

## Гносеологическая сущность производственного процесса как объекта проектирования

*Рассмотрен производственный процесс и его результат – изделие, в общем случае как антропотехническая киберфизическая система различного вида связей. Отмечается взаимообусловленность связей изделия и производственного процесса, раскрывается тип указанных связей и направления их изучения. Отмечаются особенности формализации и автоматизации (цифровизации) процесса принятия конструкторско-технологических решений.*

**Ключевые слова:** связи производственного процесса; киберфизические системы; размерные связи; субстанциальные связи; информационные связи; временные связи; экономические связи.

## The epistemological essence of the production process as a design object

*Aim of the work. The main aim of the analysis is to search for approaches to building an exhaustive epistemological model of the production process as a set of connections to be disclosed and implemented in the automated production, which is a complex anthropotechnical cyberphysical system.*

*Research methods. Digitalization of production inherently involves the solution of three major tasks: digitalizing communications, forming digital models of various objects, developing digital “tools” for decision support. Solving these tasks requires understanding of the deep essence and laws of such a complex system as a production process. This allows looking at the production process as a single interconnected structure (system) of its elements, where ignoring them often leads to a significant decrease in the quality of the design and technological decisions taken and, as a consequence, unjustified costs of various types of resources or non-fulfilment of the set requirements for the manufactured products (item). The interdependence of the objects of the production process allows speaking about the production process connections.*

*Research results and novelty. To ensure the quality of the design and technological decisions taken during the production process digitalization, the former is represented as a system of links that have an “elementary” level of generalization in form and the maximum level of generalization in content. This allows representing the production process as a meaningful set of transition functions to be implemented.*

*Findings. For the purposes of analyzing and building digital production, as a most complex anthropotechnical cyberphysical system, it is advisable to represent the production process in the form of a system of connections, while it should be considered that:*

*1. The manufactured product in the general case is a combination of three types of relations: dimensional, substantial and economic.*

*2. To ensure the item connections, a production process must be implemented, which in the general case represents a system of five types of connections: dimensional, informational, temporary, substantial and economic ones.*

*3. The interdependence of the links between the item and the production process is revealed through the transition functions, which are heterogeneous and indefinite. In addition, when creating a production process and automating it, designers have to face two major challenges: the choice of relations and their organization. Both are fraught with great engineering difficulties.*

*4. Representing the production process and the finished product in the category of connections is an important epistemological aspect of modelling and understanding the process itself, which allows highlighting and concentrating efforts on its important and essential aspects. At the early stages of design all this already helps to reduce possible errors arising from an incomplete and / or inappropriate representation of the nature and features of this process and, as a consequence, is a certain guarantee of achieving the gradual goal while reducing the necessary costs.*

**Keywords:** production process connections; cyber physical systems; dimensional relations; substantial connections; information links; temporary connections; economic ties.

## Введение

Цифровизация производства, как системы взаимодействия объектов различной физической сущности (его составляющих), предполагает решение, по крайней мере, трех крупных задач: цифровизация коммуникаций (сенсорика, первичная обработка информации, передача, хранение и т.д.), формирование цифровых моделей («цифровые тени», «цифровые двойники», «цифровые клоны») различных объектов как самого процесса, так и изготавливаемого изделия, разработка цифровых «инструментов» поддержки принятия решений. Решение указанных задач, в определенном смысле, невозможно без их формального представления, которое в свою очередь требует осмысления глубинной сущности и закономерностей такой сложнейшей системы как производственный процесс.

Такое понимание сути позволяет взглянуть на производственный процесс как на единую взаимосвязанную структуру (систему), где без внимания не должны остаться все его отдельные элементы и составные части (объекты процесса). Игнорирование элементов системы, которые на первый взгляд могут показаться не существенными, часто приводит в конечном итоге к существенному снижению качества принимаемых конструкторско-технологических решений и, как следствие, неоправданным затратам различного вида ресурсов или не исполнению поставленных требований к изготавливаемой продукции (изделию).

Взаимообусловленность объектов процесса производства позволяет говорить об их связи – связях производственного процесса [1, 2]. Эти связи имеют двойственную (дуалистическую) природу - с одной стороны они являются «обобщенной», а с другой «элементарной» смысловой единицей процесса.

В ходе выполнения производственного процесса эти связи могут проявлять себя сложнейшим образом, придавая процессу прагматическую определенность. В большинстве случаев сложность проявления этих связей затрудняет проектную постановку задачи создания (формирования) производственного процесса. Поэтому поиск подходов к проектированию производственного процесса на основе осмысления его связей имеет практическое значение для формализации и в итоге его автоматизации как цифровой антропологической киберфизической системы.

