



# **ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ КОНФЛИКТОВ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ИНТЕРЕСОВ В ХОДЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КОНСТРУКТОРСКО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Д.И. Троицкий, к.т.н., доц., докторант,  
руководитель подготовки по профилю  
«Системы автоматизированного проектирования»  
ФГОУ ВПО «Тульский государственный университет»

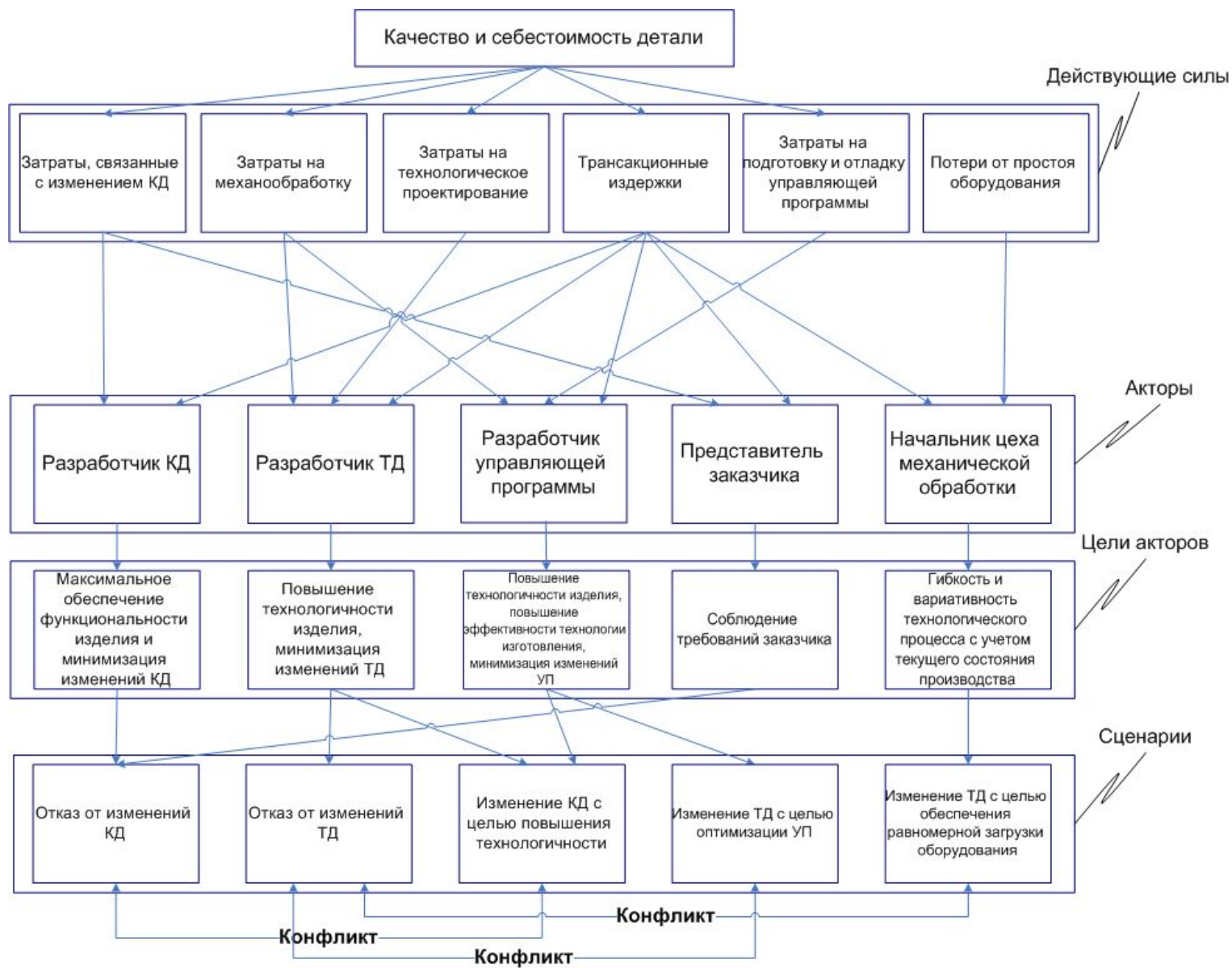
Актуальность исследования обусловлена наблюдающимся ростом сложности и инновационности изделий машиностроения, а также необходимостью сокращения сроков выпуска новых изделий на рынок, особенно в условиях глобальной международной конкуренции.

Вопросы эффективности и оптимальности взаимодействия между участниками конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП) требуют дальнейшего исследования. Недостаточный уровень рассмотрения таких проблем, как неизбежно возникающие при этом **конфликты профессиональных интересов**, приводит к росту сроков выполнения подготовки производства и снижению ее эффективности.

***Цель работы*** состоит в повышении эффективности и качества процессов автоматизированной конструкторско-технологической подготовки производства изделий машиностроения на основе предотвращения конфликтов профессиональных интересов между исполнителями данных процессов на основе применения модели проектного решения, обеспечивающей прогнозирование параметров технологичности и логистического риска на этапе конструкторского проектирования, а также обеспечивающей достоверность формального представления проектного решения

Предлагается следующее определение конфликта профессиональных интересов (КПИ):

**КПИ – объективное противоречие, возникающее в ходе производственной деятельности акторов (участников конфликта) и вызванное различными целями деятельности акторов, а также их взаимозависимостью при принятии решений.**



Примеры типовых КПИ по результатам анализа опыта работы ряда оборонных предприятий (КБП, «Щегловский вал», ОАО «Туламашзавод»)

# Теоретико-множественная модель

Рассмотрим конфликт между акторами **КПИ**  $A_{i-1}$  и  $A_i$ , где  $i$  – порядковый номер выполняемой актором функции в жизненном цикле.

