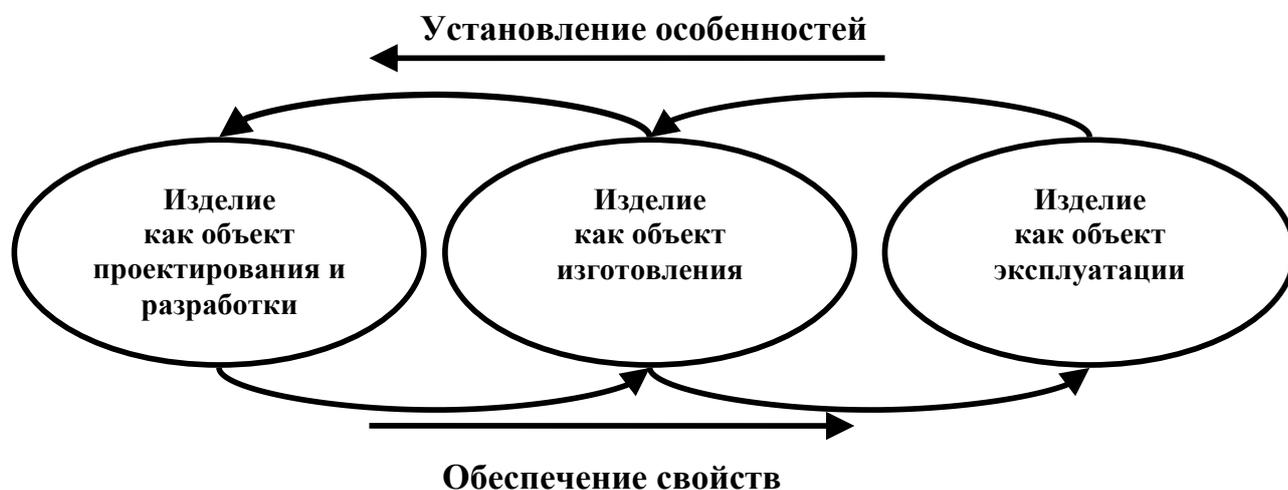


Рисунок 1 – Основные состояния изделия в процессе жизненного цикла

При проектировании и разработке вырабатывается концепция нового изделия, которая уточняется, анализируется и после проектной проработки материализуется в виде его характеристик и документируются в спецификациях, конструкторских чертежах, проектировочных расчетах и т.д. Определяются способы измерения и методы оценки соответствия характеристик требованиям заказчика и других заинтересованных сторон. Их значения используют на следующем этапе ЖЦИ – технологической подготовке производства для определения характеристик оборудования и последовательности технологических воздействий при изготовлении изделия. При этом характеристики продукции и процессов должны быть прослеживаемыми по отношению к документированным требованиям заказчика и других заинтересованных сторон. Поэтому связь между процессами проектирования и технологической подготовки производства является двусторонней, поскольку иногда (в зависимости от

экономической ситуации) требуется корректирование характеристик изделия в соответствии с существующими оборудованием и технологиями и наоборот. Изготовленное изделие поступает заказчику или потребителю, который использует его, исходя из своих потребностей, в соответствии с той документацией, которая сопровождает продукцию. В процессе эксплуатации проводится оценка соответствия характеристик изделия требованиям заказчика. Информация об отказах и других недостатках, а также об изменении условий применения передается на этап проектирования и разработки, что косвенно оказывает влияние и на технологическую подготовку производства. Взаимосвязь между процессами позволяет проводить измерение и анализ данных, применять корректирующие и предупреждающие действия и методы предотвращения потерь, чтобы способствовать постоянному улучшению текущих и будущих проектов с целью повышения их эффективности. Контроль процессов включает в себя контроль взаимодействий, способствующий устранению конфликтов или недоразумений.

Такой подход дает возможность учесть все функциональные особенности эксплуатации изделия в процессе его проектирования и изготовления.

Цель данной работы - разработка модели совместного функционирования процессов проектирования, изготовления и эксплуатации, которая обеспечивает качественно новую совокупность свойств и меры полезности машиностроительной продукции производственно-технического назначения, повышая тем самым ее конкурентоспособность.