## Связи производственного процесса

Прагматика (назначение) любого промышленного предприятия, как известно, кроется в его способности производить то или иное изделие. Само же изделие, какое бы оно ни было, в конечном итоге предназначено для реализации того или иного процесса (собственно, для которого оно и предназначено). Например, станок предназначен для реализации процесса обработки заготовок, автомобиль – процесса перемещения грузов, электрический провод – передачи электроэнергии и т.д. Даже, казалось бы, такие далекие от этого «изделия» как произведения искусства, и те предназначены для реализации процесса – процесса созерцания. Очевидно, что функции изделия, его свойства напрямую определяются тем процессом, в котором оно участвует. В понятие изделие (продукция) будем вкладывать следующий смысл – это искусственно созданная система, предназначенная для реализации определенного процесса.

Само изделие – будь оно простым или сложным, большим или маленьким, как минимум, будет состоять из одной «элементарной» единицы – детали. Более сложные изделия состоят из совокупности определенным образом связанных в единое целое деталей, что и обеспечивает требуемую функцию изделия в целом. Проектируя отдельные детали и объединяя их в конструкцию, разработчик в конечном итоге ограничен в своих возможностях двумя решениями: выбором материала, из которого будет изготовлена «элементарная» деталь, и ее пространственными формами - геометрическими размерами. Действительно, взглянув на любой чертеж детали мы видим ее геометрический образ и указания на материал, из которого она должна будет изготовлена.

Объединенные в единое целое детали вступают во взаимодействие, образуя тем самым систему – размерных связей и связей свойств материала (субстанциальных связей). Заметим, что в общем случае под связями будем понимать обусловленность явлений, разделенных в пространстве и во времени. Или несколько конкретизируя - обусловленность (свойства, отношения) составляющих сущностей (объектов, явлений) искусственно созданной системы (изделия). Строго говоря, отдельные формы «элементарной» детали также образуют указанные связи, тем самым образуя определенную структуру (систему).

Таким образом, проектировщик, формируя на самом «низком» уровне указанные два вида связей, обеспечивает изделию необходимую его функциональность. Под функцией изделия понимается способность искусственной созданной системы влиять на состояние процесса, для которого она предназначена.

Размерные и субстанциальные связи изделия, определяющие его функции, будем считать абсолютными (собственными) связями или собственной характеристикой (атрибутом) изделия. Эти атрибуты (характеристики) непосредственно принадлежат изделию и составляют его целевой смысл.

Отсюда следует, что процесс конструирования заключается в выборе и организации (это важно) указанных связей. И то и другое в значительной степени определяет требуемую функцию изделия.

В тоже время, проектируя изделие, конструктор действует в условиях ограничений. Формируя размерные и выбирая субстанциальные связи, он стремится минимизировать различного рода ресурсы, необходимые на создание (эксплуатацию) изделия. Интегральной мерой используемого ресурса, как правило, является экономическая оценка. При этом использование того или иного ресурса, равно тому, как и экономические оценки, взаимосвязаны и образуют систему экономических связей.

Таким образом, в общем случае изделие (D) представляет собой совокупность трех видов связей: размерных (R), субстанциальных (M) и экономических (C). Последний вид связей с точки зрения назначения изделия не влияет на его функциональность. Эта связь является «предписанным» атрибутом. Поэтому ее будем считать относительной (не собственной) связью.

Такое представление укладывается в логику необходимых и достаточных условий существования явления: изделие приемлемо, если сформированы необходимые размерные и субстанциальные связи и использован для этого достаточный минимально необходимый ресурс.

Схематично связи изделия представлены на рисунке 1.

Пересечение размерных и субстанциальных связей, как это показано на схеме, указывает на сложнейшую природу их взаимодействия. Это означает, что на практике приходится сталкиваться не только с указанными двумя типами связей в «чистом» виде, но и с результатом их взаимодействия. Если, например,

размерная связь какой либо детали характеризуется мерой длины, а субстанциальная связь - мерой твердости, то их взаимодействие (пересечение) может характеризоваться таким атрибутом детали как жесткость, которая одновременно отражает свойства как размерных, так и субстанциальных связей. Иными словами, указанное взаимодействие это есть способность изделия под воздействием внешних сил сохранять свои геометрические формы (размерные связи), что определяется материалом (субстанциальные связи), из которого оно изготовлено.