функция актора заключается в выборе конкретного проектного решения в фазовом пространстве поиска  $SS$ , имеющем  $n$  координат, соответствующих переменным параметрам проектного решения

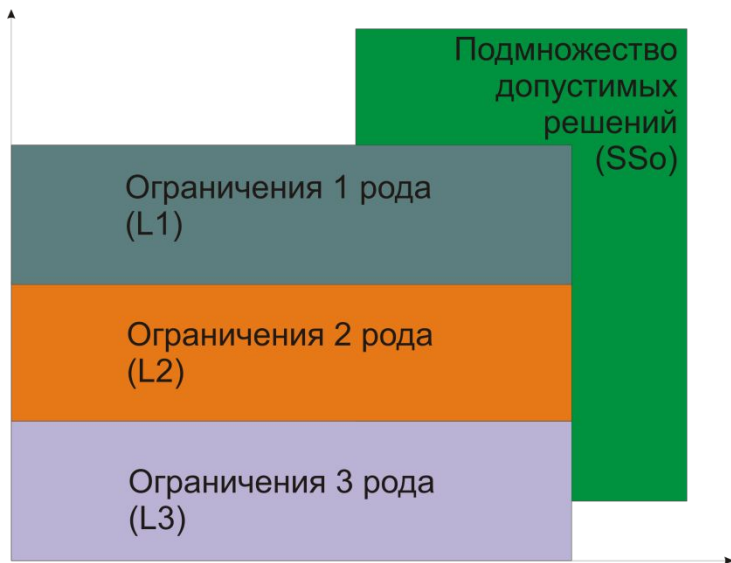
на конфигурацию пространства накладываются ограничения:

Ограничения 1 рода ( $L1$ )— объективные («нельзя спроектировать вечный двигатель»)

Ограничения 2 рода ( $L2$ ) — функциональные («для передачи крутящего момента модуль зуба должен быть не менее 2,5»)

Ограничения 3 рода ( $L3$ ) — связи жизненного цикла («конструктор задал размер детали, при котором получается такой размер заготовки, что придется заново изготавливать дорогостоящее приспособление»)

**КПИ** вызываются ограничениями 3-го рода



подмножество допустимых решений  $S_{So}$ :  
 $S_{So} = SS - L1 - L2 - L3$

Принятие проектного решения означает выбор конкретного множества параметров фазового пространства поиска, т.е.

$$P_{i-1} = \langle p_1, p_2, \dots, p_n \rangle,$$

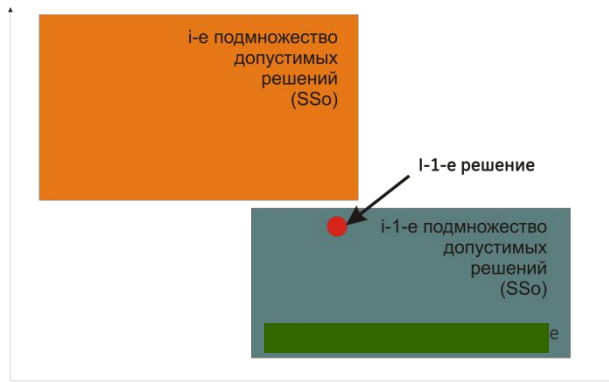
где  $n$  – число координат фазового пространства  $S_{So}$ ;

$p_i$  –  $i$ -я координата.

$i+1$  актер вынужден действовать в фазовом пространстве  $(1 \dots i)$  акторов, так как в них заданы исходные параметры для выполнения  $i+1$ -й проектной процедуры

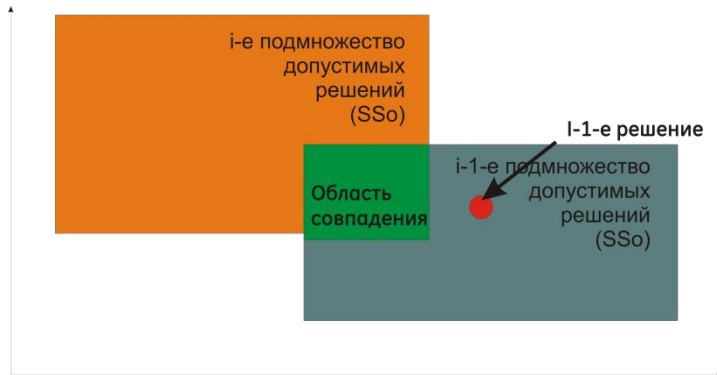
Для разрешимости конфликта необходимо, чтобы пространства поиска  $S_{So}(i-1)$  и  $S_{So}(i)$  имели общую область:

$$S_{So}(i-1) \cap S_{So}(i) \neq \emptyset$$



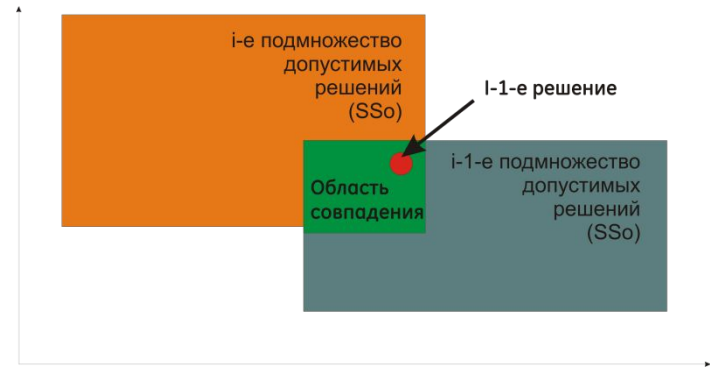
Неразрешимый КПИ (общая область отсутствует).

