

9. Глазунов В.А. Использование теории винтов в задачах механики манипуляторов // *Машиноведение*, 1989, № 4, с. 5-10.

SUMMARY

The new generation of processing machinery with parallel kinematics on the mechatronic systems basis is studied. Comparing with traditional machine tools for a volumetric machining shows its advantages. The results of physical simulation of kinematics of the machine tool – manipulator and direction of further studies are considered.

УДК 658.512

АНАЛИЗ ИНЦИДЕНЦИЙ ПРИ СТРУКТУРИРОВАНИИ ФУНКЦИИ КАЧЕСТВА НА РАННЕЙ СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО СТАНКА

А.С. Фирсов

Процесс проектирования металлорежущего станка в определенном смысле представляет собой систему управления его качеством. Конструктор анализирует исходные данные, выбирает принцип работы, принимает инженерные решения, вносит необходимые изменения в конструкцию (т.е. выполняет управляющее воздействие), после чего оценивает экономическую эффективность проекта и, при необходимости, производит дополнения на каждом этапе своей работы. В меру своих знаний, способностей и опыта он оценивает выходные параметры конструкции, сравнивая их с требуемыми и/или допускаемыми. Результат этого сравнения используется для выработки нового управляющего воздействия – следующей итерации. Это продолжается до тех пор, пока не будет получена конструкция требуемого качества. Однако результат работы может оказаться бесполезным, если исходные данные на самой ранней стадии проектирования, не отвечают требованиям потенциального потребителя продукции.

Для оценки влияния требований потребителя на принципиальные технические решения через конкретные значения технических характеристик целесообразно применять метод структурирования функции качества. Суть метода заключается в последовательном заполнении матрицы согласования потребительских требований (ПТ) и инженерных характеристик (ИХ) и последующем расчете весовых коэффициентов влияния ПТ на ИХ. Методика структурирования функции качества рассмотрена в статье [1]. При определении ПТ, предъявляемых к металлорежущим станкам на ранней стадии проектирования, набор и значения показателей формируются: 1) на основе требований заказчика; 2) служебного назначения проектируемого оборудования; 3) требований к качеству деталей, изготавливаемых на проектируемом оборудовании; 4) с учетом ряда показателей технического уровня станка (показатели надежности, точности, безопасности и т.д.). В свою очередь технические характеристики представляют собой набор внешних технических характеристик, отражающих общие требования предъявляемые к проектируемому оборудованию в целом (условно являются частью ПТ), и внутренних инженерных характеристик (ИХ). Принятые ИХ отражают набор внутренних функций, которые, иерархически связываясь друг с другом, определяют внутреннюю структуру проектируемого объекта [2]. Поэтому в состав ИХ включают только те технические характеристики, которые в той или иной степени влекут за собой изменения принципиальных технических решений: компоновочной, кинематической, гидравлической схемах, схеме управления станка. В основном ИХ определяются набором рабочих, вспомогательных, установочных и специальных движений необходимых для реализации технологической схемы обработки на проектируемом станке.

Структурирование функции качества, осуществляется в несколько этапов. На первом этапе уточняются и ранжируются ПТ, по степени их важности для потребителей. Ранг ПТ определяется экспертным путем, методом по парного сравнения, где в качестве эксперта выступает потребитель. Методика математической обработки результатов предпочтений изложена в статье [1]. На втором этапе заполняется матрица согласования ПТ и ИХ. При ее заполнении выявляются скрытые взаимосвязи каждых ПТ, и ИХ. Поскольку в большинстве случаев зависимость между конкретными потребительскими требованиями и инженерными характеристиками явно выразить достаточно сложно, а иногда просто невозможно, то необходимо применять метод инцидентий [3]. Инцидентия представляет собой числовое отражение скрытых, неявных связей между двумя отличными факторами. В свою очередь, метод инцидентий позволяет выявить скрытые, трудно учитываемые экспертами воздействия при анализе причинно-следственных отношений множества отдельных факторов между собой или со множеством других факторов.

Общая структура процесса определения инцидентий представлена в виде формулы определения матрицы вторичного влияния M^{2AB}

$$M^{2AB} = \underline{PT^A} \circ M^{1AB} \circ \underline{IX^B},$$

где $\underline{PT^A}$ – матрица инцидентий ПТ друг на друга, M^{1AB} – матрица первичного влияния потребительских требований на инженерные характеристики, $\underline{IX^B}$ – матрица инцидентий ИХ друг на друга. Знак \circ – представляет собой условное обозначение математической операции, позволяющей определить наличие инцидентии и называемой композицией максимум-минимум или maxmin. Согласно приведенной зависимости определение инцидентий ПТ и ИХ, с учетом вторичного влияния ПТ и ИХ, производится в следующей последовательности.