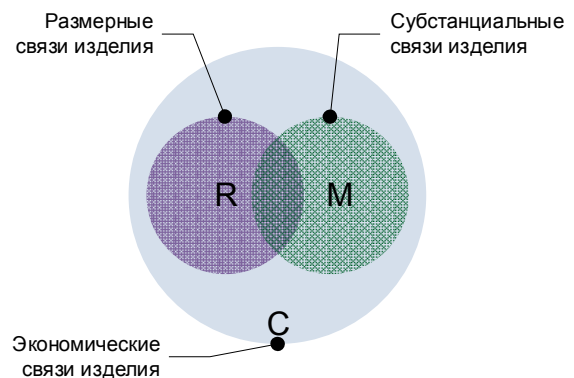


Рис. 1. Схема связей изделия

Пересечение размерных и субстанциальных связей, как это показано на схеме, указывает на сложнейшую природу их взаимодействия. Это означает, что на практике приходится сталкиваться не только с указанными двумя типами связей в «чистом» виде, но и с результатом их взаимодействия. Если, например, размерная связь какой либо детали характеризуется мерой длины, а субстанциальная связь - мерой твердости, то их взаимодействие (пересечение) может характеризоваться таким атрибутом детали как жесткость, которая одновременно отражает свойства как размерных, так и субстанциальных связей. Иными словами, указанное взаимодействие это есть способность изделия под воздействием внешних сил сохранять свои геометрические формы (размерные связи), что определяется материалом (субстанциальные связи), из которого оно изготовлено.

Схематичное «погружение» размерных и субстанциальных связей в экономические - подчеркивает тот факт, что принимаемые в отношении этих связей конструкторско-технологические решения напрямую взаимосвязаны с экономическими связями. По сути, в процессе принятия проектного решения, экономические связи часто выступают в

роли критерия оптимизации в условиях ограничений, формируемых размерными и субстанциональными связями.

Формально с учетом принятых обозначений можно записать:

$$D := RM(C)$$

Наличие скобок в выражении подчеркивает относительность экономических связей.

Несмотря на свое «простое» содержание, форма проявления всех этих связей и их пересечений может быть весьма разнообразной, что собственно и придает изделию определенность, способность выполнить свои прямые (целевые) функции, которые и составляют его практическую полезность. Количество и разнообразие функций изделия теоретически может быть не ограниченным. Известно популярное утверждение, что с помощью микроскопа, в конце концов, можно забивать и гвозди. Однако разнообразие целевых функций, придающих изделию практическую полезность, имеет определенное практическое ограничение. Вместе с тем, весь спектр этих функций в конечном итоге является проявлением трех видов связей – размерных (R), субстанциональных (M) и экономических (C). В дальнейшем для анализа будем иметь ввиду только целевые функции (FD), т.е.:

$$RM(C) \rightarrow FD$$

С другой стороны, предназначенное для реализации того или иного служебного (практически полезного) процесса изделие, само так же является результатом процесса. В данном случае это результат производственного процесса, под которым будем понимать процесс, связанный с созданием и поддержкой жизненного цикла изделия, на основе искусственно созданной антропотехнической киберфизической системы. Иными словами, в это понятие будем вкладывать широкий смысл, т.е. иметь в виду то, что производственный процесс охватывает все этапы жизненного цикла изделия – от момента зарождения потребности в изделии (на уровне целевого или служебного назначения) до этапа рециклинга (утилизации). Заметим, что на практике производственный процесс часто понимается «в узком» смысле, т.е. это процесс «непосредственного изготовления» изделия. Указанные понятия не противоречат друг другу с той разницей, что первое указывает лишь на единую природу формирования связей на всех этапах жизненного цикла изделий.

Реализуется производственный процесс, как известно, с помощью специальных «изделий» (совокупности различных технических

средств и оборудования), которые организованы определенным образом на достижение общей единой цели. Отсюда следует, что производственный процесс в общем случае должен включать, по крайней мере, два вида упомянутых ранее связей, а именно - размерных и субстанциональных. В тоже время само понятие процесса предполагает компоненту времени. В процессе работы изменения, происходящие с технологическими средствами, образуют взаимообусловленность событий, которые отражают то или иное их состояние. В результате этого образуется система временных (временных) связей (T) производственного процесса [3].

Кроме того, этот процесс имеет конкретное содержание и предназначен для достижения определенной цели, а значит имеет и предписанный «план своего течения». Иными словами, переход в то или иное состояние является не спонтанным, а основывается на вполне конкретных определенных сведениях. Совокупность таких взаимообусловленных сведений образует в общем случае систему информационных связей (I) процесса.

Имея в своем составе различные специальные «изделия» и используя для функционирования всевозможные виды ресурсов, производственный процесс предполагает наличие экономических связей (C), как меры его практической целесообразности и оценки эффективности.

Из сказанного следует, что в контексте рассматриваемого вопроса производственный процесс (P) в общем случае представляет собой совокупность пяти видов связей:

размерных, информационных, временных, субстанциональных и экономических.

Схематично эти связи представлены на рисунке 2.

Формально с учетом ранее сделанных замечаний можно записать:

$$P := RITM(C)$$

Как и в предыдущем случае, «простое» содержание связей производственного процесса влечет за собой сложнейшую форму их проявления. Различные их пересечения могут иметь весьма разнообразную интерпретацию. Например, о пересечении размерных и временных связей можно говорить как о производительности процесса, о пересечении временных и информационных – как об интенсивности передачи информации и т.д.

Следует заметить, что для процесса все указанные связи являются абсолютными, за исключением экономических связей - как и ранее они считаются относительными.