$$Sso(i-1) \cap Sso(i) = \emptyset$$



Проектное решение не принадлежит общей области

$$P_{i-1} \notin Sso(i-1) \cap Sso(i)$$



Проектное решение принадлежит общей области

$$P_{i-1} \in Sso(i-1) \cap Sso(i),$$

# Управление КПИ

Чтобы управлять возникновением КПИ,  $i-1$ -й актер при принятии решения должен учитывать последствия данного решения с точки зрения последующих акторов. У акторов имеет место **нехватка информации** для такого учета или, иначе говоря, **высокая энтропия информации**, представляющей собой проектные решения.

Увеличение информационного насыщения проектного решения и **снижение его энтропии** до определенного уровня является способом **не только разрешения, но и предотвращения возникновения КПИ.**



Конструкторско-технологическое проектное решение изначально возникает как замысел его разработчика, который должен быть представлен в виде некоторой формализованной модели, содержащей геометрическое определение объекта (3D-модель) и связанную с ним атрибутивную информацию

**Модель проектного решения (МПР)** — информационная модель, содержащая сведения о геометрии проектируемого объекта, атрибуты 1-го рода с их привязкой к элементам геометрии, алгоритмы определения значений атрибутов 2-го рода и необходимую для такого определения дополнительную информацию (нормативно-справочные данные, статистические сведения по предприятию и пр.)

$$МПР = \langle G, R, A1, A2 \rangle$$

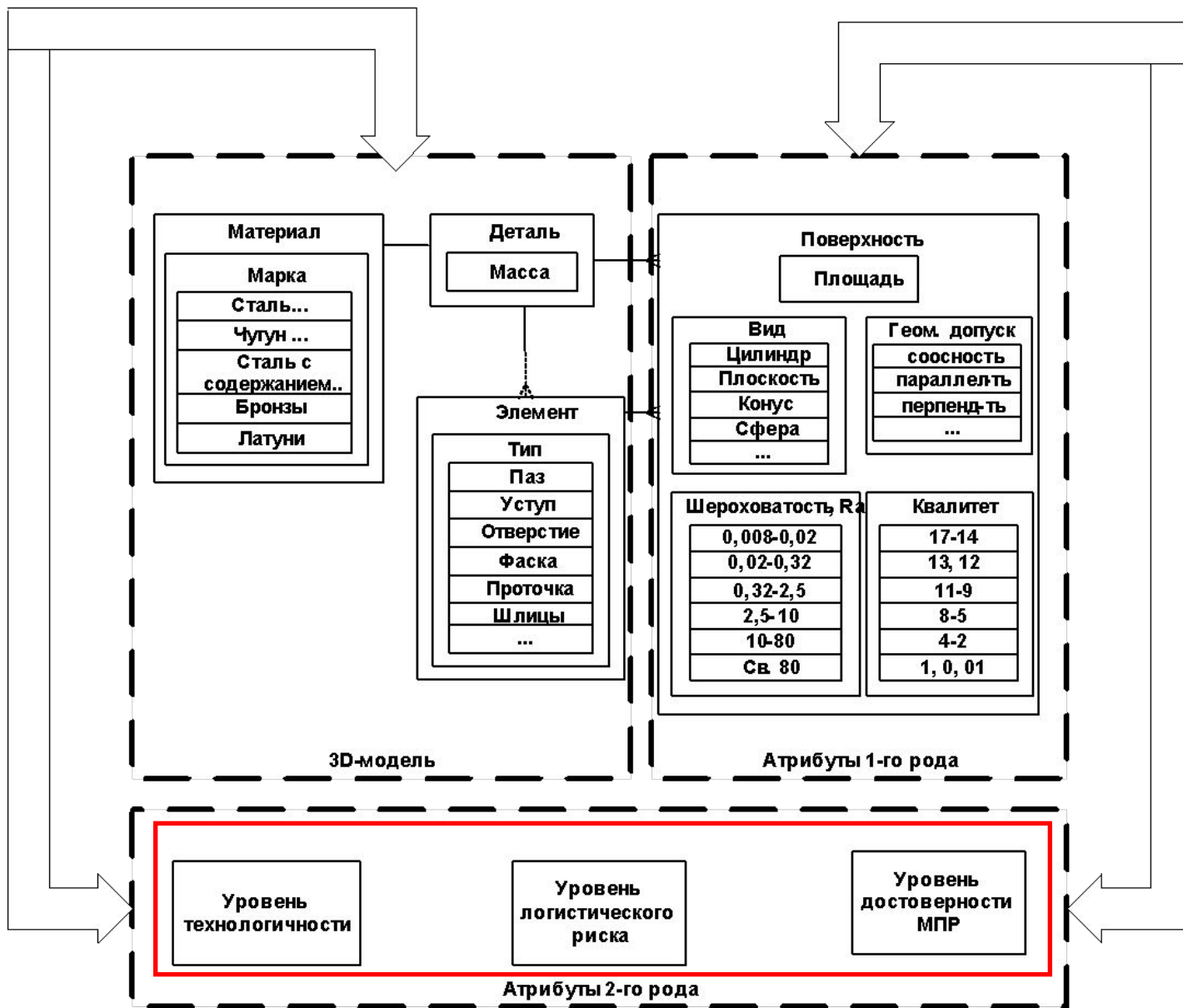
где  $G$  – множество элементов геометрии;

$R$  – множество взаимосвязей между геометрическими элементами;

$A1$  – множество атрибутов 1-го рода;

$A2$  – множество атрибутов 2-го рода.