Результаты исследований. Современные наукоемкие машиностроительные изделия, которые можно рассматривать как самостоятельно функционирующие единицы, являются, как правило, сложными техническими системами (СТС). Совокупность характеристик изделия определяется типом, составом и качеством большого количества входящих в него и взаимодействующих между собой элементов и подсистем, объединенных в систему для достижения определенной цели. Чем больше количество элементов, подсистем, связей между ними и состояний, в которых они могут находиться, тем более сложная техническая система. В свою очередь проектирование и изготовление изделия также осуществляется многофункциональными и многоэлементными системами.

В составе СТС в общем случае могут быть выделены три разнородных компонента [6] – комплекс технических средств (КТС), программное обеспечение (ПО) и оперативный персонал (ОП).

Под комплексом технических средств понимают совокупность технических устройств, взаимосвязанных между собой для выполнения каких-либо производственных задач. КТС классифицируют по сфере применения.

Программное обеспечение системы представляет собой совокупность программ (программных средств), используемых в составе системы в процессе ее функционирования. Все элементы ПО (средства, программы) разделяются на группы по признаку их участия в выполнении той или функции, в реализации которой участвует ПО. В результате образуются функциональные подсистемы ПО - ФП_{ПО}. Под функцией ПО понимается управление конкретными техническими, в первую очередь вычислительными, средствами системы. ФП_{ОП} могут иметь различную значимость для функционирования системы в целом и, соответственно, характеризоваться разным уровнем требований. В многофункциональной системе ПО может принимать участие в реализации нескольких функций. При этом в выполнении какой-либо одной функции могут участвовать не все входящие в состав ПО программы или программные средства.

Под оперативным персоналом понимают категорию работников, которые непосредственно воздействуют на органы управления, имеют право эксплуатационного обслуживания и выполнения оперативных переключений на оборудовании.

Основной задачей ОП в процессе функционирования системы считается выполнение определенной, заранее заданной процедуры (последовательности операций) при возникновении определенных условий (заданной ситуации). В выполнении процедуры могут участвовать один или несколько операторов. Качество выполнения ОП заданной процедуры определяется рядом требований (требования точности, быстродействия, последовательности выполнения операции и т.п.).

Указанные три компонента влияют на эффективность результата системы не изолированно, а в тесной взаимосвязи друг с другом, что выражается в возможностях одного компонента корректировать двумя другими эффективность реализации функций данной системы. Следует отметить, что между компонентами действуют пространственно-временные отношения.

В связи с тем, что системы являются многофункциональными и выполняемые ими функции могут существенно отличаться, при рассмотрении многих вопросов используется функциональный подход. При этом для рассмотрения вопросов по некоторой (j -й) функции из состава всех элементов выделяется группа технических, программных и эргатических (человек-оператор (или группа операторов)) элементов, участвующих в выполнении данной функции.

Эта группа элементов образует j -ю функциональную подсистему (j -я ФПС или ФПС $_j$), рассматриваемой системы. Именно эта ФПС $_j$ подлежит анализу при рассмотрении характеристик системы в отношении реализуемой ею j -й функции.

В состав ФПС $_j$ (как и в состав системы в целом) в общем случае входят три компонента:

- группа участвующих в реализации j -й функции технических средств (j -я функциональная подсистема КТС – ФП $_{КТСj}$);
- группа участвующих в реализации j -й функции программных средств (j -я функциональная подсистема ПО – ФП $_{ПОj}$);
- группа участвующих в реализации j -й функции эргатического обеспечения (j -я функциональная подсистема ОП – ФП $_{ОПj}$).

По признаку участия в выполнении некоторой функции выделяются функциональные подсистемы, например, по конструктивным признакам могут выделяться конструктивные подсистемы, по информационным признакам – информационные подсистемы и т.д. Анализ функционирования системы существенно упрощается, если ее структура построена так, что выделяемые по функциональным и конструктивным признакам подсистемы совпадают.

Таким образом, система функций формирует характеристики функциональных подсистем $X_{ФПС}$. При этом функции можно разделить на основные и вспомогательные. Основными считаются те, которые непосредственно формируют другие функции, вспомогательные – только те, что участвуют в этом процессе, т.е. только помогают формировать.