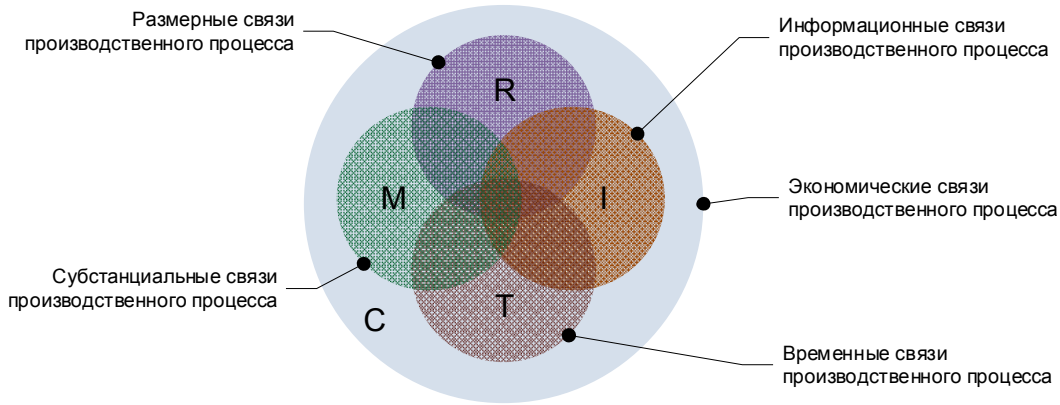


Рис. 2. Схема связей производственного процесса

Таким образом, производственный процесс является «генератором» будущего изделия, что в формальной постановке можно представить, как:

$$RITM(C) \rightarrow RM(C)$$

С другой стороны, целевые требования к будущему изделию, что вполне очевидно, определяют требования к производственному процессу, который будет использован для создания этого изделия. Это означает, что связи производственного процесса и связи изделия

должны быть взаимообусловлены. Тогда постановка задачи (которую принято называть проектной) формально выглядит следующим образом:

$$RM(C) \rightarrow RITM(C)$$

По сути, разработчики должны перейти от требований, предъявляемых к изделию, к требованиям, предъявляемых к производственному процессу. Развернутая схема переходов (преобразований) цикла создания изделия показана на рисунке 3.

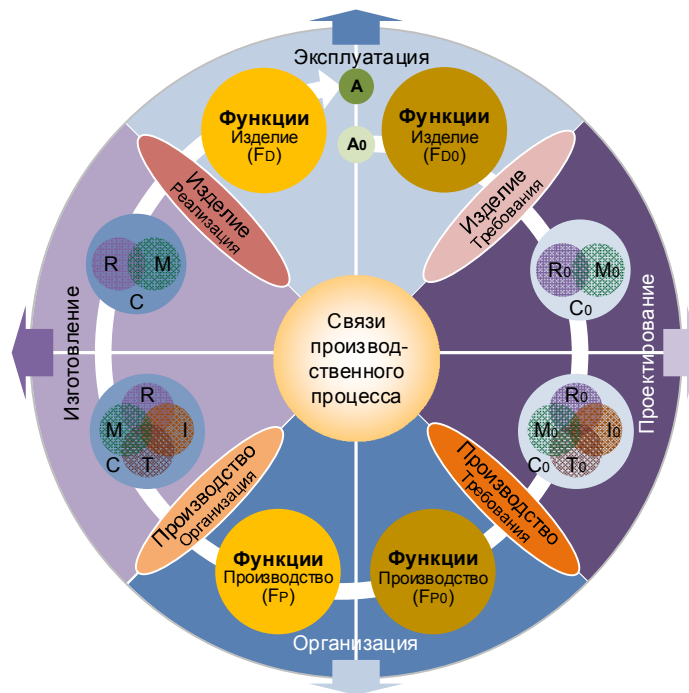


Рис. 3. Схема переходов цикла создания изделия

Условно цикл создания изделия можно разделить на две крупные фазы: проектирование (логический уровень) и изготовление (физический уровень). На первой фазе из условий эксплуатации (полезного с практической точки зрения процесса) на логическом уровне

формируются целевые функции изделия ( $F_{D0}$ ), состав и содержание которых определяется этапом эксплуатации. Далее на том же уровне должен быть выполнен переход к связям изделия:

$$FD_0 \rightarrow R_0M_0(C_0)$$

Выполнение этого сложнейшего перехода, по сути, составляет смысл конструирования изделия.