# СТРУКТУРА МПР



Разработчик МПР при помощи представленных в работе моделей и алгоритмов самостоятельно оценивает значения атрибутов 2-го рода, и сравнивает их с нормативными:



## Сложность конструкторского проектного решения

Для количественной оценки семантического объема информации  $V$  в МПР необходима оценка сложности проектного решения. Кроме того, такая оценка необходима для определения себестоимости процесса разработки, учета трудозатрат конструкторов, выявления уровня технологичности деталей, решения разнообразных задач планирования и распределения ресурсов. Особенную важность данная оценка имеет при вариантном типе производства, отличающемся мелкосерийным и единичным выпуском сильно отличающихся по конструкции изделий.

$$C_i = f(Cur, A, N)$$

$Cur$  – кривизна поверхности;

$A$  – объем атрибутивной (PMI) информации;

$N$  – число смежных поверхностей

Проанализирована взаимосвязь между уровнем сложности и расчетной трудоемкостью изготовления детали, показано наличие устойчивой корреляции.

Сложность всей детали, состоящей из  $n$  поверхностей, рассматривается как приведенная сумма сложностей каждой поверхности:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n}$$

Конкретный вид функции  $f(Cur, A, N)$  должен учитывать следующие соображения:

1. Сложность конструктивного элемента, в который входит деталь (параметр ) имеет высокий относительный приоритет, т.к. является свойством объекта более высокого уровня, чем отдельная поверхность.
2. По мере роста степени кривизны сложность возрастает нелинейно.
3. Атрибутивная информация содержит различный объем данных: геометрический допуск более информационно насыщен, чем указание на шероховатость или размерный допуск поверхности.

Тогда можно предложить следующий вид функции  $f$ :

$$C = f_1(\text{cur}) + N^2 + T_{\text{dim}} + T_{\text{geom}}^3 + R,$$

где

$$f_1(\text{Cur}) = \begin{cases} 1, \text{Cur} = 1 \\ 2, \text{Cur} = 2 \\ 8, \text{Cur} = 3 \end{cases} \quad \text{- функция, возвращающая коэффициент, нелинейно} \\ \text{учитывающий степень кривизны поверхности;}$$

$N$  - число сопряженных поверхностей. Квадратичная зависимость введена для усиления влияния данного параметра;

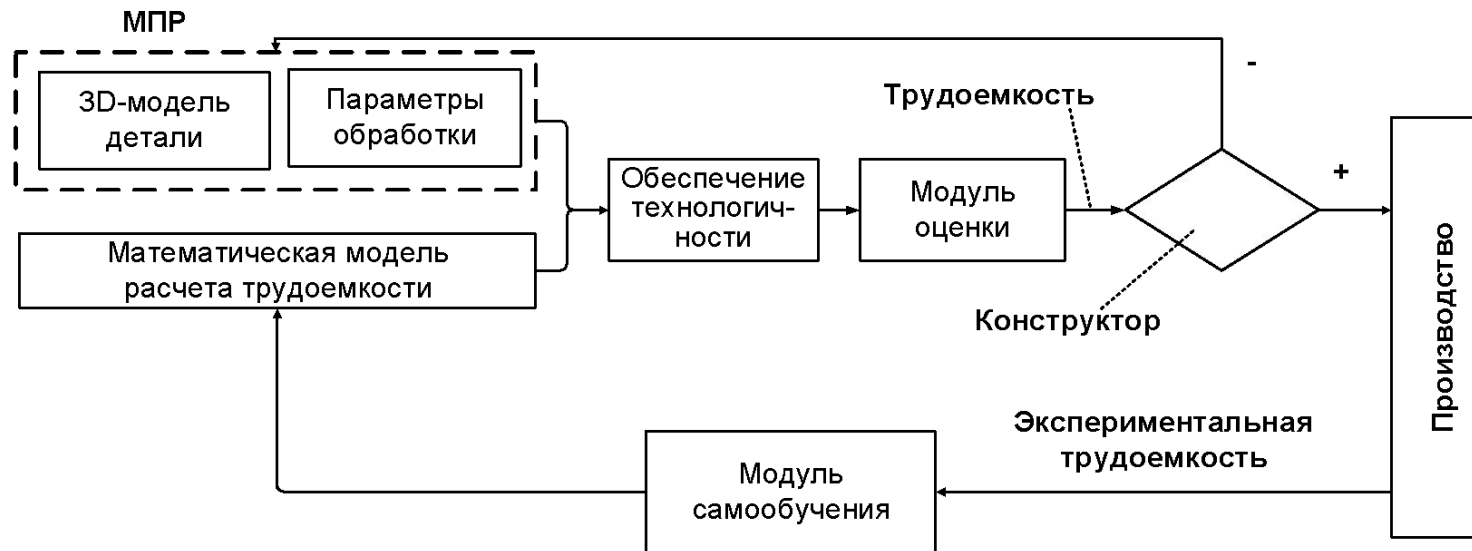
$T_{\text{dim}}$  - число размерных допусков, проставленных на поверхности;

$T_{\text{geom}}$  - число геометрических допусков, проставленных на поверхности.