Между иерархией функций (преобразований) и иерархией функциональных подсистем существует соответствие. Взаимосвязь множества функций (Φ) и множества групп средств (ФП $_{КТС}$, ФП $_{ПО}$, ФП $_{ОП}$) определяется по уровням иерархии. На каждом уровне декомпозиции μ функции $\Phi_{lj}^{\mu} \in \Phi^0$ соответствует множество $\left\{ \Phi_{lj}^{\mu} \right\}_Y$ типов средств (j – индекс функции на уровне иерархии, l – количество функций на уровне

иерархии). Тип средства $\Phi\Pi_j \in \{\Phi\Pi_{ij}^\mu\}_Y$ обеспечивает принципиальную возможность выполнения функции $\Phi_{ij}^\mu \in \Phi^0$. Таким образом, задается множественное отображение системы Φ на подсистеме $\Phi\Pi C$.

Система средств строится по принципу взаимосвязи уровней: формируется множество элементарных средств $\Phi\Pi = \{\Phi\Pi^0, \Phi\Pi^1, \dots, \Phi\Pi^{\mu-1}\}$, каждое из которых обеспечивает выполнение отдельной элементарной функции множества $\Phi = \{\Phi^0, \Phi^1, \dots, \Phi^{\mu-1}\}$.

Возможность формирования различных вариантов характеристик функциональной подсистемы $X_{\Phi\Pi C_i}$ обеспечивается направленным выбором из множества $\{\Phi\Pi C^0\}$ совокупности элементов $\Phi\Pi_i \subset \Phi\Pi C^0$, которые обеспечивает выполнение множества функций $\{\Phi^0\}$:

Таким образом, функциональную подсистему можно представить в виде совокупности иерархически организованных множеств: элементарных функций Φ^N , групп средств ($\Phi\Pi_{KTC}$, $\Phi\Pi_{ПО}$, $\Phi\Pi_{ОП}$), участвующих в реализации функции на каждом уровне и соответствующих им характеристик $X_{\Phi\Pi C}$ (рис. 2.). Множество элементарных функций Φ^N по связям Θ^N определяет множество групп $\Phi\Pi C_{iN}^N$ и элементарных средств ($\Phi\Pi_{KTC_{iN}}$, $\Phi\Pi_{ПО_{iN}}$, $\Phi\Pi_{ОП_{iN}}$). Внутри множества $\Phi\Pi C^N$ по связям Θ^N формируется множество характеристик $X_{\Phi\Pi C}^N$ ($X_{\Phi\Pi C_i}^N \in X_{\Phi\Pi C}^N$), которые обеспечивают эффективность выполнения функций в условиях ограничений на параметры. Каждый элемент системы средств $\Phi\Pi_i \in \Phi\Pi C^0$ может быть описан помимо связей Θ и ε характеристиками готовности Γ и сдерживания C

$$\Phi\Pi^0 = \bigcup_{\mu=1}^N \Phi\Pi^\mu(\Theta^\mu, \varepsilon^\mu, \Gamma^\mu, C^\mu) \quad (1)$$

Множество характеристик $X_{\Phi\Pi C}^N$ можно представить двумя подмножествами: $X_{\Phi\Pi C_i}^\Gamma$, которое включает типы подсистем элементов, готовых к оперативному использованию, и подмножество $X_{\Phi\Pi C_i}^{\Gamma^*}$, которое включает типы подсистем и элементов, не готовых к оперативному использованию на момент времени t :

$$X_{\Phi\Pi C_i} = X_{\Phi\Pi C_i}^\Gamma \cup X_{\Phi\Pi C_i}^{\Gamma^*} \quad (2)$$



Рисунок 2 – Структура функциональной подсистемы

Реализация данного подхода отображена на схеме направленного формирования заданных свойств машиностроительных изделий (рис.3.). Характеристики качества продукции производственно-технического назначения $X_{ФПС_{И}}$ определяются типом, составом и диапазоном параметров функциональных подсистем и их элементов, которые выполняют различные функции в процессе проектирования и изготовления.