Далее на логическом уровне должен быть выполнен переход к связям производственного процесса, а именно:

$$R_0M_0(C_0) \rightarrow R_0I_0T_0M_0(C_0)$$

Формируя связи производственного процесса, проектировщик тем самым задает функции ( $F_{P0}$ ) производственного процесса, осуществляя на логическом уровне переход:

$$R_0I_0T_0M_0(C_0) \rightarrow F_{P0}$$

На основе сформированных на логическом уровне проектных функций ( $F_{P0}$ ) производственного процесса далее переходят ко второй фазе создания изделия, где должны быть определены (выбраны из номенклатуры) функции ( $F_P$ ) технических средств, необходимые для выполнения процесса на физическом уровне, т.е. осуществляется переход:

$$F_{P0} \rightarrow F_P$$

В процессе работы технические средства на физическом уровне благодаря наличию фактически реализованных связей производственного процесса ( $RITM(C)$ ) формируют связи изделия ( $RM(C)$ ), которые в свою очередь определяют фактические функции ( $F_D$ ) готового изделия. Иными словами, процесс переходов на физическом уровне осуществляется в обратном направлении, т.е.

$$F_P \rightarrow RITM(C) \rightarrow RM(C) \rightarrow F_D$$

При этом цикл замыкается. Однако, начавшись символически в точке  $A_0$  (см. рисунок 3) процесс не возвращается в нее обратно, а переходит в другую точку ( $A$ ). Это связано с тем, что проектные требования, как известно, практически никогда не совпадают с их фактическими значениями. Огромное количество возмущающих факторов, возникающих практически на всех этапах производственного процесса, способствует такому несовпадению и вызывает девиацию (отклонение) параметров связей. Это означает, что указанные связи в большинстве случаев носят случайный (а порой и неопределенный) характер. Такого рода неопределенности на практике приходится учитывать, ограничивая отклонения характеристик связей допустимыми пределами. Поэтому реальный (физический) экземпляр изделия не совпадают с его образом (логическим), а лишь в определенной мере ему соответствует.

Заметим, что степень указанного соответствия, в общем случае, стандартами ISO трактуется как качество [4]. В технике такое толкование чаще понимается как точность, что

не противоречит одно другому.

Из сказанного следует, что на логическом уровне рассмотренные переходы должны быть выполнены не только номинальных, но и в допустимых отклонениях ( $dX$ ,  $X \in \{R, I, T, M, C\}$ ) значений параметров связей.

Используя принятые обозначения, можно утверждать, что:

$$D := RM(C).dRdM(dC), \\ P := RITM(C).dRdIdTdM(dC)$$

При подготовке производственного процесса приходится решать две классические задачи. Первая это проектная (в технических науках ее принято считать прямой), когда заданы требования к будущему изделию, а необходимо сформировать производственный процесс (технологическую систему), т.е. должен быть выполнен переход:

$$RM(C).dRdM(dC) \\ \rightarrow RITM(C).dRdIdTdM(dC)$$

Вторая – обратная (в технических науках ее принято считать проверочной), когда имеется технологическая система (определенной «мощности»), а требуется оценить возможности изготовления конкретного изделия, т.е. должен быть выполнен переход:

$$RITM(C).dRdIdTdM(dC) \\ \rightarrow RM(C).dRdM(dC)$$

На практике же существует и третья задача, находящиеся в «промежутке» между этими двумя, это задача модернизации производственного процесса, но по смыслу она на отдельных этапах сводится либо к первой, либо ко второй задаче.

При решении первой задачи, создаваемая технологическая система, реализующая тот или иной производственный процесс, имеет больше технологических возможностей («мощности»), чем это требуется для изготовления конкретного изделия. И чем интенсивнее производство смещается в сторону индивидуализации (единичное, мелкосерийное), тем большими технологическими возможностями оно должно обладать. Избыток технологической мощности является гарантией того, что весь спектр предполагаемых к созданию изделий (от «простых» до «сложных») в рамках данной системы будет получен с требуемым качеством.

**Функции перехода связей  
производственного процесса**

Для решения отмеченных задач необходимо иметь представление об основных функциях переходов от связей изделия к связям производственного процесса. Условно их можно разделить на две категории: необходимые и достаточные. Первая предполагает зависимость между номинальными значениями характеристик, т.е.

$$\nu: X \rightarrow X, X \in \{R, I, T, M, C\}$$

Вторая категория, как это было уже отмечено, предполагает зависимость между допустимыми значениями характеристик, т.е.

$$\delta: dX \rightarrow dX, dX \in \{dR, dI, dT, dM, dC\}$$

Решение первой функции, в основном, находится в сфере ответственности конструктора, который формирует номинальные параметры связей, т.е. выбирает и организует связи для, создавая из элементов иерархическую структуру будущего изделия. Заметим, что в

качестве изделия может выступать и сама технологическая система, которая проектироваться по тем же принципам, что и «обычные» изделия.




Вторая функция принадлежит, главным образом, технологу, который также стоит перед выбором и организацией связей, но с точки зрения возможности изготовления требуемого изделия. При этом роли специалистов не противопоставляются, а наоборот – дополняют друг друга, достигая определенного синергетического эффекта (известный на практике как этап – отработка конструкции изделия на технологичность). Фигурально выражаясь, конструктор создает образ будущего изделия, а технолог делает его достоянием действительности.