Кубическая степень введена для отражения того факта, что геометрический допуск содержит в три раза больший объем информации (величина допуска, его тип и ссылку на базовую поверхность), чем размерный;

$R$  - коэффициент, учитывающий наличие атрибута шероховатости поверхности.

# Прогнозирование трудоемкости изготовления детали путем анализа МПР

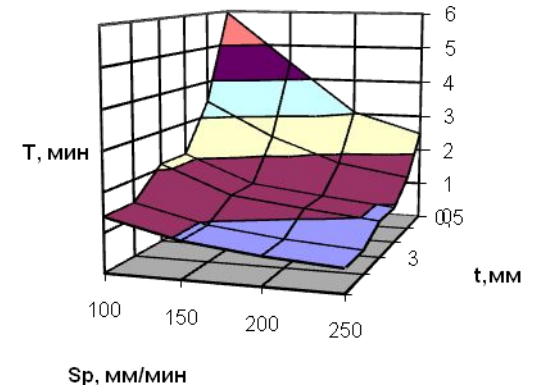
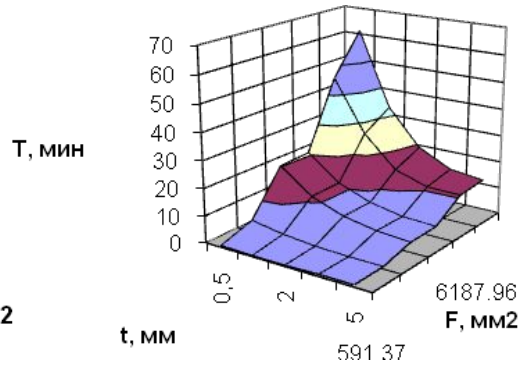
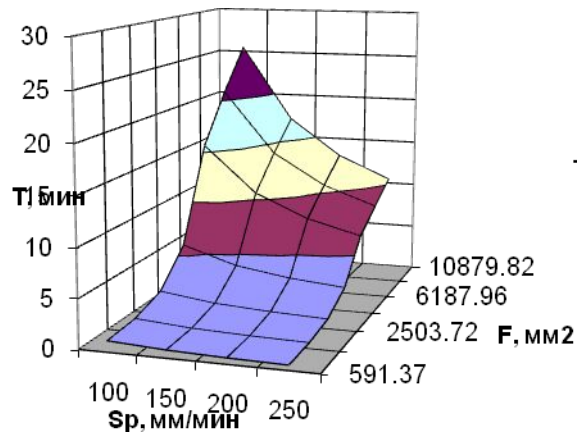


По методу регрессионного анализа выявлена корреляционную связь между трудоемкостью и входными параметрами модели (в виде уравнения множественной регрессии):

$$T = F\left(M, \sum_{i=1}^n f(S_i, Ra_i, t_i)\right) \cdot k_{mat}$$

где  $M$  – масса детали;  $S_i$  – площадь обрабатываемой  $i$ -той поверхности;  $Ra_i$  – требуемая шероховатость  $i$ -той поверхности;  $t_i$  – допуск (качество точности)  $i$ -той поверхности,  $k_{mat}$  – коэффициент, учитывающий обрабатываемость материала.

# Экспериментальные зависимости



трудоемкость  $T$  выражается как:

$$K = a_0 \cdot S^{x_1} \cdot Ra^{x_2} \cdot t^{x_3}$$

$$T = b_0 \cdot M^{y_1} \cdot K^{y_2};$$

где  $a_0$ ,  $b_0$ ,  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ ,  $y_1$ ,  $y_2$  – коэффициенты уравнения регрессии, подлежащие определению экспериментальным путем.



## Регрессионные зависимости для отдельных конструктивных элементов, получаемых фрезерованием

№	Элемент	Уравнение
1	Плоскость (фрезерование)	$T_{пл-ть} = 10^{4.07} \cdot S^{-0.6} \cdot Ra^{-0.25} \cdot t^{-1.07}$
2	Цилиндрическая поверхность	$T_{цил} = 10^{4.07} \cdot S^{-0.6} \cdot Ra^{-0.25} \cdot t^{-1.07}$
3	Паз под призматическую шпонку (фрезерование)	$T_{паз.призм.} = 10^{-3.04} \cdot S^{0.098} \cdot t^{-0.34} \cdot d^{3.67}$
4	Отверстие глухое	$T_{отв.гл.} = 10^4 \cdot S^{-0.84} \cdot Ra^{-0.11} \cdot t^{-0.92}$
5	Отверстие сквозное	$T_{отв.ск.} = 10^{4.03} \cdot S^{-0.68} \cdot Ra^{-0.34} \cdot t^{-0.72}$
6	Паз (фрезерование)	$T_{паз} = 10^{4.01} \cdot S^{-0.65} \cdot Ra^{-0.14} \cdot t^{-1.27}$
7	Уступ (фрезерование)	$T_{уступ} = 10^4 \cdot S^{-0.77} \cdot Ra^{-0.31} \cdot t^{-0.14}$

Полученные результаты хорошо коррелируют с нормативной трудоемкостью (расчетные значения меньше нормативных на 9...11%)

## Выявление уровня логистического риска

**Логистический риск** - вероятность недостижения заранее определенной конечной цели производственного процесса ввиду нерационального выбора сортаментов исходных материалов.

Риск принятия неоптимального проектного решения в ходе КТПП вызван принятием решений в условиях энтропии МПР (например, назначается такой исходный материал, поставки которого происходят с перебоями, либо требуется сортамент, закупка которого в масштабах предприятия невыгодна ввиду малого объема партии).