Рисунок 3 – Схема направленного формирования свойств изделий

Модель формирования характеристик готовой продукции X_{II} можно представить в виде следующих отображений (преобразований):

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 : X_{II} &\rightarrow TP_{II} \\ \varphi_2 : TP_{II} &\rightarrow X_{II} \\ \varphi_3 : X_{II} &\rightarrow TP_{\text{ФПС}_{ИЗ}} \\ \varphi_4 : TP_{\text{ФПС}_{ИЗ}} &\rightarrow X_{\text{ФПС}_{ИЗ}} \\ \varphi_5 : X_{\text{ФПС}_{ИЗ}} &\rightarrow X_{\text{ФПС}_{II}} \\ \varphi_6 : X_{\text{ФПС}_{II}} &\rightarrow X_{II} \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

где φ_1 – отображение (преобразование) характеристик качества конечной продукции X_{II} в множество требований к продукции производственно-технического назначения TP_{II} ; φ_2 – отображение (преобразование) требований TP_{II} в конструктивное описание изделия X_{II} ; φ_3 – отображение (преобразование) характеристик изделия X_{II} в требования к функциональным подсистемам изготовления изделия $TP_{\text{ФПС}_{ИЗ}}$; φ_4 – отображение (преобразование) $TP_{\text{ФПС}_{ИЗ}}$ в характеристики реально готовых к использованию функциональных подсистем изготовления $X_{\text{ФПС}_{ИЗ}}$; φ_5 – отображение (преобразование) $X_{\text{ФПС}_{ИЗ}}$ в характеристики изготовленной продукции производственно-технического назначения (характеристики изделия) $X_{\text{ФПС}_{II}}$; φ_6 – отображение (преобразование) $X_{\text{ФПС}_{II}}$ в характеристики конечной продукции X_{II} .

Для обеспечения требуемых характеристик конечной продукции на различных этапах ЖЦИ (продукции производственно-технического назначения) может быть использована модель реализации соответствующих преобразований (рис. 4), которая включает:

$I_j^i(t_K)$ – информационное воздействие i -го типа на j -й объект в момент времени t_K ;

$E_j^i(t_K)$ – энергетическое воздействие i -го типа на j -й объект в момент времени t_K ;

$S_j^i(t_K)$ – материальное воздействие i -го типа на j -й объект в момент времени t_K .

$\Phi ПС_j$ - j -ая функциональная подсистема;

$\Phi П_{КТС_j}$ - группа участвующих в реализации j -й функции технических средств (j -я функциональная подсистема КТС);

$\Phi П_{ПО_j}$ - группа участвующих в реализации j -й функции программных средств (j -я функциональная подсистема ПО);

$\Phi П_{ОП_j}$ - группа участвующих в реализации j -й функции эргатических средств (j -я функциональная подсистема ОП).

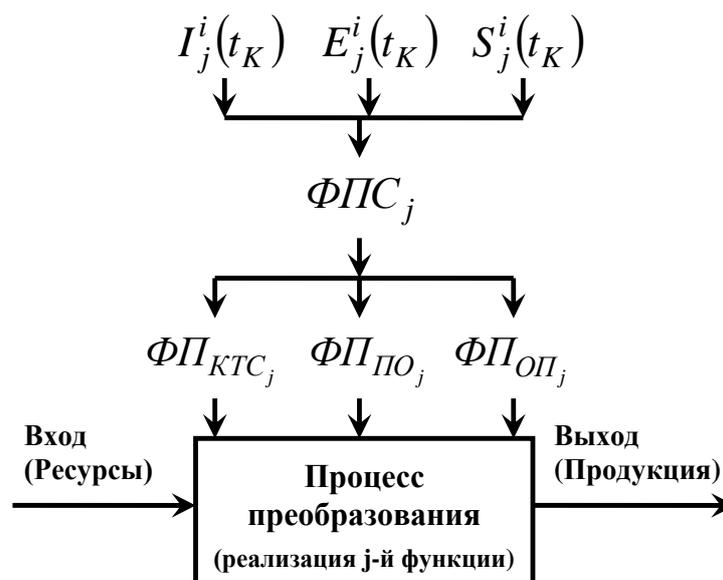


Рисунок 4 – Модель преобразований в процессах ЖЦИ

Таким образом, модель системы преобразований состоит из объектов (элементов, функциональных подсистем) определенного иерархического уровня: технических ($\Phi П_{КТС_j}$), программных средств ($\Phi П_{ПО_j}$) и оперативного персонала ($\Phi П_{ОП_j}$), являющихся одновременно операторами и операндами системы.

Они осуществляют целенаправленное воздействие материального $S_N(t_K)$, энергетического $E_N(t_K)$ и информационного $I_N(t_K)$ типов на объект преобразования.

Исходя из этого, процессы ЖЦИ могут быть представлены следующей структурной схемой (рис. 5), где они взаимосвязаны и находятся в единой системе.