Состав функций перехода (F) от связей изделия (Y) к связям производственного процесса (X), подлежащих реализации, представлен в таблице 1.

Таблица 1. Состав функций перехода

F		X					dX				
		R	I	T	M	C	dR	dI	dT	dM	dC
Y	R	●									
	M				●						
	C					●					
dY	dR						●				
	dM								●		
	dC										●

Обозначения:

- - однородная функция
-  - мало изучена
-  - умеренно изучена
-  - достаточно изучена

При реализации этих функций приходится сталкиваться, по крайней мере, с двумя сложностями. Первая это неоднородность функций, т.е.

$$\begin{aligned} \varphi: X \rightarrow Y, \mu: X \rightarrow dX, \nu: dX \rightarrow Y; \\ X \subset \{R, I, T, M, C\}, Y \in \{R, M, C\}, \\ dX \subset \{dR, dI, dT, dM, dC\}, dY \in \{dR, dM, dC\} \end{aligned}$$

Это означает, что параметры одного вида связей часто зависят от параметров других. Более того на пересечении связей присутствуют характеристики, которые обладают свойствами тех и других связей, что требует определенной смысловой интерпретации. На-

пример, пересечение размерных и субстанциальных связей для изготавливаемой детали означает, что характеристики, находящиеся на этом пересечении, должны проявлять себя как со стороны размерных, так и со стороны субстанциальных связей. Типичным проявлением такого сложного взаимодействия является понятие снимаемый припуск, который в процессе резания по форме представлен геометрически (размерами), а по содержанию отражает свойства материала. Крайности в данном случае нередко являются основанием для дискуссий в отношении того: считать ли припуск составляющим звеном [5 - 8] или замыкающим [9, 10]. Разумеется, от такой постановки в зна-

чительной степени зависит достоверность результата расчета, влекущая за собой то или иное технологическое решение. Игнорирование дуалистической природы припуска в геометрических моделях (на базе теории размерных цепей) приводит к неопределенностям. Однако из этого не следует полное отрицание указанных подходов. Отсюда следует лишь вывод о сложности понимания и интерпретации пересечения размерных и субстанциальных связей, а также неполноте используемых на практике моделей. В тоже время в рамках той или иной постановки задачи каждый из подходов имеет практическую достаточность и эффективность. И это далеко не единичный

случай.

Возможный набор функций перехода, которые формируют связи изделия в процессе его изготовления, достаточно велик. Как видно из нижеследующей таблицы, только для формирования размерных связей (номиналов их параметров) потребуется рассмотреть более тысячи таких функций (Таблица 2).

Разумеется, далеко не все из них имеют «существенное» влияние на достижение поставленной цели. Вместе с тем, оценка этой меры требует определенного обоснования. В большинстве же практических случаев этот вопрос решается исходя из существующего опыта или интуиции.

Таблица 2. Возможный набор функций перехода, формирующих размерные связи изделия

Y	X					dX				
	R	I	T	M	C	dR	dI	dT	dM	dC
R <sub>1</sub>	●									
R <sub>2</sub>		●								
R <sub>3</sub>	●	●								
R <sub>4</sub>			●							
R <sub>5</sub>	●		●							
R <sub>6</sub>		●	●							
R <sub>7</sub>	●	●	●							
R <sub>8</sub>				●						
R <sub>1020</sub>			●	●	●	●	●	●	●	●
R <sub>1021</sub>	●		●	●	●	●	●	●	●	●
R <sub>1022</sub>		●	●	●	●	●	●	●	●	●
R <sub>1023</sub>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Вторая сложность связана с неопределенностью решений, т.е.

$$\varphi_i: X_{ij} \rightarrow Y_i, i \in \{1, n\}, j \in \{1, k\}, n < k$$

Это означает, что при решении конкретной задачи количество неизвестных больше, чем число уравнений, куда они входят. Типичный пример решение прямой задачи теории размерных цепей, когда известны характеристики замыкающего звена, а необходимо определить характеристики составляющих звеньев (функция трансгрессий). В подобных случаях задача, как правило, решается итеративно на основе имеющего опыта или/и вводятся дополнительные ограничения (возможны и другие способы решения).