Разработана математическая модель определения сортамента материала по 3D-модели детали и ее атрибутам 1-го рода для случая изготовления детали из стандартного металлопроката.

припуск  $T$  можно представить как дискретную функцию вида:

$$T = f_1(N_T, S, K),$$

где  $S$  - обрабатываемый размер;

$N_T$  - число технологических переходов при обработке размера  $S$ ;

$K$  - вид размера  $S$  (диаметр, длина, внутреннее отверстие и т.д.)

В свою очередь, число переходов есть функция

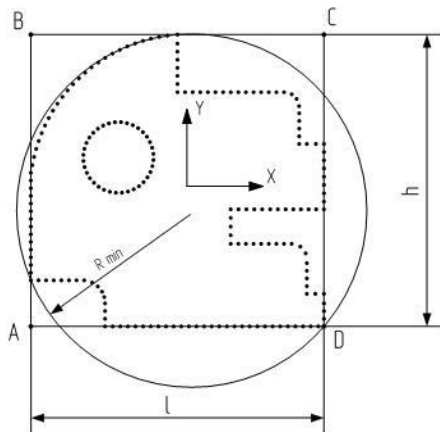
$$N_T = f_2(K_V, R_Z),$$

где  $K_V$  - качество точности обрабатываемого размера;

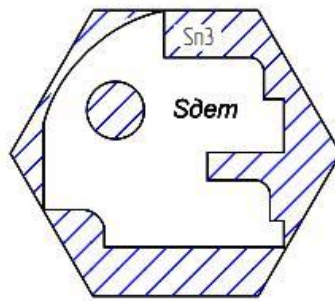
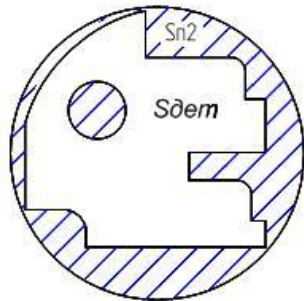
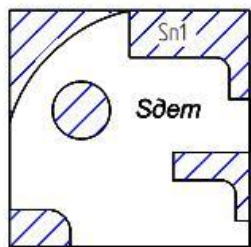
$R_Z$  - параметр шероховатости обрабатываемой поверхности.

## Автоматизированный подбор профиля и размера сортамента

проекция детали заменяется массивом точек  $V$  на координатной плоскости, расположенных с определенным шагом.



Определяются координаты и параметры прямоугольника, охватывающего все множество точек массива  $V$ , и минимальной окружности, которая может быть описана вокруг множества точек полученного массива  $V$



$$V_{\text{прип}} = l_{\text{дет}} (S_n - S_{\text{дет}});$$

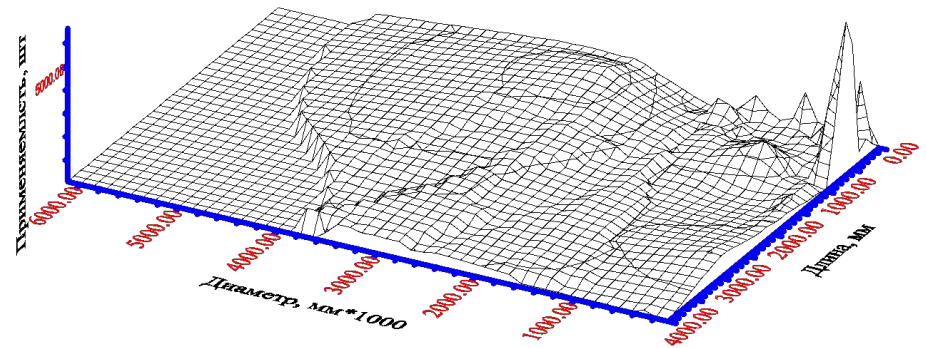
## Генерация оптимального размерного ряда используемых материалов (РРИМ)

При генерации технологически оптимального РРИМ по критерию минимизации объема снимаемого припуска средняя величина потерь  $\bar{W}_T$  составит:

$$\bar{W}_T = \sum_{i=1}^N \int_{D_{i-1}}^{D_i} \cdot \int_0^{\infty} f(D_3, L) \cdot W_T(D_3, D_i') dL dD,$$

где  $f(D_3, L)$  - функция распределения (плотность распределения) диаметров  $D_3$  и длин  $L$  заготовок, полученная в соответствии с производственной программой предприятия на заданный период времени;

$W_T(D_3, D_i')$  - функция определения объема припуска при изготовлении заготовки с определяющим размером  $D_3$  из материала с размером  $D_i'$ .



Распределение диаметров и длин заготовок из круглого проката (углеродистая сталь), ОАО "Тяжпромарматура", программа выпуска за 2 года

доказано соответствие эмпирического распределения логарифмически нормальному виду

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma \cdot x \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{\frac{1}{2 \cdot \sigma^2} \cdot (\ln x - \mu)^2} & \text{при } x > 0 \\ 0 & \text{при } x \leq 0 \end{cases}$$

Учет логистических факторов затруднен ввиду трудноформализуемости таких понятий, как "надежность поставщика" или "предыстория поставок". Для этого предложена методика, основанная на методе попарных сравнений Т. Саати.