На вход процесса проектирования и разработки поступает информация $I_{ТРП}$, которая включает:

- функциональные и эксплуатационные требования;
- используемые законодательные и регламентирующие требования;
- информацию, полученную в подобных предыдущих проектах;
- другие требования, существенные для проектирования и разработки.

В результате процесса проектирования и разработки осуществляется изменение состояния продукции от формулировки требований (технического задания) по созданию (модернизации) до воплощения их в новых (модернизированных) опытных образцах, конструкторской ($I_{ТР_{и}}$), технологической ($I_{ФПС_{из}}$) и др. документации проекта.

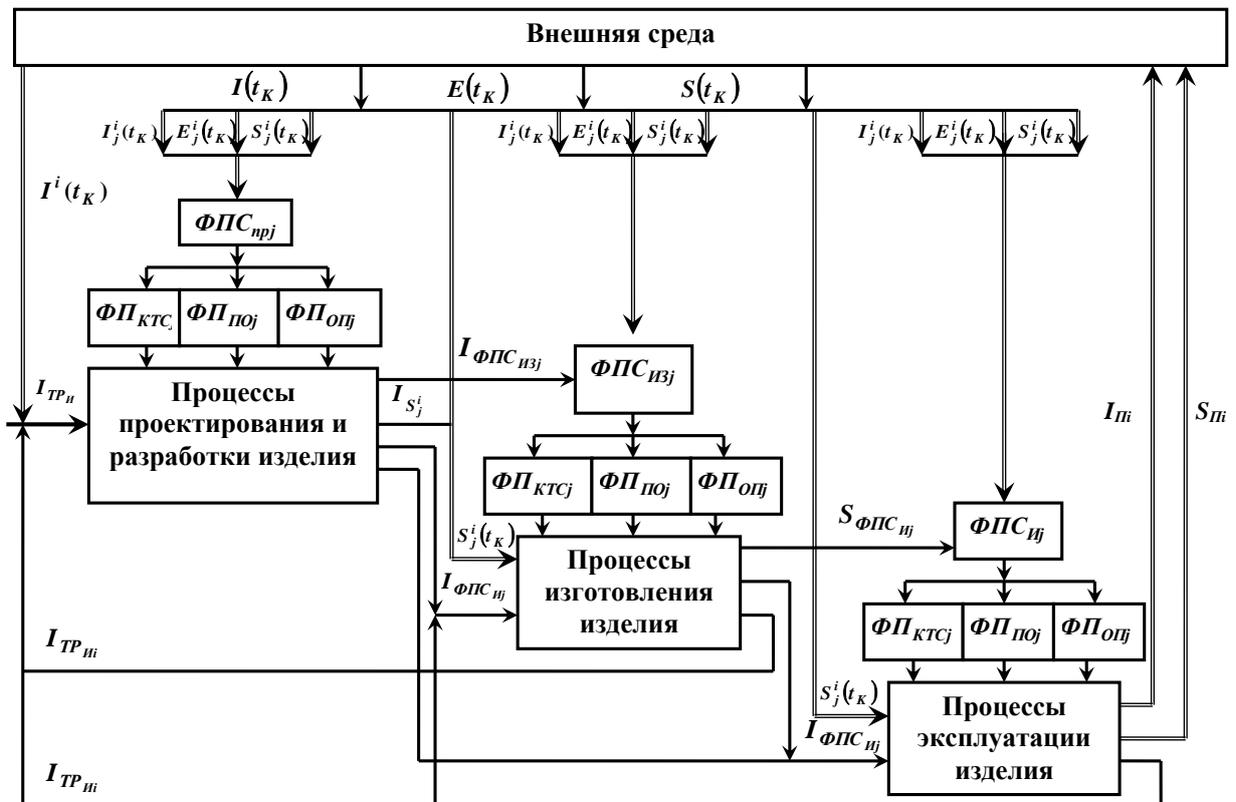


Рисунок 5 – Модель системы преобразований на этапах ЖЦИ:

$ФПС_{иj}$ - функциональная подсистема j -го изделия;

$ФПС_{изj}$ - функциональная подсистема изготовления j -го изделия;

$ФПС_{прj}$ - функциональная подсистема проектирования j -го изделия;

$I_{ТР_{и}}$ - информация содержащая требования к изделию;

$I_{ФПС_{из}}$ - информация содержащая требования к функциональной подсистеме изготовления изделия;

$I_{ФПС_{и}}$ - информация содержащая требования к условиям изготовления и

эксплуатации изделия;

$S_j^i(t_K)$ - материалы и комплектующие для изготовления изделий;

$S_{ФПС_{И}}$ - изготовленное изделие (продукция производственно-технического назначения).