На практике с указанными сложностями приходится встречаться одновременно. В качестве примера, иллюстрирующего трудности, сопряженные с неоднородностью функций и

неопределенностью решения, может служить функция (функция сентенций), отражающая взаимообусловленность размерных и информационных связей, т.е.

$$\varphi: I \rightarrow dR$$

Практический смысл этой зависимости, как вариант, заключается в следующем. Необходимо располагать, например, заготовкой требуемой точности (возьмем для простоты один, какой либо, ее размер с допуском dR) для изготовления некоторой детали. Требуется принять, по крайней мере, два технологических решения (информационных действий): выбрать способ ее получения (Q<sub>1</sub>) и вид термообработки (Q<sub>2</sub>), т.е.

$$dR = \varphi(Q_1, Q_2)$$

Аналитически описать эту функцию довольно сложно. Для этого, как минимум, понадобится знание образа заготовки (всех ее



размеров) и будущей детали, а также материал, из которого она состоит. Если выбор способа получения заготовки можно, например, отобразить в виде таблицы решений, то формально ответить на вопрос использовать термообработку (как способ уменьшения внутренних напряжений) или в этом нет необходимости - затруднительно. Объясняется это следующими причинами. Для создания автомата (т.е. автоматизации процесса принятия решения), который отвечал бы на вопрос о целесообразности термообработки, необходимо располагать: точным описанием геометрического образа заготовки (как уже было сказано); иметь в распоряжении формальное описание гидродинамического процесса литья; уравнения термодинамики, отражающие процесс остывания; сведения из металлургической практики о топологии внутренних напряжений в заготовке и т.д. Нетрудно видеть, что в этом случае приходится сталкиваемся со сложным аналитическим описанием всего процесса, а для создания и программирования такого решателя потребуется значительный вычислительный ресурс. В тоже время опытный технолог, имея перед собой лишь чертеж заготовки (со всеми необходимыми на нем сведениями), достаточно быстро справляется с поставленной задачей. Отсюда следует, что для аналитического описания рассматриваемой функции вполне вероятно понадобятся иные методы формализации. В частности, могут оказаться более эффективными когнитивные (интеллектуальные) модели принятия решений.

Этим примером хотелось бы подчеркнуть особую роль информационных связей, а также сложности с формальным описанием рассматриваемых функций. Это обстоятельство может оказаться существенным барьером на пути автоматизации принятия конструкторско-технологических решений.

Вопрос о степени изученности рассматриваемых функций на основе интуитивной оценки представлен в таблице (см. Таблица 2). Из таблицы видно, что неплохо изучены размерные связи (теория размерных цепей, теория базирования), субстанциальные связи, экономические связи, в меньшей степени – информационные, временные, требуют изучения влияние сочетаний различного рода связей.

Осмысление рассмотренных связей, изучение и формальное представление функций перехода во многом, как нам представляется, являются теоретической основой для повышения уровня автоматизации (цифровизации) производственных процессов.

### Заключение

В заключении необходимо отметить, что производственный процесс, как объект автоматизации, представляет собой сложную антропотехническую киберфизическую систему взаимосвязанных связей, при этом:

1. Изготавливаемое изделие в общем случае представляет собой совокупность трех видов связей, а именно: размерных, субстанциальных (свойств материала) и экономических (RM(C));

2. Для обеспечения связей изделия должен быть реализован производственный процесс, который в общем случае представляет систему пяти видов связей: размерных, информационных, временных, субстанциальных и экономических (RITM(C));

3. Взаимосвязанность связей изделия и производственного процесса раскрывается через функции переходов, которые имеют неоднородный и неопределенный характер. Кроме того, при создании производственного процесса и его автоматизации проектировщикам приходится, в конечном итоге, сталкиваться с двумя крупными задачами: выбором связей и их организацией. И то и другое сопряжено с большими инженерными трудностями;

4. Представление производственного процесса и готового изделия в категории связей является важным гносеологическим аспектом моделирования и осмысления самого процесса, что позволяет выделить и сконцентрировать усилия на важных и существенных его сторонах. Все это уже на ранних стадиях проектирования способствует сокращению возможных ошибок, возникающих из-за неполного и/или несоответствующего представления характера и особенностей этого процесса и, как следствие, является определенной гарантией достижения поставленной цели при снижении необходимых на это затрат.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колесов, И.М. Технология машиностроения как отрасль науки / И.М. Колесов // Вестник машиностроения. – 1981. - № 11. - С. 60-63.
2. Колесов, И.М. Автоматизации подлежит производственный процесс / И.М. Колесов // Вестник машиностроения. – 1985. - № 3. - С. 57-61.
3. Червяков, Л.М. Анализ временных связей транспортной системы АСМО / Л.М. Червяков // Вестник машиностроения. – 1985. - № 6. - С. 43-45.
4. ГОСТ Р ИСО 9000–2001. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. / Всероссийский научно-исследовательский институт сертификации (ВНИИС). – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 37 с.
5. РД 50-635-87. Методические указания. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей. / Министерством высшего и среднего специального образования РСФСР. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 45 с.
6. Допуски и посадки. Справочник: В 2-х частях / сост. Палей М.А., Романов А.Б., Брагинский В.А. - СПб.: Политехника, 2001. Ч. 1. – 576 с. – ISBN 5-7325-1503-X.
7. Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т. / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – 40-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – Т 1. – 656 с.
8. Солонин, И.С. Расчет сборочных и технологических размерных цепей. / Солонин И.С, Солонин С.И. М.: Машиностроение, 1980. –110 с.
9. Матвеев, В.В. Проектирование экономичных технологических процессов в машиностроении / В.В. Матвеев, Ф.И. Бойков, Ю.Н. Свиридов. – Челябинск: Южноуральское книжное издательство, 1979. - 110 с.
10. Матвеев, В.В. Размерный анализ технологических процессов / В.В. Матвеев, М.М. Тверской, М.М., Бойков, Ф.И. - Москва: Машиностроение, 1982. - 264 с.