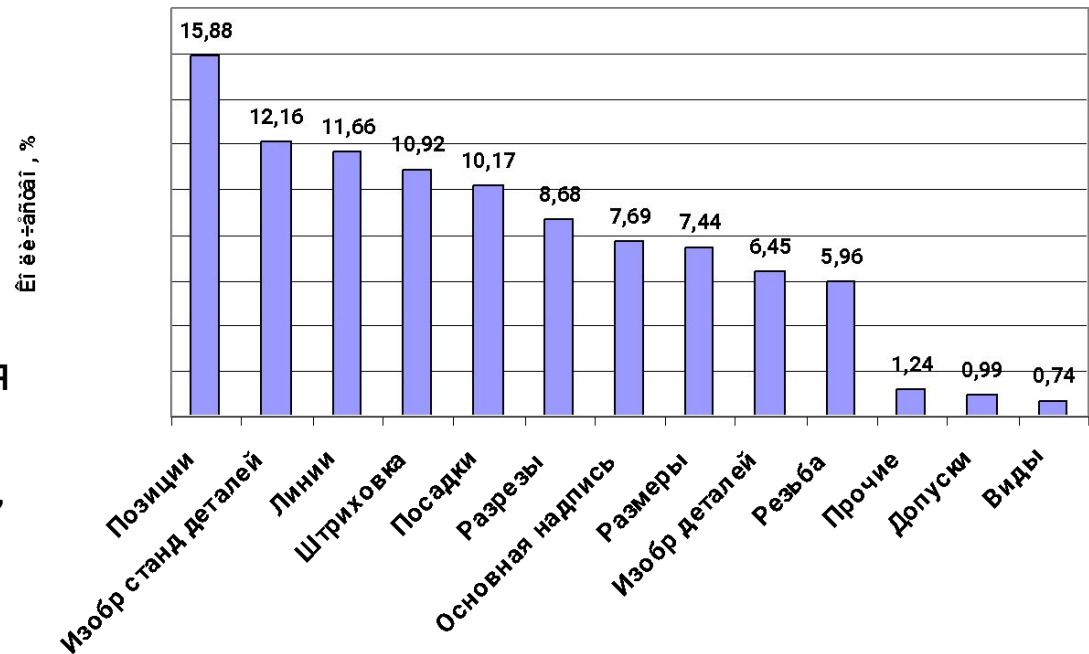
Критерий оптимизации	
Минимизация рисков	
Сравниваемые проектные решения:	
Включение $i$ -го размера материала в РРИМ и изготовление из него рассматриваемой детали	Использование $i+1$ -го размера материала для изготовления рассматриваемой детали
Действующие факторы:	
Технологические:	Логистические:
Рост потерь материала	Форма платежа
Увеличение трудоемкости обработки	Наличие посредников
Повышение расхода режущего инструмента	Продолжительность работы с данным поставщиком
Увеличение потребности в оборудовании	Предыстория поставок проката данным поставщиком
Повышение расхода электроэнергии	Размер партии проката данного размера
Увеличение потребности в рабочей силе	Расстояние до поставщика

Разработанная модель позволяет выполнить оценку логистического риска в зависимости от геометрических параметров, свойств материала и значений атрибутов 1-го рода МПР.