На основе информации об изделии ($I_{ФПС_{И}}$), характеристик функциональной подсистемы $ФПС_{ИЗ_j}$, материалов и комплектующих $S_j^i(t_K)$ изготавливают продукцию производственно-технического назначения $ФПС_{И_j}$ и проводят контроль качества и промышленные испытания.

Процессы эксплуатации $ФПС_{И_j}$ связаны с реализацией, поддержанием и восстановлением качества изделия. В результате функционирования системы ЖЦИ на ее выходе образуется два потока: материальный поток $S_{П_i}$ (готовая конечная продукция) и информация о готовой конечной продукции $I_{П_i}$ и продукции производственно-технического назначения $I_{ТР_{И}}$.

При взаимодействии функциональных подсистем $ФПС_j$ ($ФПС_{ПР_j}$; $ФПС_{ИЗ_j}$; $ФПС_{И_j}$) и их элементов ($ФП_{КТС_j}$, $ФП_{ПО_j}$, $ФП_{ОП_j}$), возникают проблемы взаимосвязи целей и задач, выбора рациональных диапазонов характеристик. Одна и та же задача может быть решена различными средствами. Любая функциональная подсистема $ФПС_j$ является частью системы более высокого порядка, ее развитие происходит во взаимодействии с объектами внешней среды (окружающего мира). Связи с внешней средой определяют совокупность тенденций развития изделия на этапах ЖЦ, его функционирование в системах высшего порядка. Перечень и характеристики критериев предпочтения $ФПС_j$ и комплексы мероприятий по их совершенствованию направлены на выполнение целевых требований ЖЦИ, за счет развития элементов подсистем. Изменения целевых требований в системах высшего порядка – экономических, экологических и других потребностей, формирует комплексные критерии предпочтения характеристик изделия $ФПС_{И_j}$. Принципиальными особенностями процессов ЖЦИ является динамика и неопределенность затрат, сроков, результатов и других параметров.

Выводы. Для создания машиностроительной продукции производственно-технического назначения, которая отвечает современным требованиям потребителя, наиболее перспективным является системный подход на основе использования совокупности взаимосвязанных технических, экономических, социальных и иных подсистем на этапах проектирования, изготовления и эксплуатации в рамках постоянно совершенствуемых интегрированных информационных технологий. Это создает условия для обеспечения качественно новой совокупности свойств и меры полезности изделий, а также повышения их конкурентоспособности.

Одним из основных методологических принципов системного подхода является адекватное определение входов, выходов и состояний каждого из исследуемых процессов и схемы их взаимодействия. Возможность формирования различных вариантов характеристик изделия обеспечивается заданием множества подсистем и элементов, которые могут реализовать различные его функций. Для этого широко должны быть использованы комплексные системы диагностики, контроля и управления, а также новые принципы работы оборудования и методы воздействия орудий и средств обработки на изделия. Предложенные модели эндогенного научно-технического прогресса отражают интегрированный результат проявления свойств и функционирования всех подсистем и элементов ЖЦИ, направленных на изготовление конкурентоспособной готовой продукции.

Список литературы: 1. Romer P.M. The origins of endogenous growth // J. Econ. Perspect. 1994. Vol. 8. P. 3 - 22. 2. Залога В.А., Дядюра К.А. К вопросу о выборе стратегии отечественных машиностроительных предприятий в отношении конкурентоспособности продукции // Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ «ХП». – Харків, 2007. – Вип. 2 (15). – 281 с. 3. Дядюра К.О. К автоматизации системы управления производством // Компрессорное и энергетическое машиностроение. Сумы – сентябрь №3(9), 2007 – С.42-43. 4. Залога В.А., Нагорный В.М., Дядюра К.А., Нагорный В.В. Математическая модель системы жизненного цикла машиностроительного изделия // Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Вип. 3 – Харків: НТУ „ХП”, 2009. – С. 251 – 260. 5. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с. 6. ДСТУ 3524-97 Надійність техніки. Проектна оцінка надійності складних систем з урахуванням технічного і програмного забезпечення та оперативного персоналу. Основні положення.