Ссылка для цитирования:

Червяков, Л. М. Гносеологическая сущность производственного процесса как объекта проектирования / Л. М. Червяков, И. А. Александров, Н. А. Бычкова // Эргодизайн. – 2021 - №3 (13). – С. 177-187. DOI: 10.30987/2658-4026-2021-3-177-187.

## Сведения об авторах:

**Червяков Леонид Михайлович**

д-р техн. наук, профессор,  
ФГАУН Институт конструкторско-технологической информатики РАН  
E-mail: [ChLM@mail.ru](mailto:ChLM@mail.ru),  
ID ORCID 0000-0002-2310-8992

**Александров Ислам Александрович**

канд. техн. наук, м.н.с.,  
ФГАУН Институт конструкторско-технологической информатики РАН  
E-mail: [Alexandrov@ikti.ru](mailto:Alexandrov@ikti.ru)

## REFERENCES

1. Kolesov, I. M. Engineering Technology as a Branch of Science. *Vestnik mashinostroyeniya* [Bulletin of Mechanical Engineering], 1981, no. 11, pp. 60-63.
2. Kolesov, I. M. The Production Process is Subject to Automation. *Vestnik mashinostroyeniya* [Bulletin of Mechanical Engineering], 1985, no. 3, pp. 57-61.
3. Chervyakov, L. M. Analysis of Temporary Connections of the ASMM Transport System. *Vestnik mashinostroyeniya* [Bulletin of Mechanical Engineering], 1985, no. 6, pp. 43-45.
4. GOST R ISO 9000-2001. **Quality Management Systems. Fundamentals and Vocabulary.** All-Russian Scientific Research Institute for Certification (ARSRIC) (ed.). Moscow, PPC Publishing house of standards, 2004, 37 p.
5. RD 50-635-87. **Methodical Instructions. Dimensional Chains. Basic Concepts. Methods for Calculating Linear and Angular Chains.** Ministry of Higher and Secondary Specialized Education of the RSFSR (ed.). Moscow, Publishing house of standards, 1987, 45 p.
6. Paley, M.A., Romanov, A.B., Braginsky, V.A. Tolerances and Fits. Part 1. Saint-Peterburg, Polytechnic, 2001, 576 p. ISBN 5-7325-1503-X.
7. Kosilova, A.G., Meshcheryakov R.K. The Handbook of a Technologist-Machine Engineer. In 2 vol. Vol. 1. 4th ed., corrected. Moscow, *Mashinostroenie* [Journal of Mechanical Engineering], 1986, vol. 1, 656 p.
8. Solonin, I. S., Solonin, S. I. Calculation of Assembly and Technological Dimensional Chains. Moscow *Mashinostroenie* [Journal of Mechanical Engineering], 1980, 110 p.
9. Matveev, V. V., Boykov, F.I., Sviridov, Yu. N. Designing Economical Technological Processes in Mechanical Engineering. Chelyabinsk, South Ural Book Publishing House, 1979, 110 p.
10. Matveev, V. V., Tverskoy, M. M., Boykov, F. I. Dimensional Analysis of Technological Processes. Moscow, *Mashinostroenie* [Journal of Mechanical Engineering], 1982, 264 p.

## Abstracts:

**L.M. Chervyakov**

Doctor of Technical Sciences, Professor,  
FSAUI Institute for Design and Technological Informatics of the Russian Academy of Sciences  
E-mail: [ChLM@mail.ru](mailto:ChLM@mail.ru),  
ID ORCID 0000-0002-2310-8992

**I.A. Aleksandrov**

Candidate of Technical Sciences, Junior Researcher,  
FSAUI Institute for Design and Technological Informatics of the Russian Academy of Sciences,  
E-mail: [Alexandrov@ikti.ru](mailto:Alexandrov@ikti.ru)

**Бычкова Наталья Александровна**  
канд. техн. наук, доц.  
Московский государственный технологический  
университет «СТАНКИН»  
E-mail: NABych@mail.ru

**N.A. Bychkova**  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
Moscow State Technological University "STANKIN",  
e-mail: NABych@mail.ru

Статья поступила в редколлегию 13.08.2021 г.

Рецензент:

д.т.н., профессор Брянского филиала Российской академии народного хозяйства и государственной службы  
при Президенте Российской Федерации Лозбинец Ф.Ю.

Статья принята к публикации 21.08.2021 г.