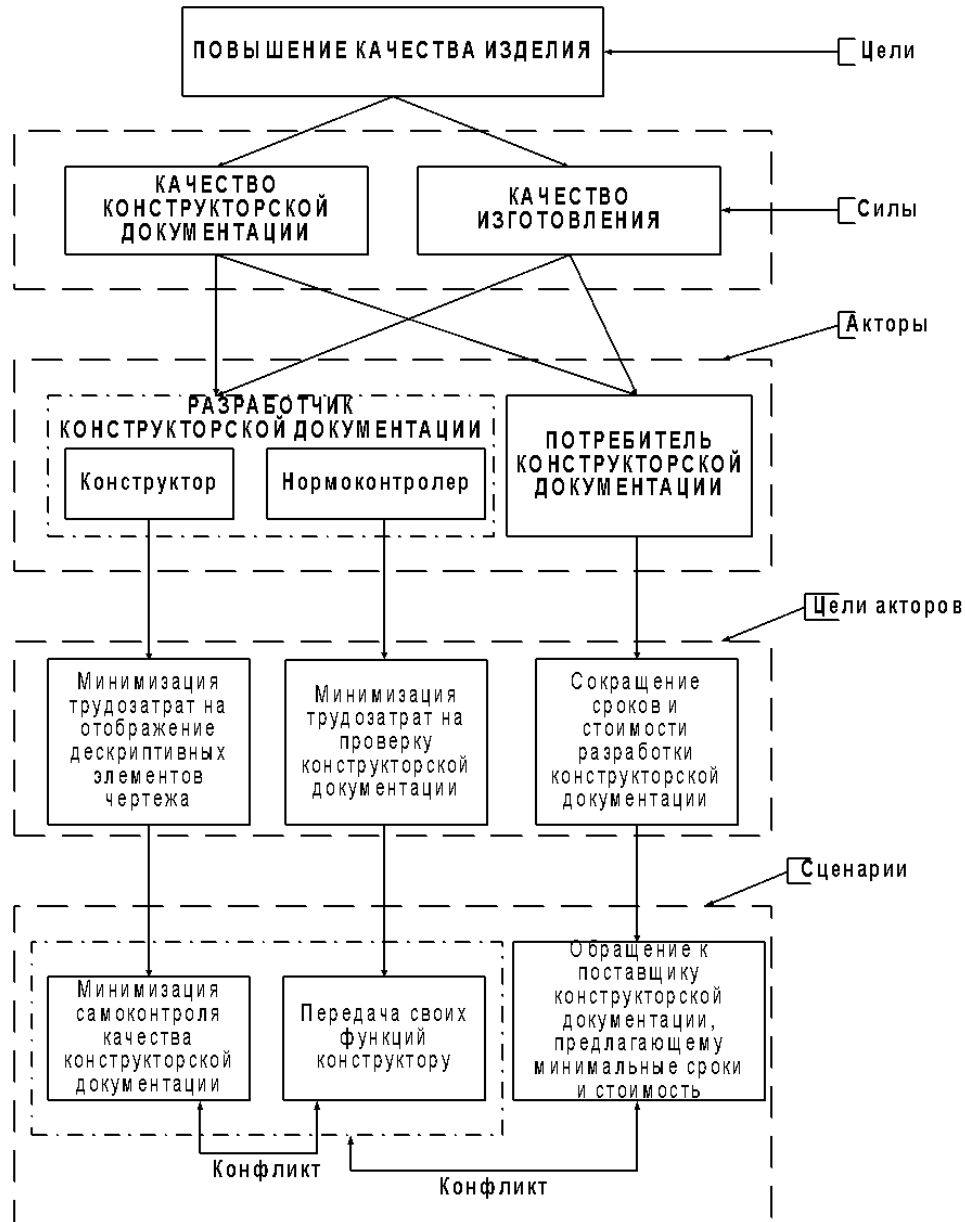
## Оценка уровня достоверности МПР

Предлагается следующее определение понятия "качество модели проектного решения": *степень соответствия виртуальной модели изделия требованиям, предъявляемым к проектируемому объекту, позволяющее разделить собственно несоответствия в конструкторской документации и несоответствия, возникающие на более поздних этапах жизненного цикла проектного решения.*

проведена экспериментальная работа по выявлению наиболее часто встречающихся несоответствий в МПР. Установлено, что несоответствия, относящиеся к несоблюдению стандартов, встречаются в два раза чаще, чем конструктивные.



# Модель конфликта в процессе обеспечения достоверности МПР





Показано, что взаимодействие участников процесса при осуществлении нормоконтроля математически описываются моделью игры с ненулевой суммой, предусматривающей наличие и конфликтов и согласованных действий игроков.

Взаимодействие разработчика и потребителя конструкторской документации можно представить как коалиционную игру, каждый из участников которой имеет свой набор стратегий поведения:

$$\Gamma = \langle X, Y, H_x \rangle, \quad (1)$$

где  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots\}$  – множество стратегий разработчика конструкторской документации;  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_j, \dots\}$  – множество стратегий потребителя документации;  $H_x$  – функция выигрыша разработчика.

Стратегия  $x^* \in X$  разработчика конструкторской документации оптимальна в случае, если  $H(x^*, y) > v$ , где  $v(\Gamma)$  – значение игры  $\Gamma$ , равное экономической эффективности внедряемой  $i$ -ой стратегии разработчика документации, т.е.

$$v = \max(\sum E_{x^*}(F)), \min(\sum C_{x^*}), \quad (2)$$

где  $\sum C_{x^*}$  – затраты на внедрение и эксплуатацию стратегии  $x^*$ ,  $\sum E_{x^*}(F)$  – эффективность стратегии  $x^*$  в зависимости от множества  $F$  текущих факторов производства.

Так как  $x_i = \{e_{i1}, e_{i2}, \dots, e_{in}, \dots\}$ , где  $\{e_{i1}, e_{i2}, \dots, e_{in}, \dots\}$  – множество элементов  $i$ -ой стратегии разработчика документации, следовательно:

$$e_{in} = \langle \sum C_{in}, \sum E_{in}(F) \rangle, \quad (3)$$

где  $\sum C_{in}$  – затраты на внедрение и эксплуатацию  $n$ -го элемента  $i$ -ой стратегии,  $\sum E_{in}(F)$  – эффективность  $n$ -го элемента  $i$ -ой стратегии в зависимости от множества  $F$  текущих факторов производства.

Выявлены стратегии разработчика МПР и потребителя МПР,  
а также фиксированные условия выполнения заказа

<i>Стратегии <math>x_i</math> разработчика конструкторской документации</i>	<i>Элементы стратегий, <math>e_i</math></i>
$x_1$ . Нормоконтроль не выполнять	
$x_2$ . Нормоконтроль выполняет:	$e_{21}$ . конструктор $e_{22}$ . нормоконтролер
$x_3$ . Приобрести:	$e_{31}$ . компьютерную технику $e_{32}$ . программный продукт $e_{321}$ . САПР (непараметрическую, параметрическую, специализированную) $e_{322}$ . автоматизированное рабочее место нормоконтролера
$x_4$ . Обучить персонал	$e_{41}$ . конструкторов $e_{42}$ . нормоконтролеров
$x_5$ . Изменить количество персонала	$e_{51}$ . увеличить число конструкторов $e_{52}$ . увеличить число нормоконтролеров $e_{53}$ . уменьшить число конструкторов $e_{54}$ . уменьшить число нормоконтролеров

# Основные выводы по работе

1. Введены научные категории «конфликт профессиональных интересов» и «модель проектного решения».
2. Разработана теоретико-множественная модель КПИ в ходе выполнения этапов жизненного цикла изделия.
3. Разработана математическая модель количественной оценки сложности индивидуального конструкторского проектного решения
4. Разработана геометрическая модель подбора оптимального сортамента заготовок.
5. Раскрыты закономерности формирования параметра «трудоемкость изготовления» при механической обработке машиностроительных деталей.
6. Разработана математическая модель оценки логистического риска.
7. На основе теории игр разработана математическая модель оценки уровня достоверности МПР