1. Уточняется множество ранжированных потребительских требований:

$$PT = \{PT_1, PT_2, PT_3, \dots, PT_n\},$$

например, при проектировании шлифовально-заточного станка с ЧПУ набор ПТ, в порядке их важности для потребителя, имеет вид:

PT_1 – обеспечить технологическую возможность обработки деталей заданной формы и размеров; PT_2 – обеспечить показатели точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей деталей; PT_3 – обеспечить минимальные габаритные размеры станка; PT_4 – обеспечить минимальное энергопотребление станка; PT_5 – обеспечить минимальную массу станка; PT_6 – обеспечить наибольшую производительность станка; PT_7 – обеспечить максимальную автоматизацию процесса обработки; PT_8 – обеспечить низкую себестоимость станка; PT_9 – обеспечить максимальную безопасность работы на станке; PT_{10} – обеспечить эстетичность станка.

Следует отметить, что приведенные потребительские требования являются лишь частью набора потребительских требований, предъявляемых к станку при реальном проектировании.

Далее формируется матрица инцидентий ПТ друг на друга (таблица 1). В ячейки матрицы заносятся средние значения семантических переменных (ранжированных лингвистических) установленных группой экспертов. При этом матрица является рефлексивной (главная диагональ образована из 1), поскольку инцидентия любого ПТ на самого себя функционально положительна.

2. Уточняется множество инженерных характеристик

$$IX = \{IX_1, IX_2, IX_3, \dots, IX_j\}.$$

В качестве примера примем инженерные характеристики IX_1, \dots, IX_{10} , определяющие параметры шлифовально-заточного станка с ЧПУ:

IX_1 – наибольшая длина станка (наибольший размер в горизонтальном направлении вдоль оси OX); IX_2 – наибольшая ширина станка (наибольший размер станка в горизонтальном направлении OY); IX_3 – наибольшая высота станка (наибольший размер станка в вертикальном направлении OZ); IX_4 – наибольшее

перемещение суппорта шлифовального круга в вертикальном направлении OZ; ИХ₅ – наибольшее перемещение стола с заготовкой в вертикальном направлении OZ; ИХ₆ – наименьшая частота вращения шпинделя инструмента; ИХ₇ – наибольшая частота вращения шпинделя инструмента; ИХ₈ – количество управляемых координат; ИХ₉ – максимальная мощность ЭД главного движения; ИХ₁₀ – максимальная суммарная мощность ЭД станка.

Следует отметить, что приведенные инженерные характеристики являются лишь частью набора инженерных характеристик определяющих показатели шлифовально-заточного станка при реальном проектировании.

Таблица 1- Матрица инцидентий ПТ

ПТ ^A	ПТ1	ПТ2	ПТ3	ПТ4	ПТ5	ПТ6	ПТ7	ПТ8	ПТ9	ПТ10
ПТ1	1	0	-0,7	0	-0,5	-0,3	0	-0,1	-0,3	-0,8
ПТ2	-0,6	1	+0,3	0	0	-0,7	+0,5	0	0	-0,9
ПТ3	-0,6	0	1	+0,2	+0,8	0	0	+0,5	0	0
ПТ4	-0,3	0	+0,2	1	+0,3	-0,4	0	0	+0,4	+0,3
ПТ5	-0,3	0	+0,5	0	1	0	0	+0,3	+0,2	+0,5
ПТ6	+0,6	-0,6	0	-0,5	0	1	+0,8	-0,3	-0,3	+0,2
ПТ7	+0,3	+0,4	0	-0,2	0	+0,8	1	+0,2	+0,4	-0,7
ПТ8	0	0	+0,3	0	+0,2	-0,1	+0,3	1	+1	-0,5
ПТ9	-0,2	+0,2	-0,2	+0,2	-0,3	-0,5	+0,6	+0,2	1	-0,7
ПТ10	-0,4	-0,6	+0,1	-0,5	+0,4	0	-0,7	-0,5	-0,3	1

Далее формируется матрица инцидентий ИХ друг на друга (таблица 2). В ячейки матрицы заносятся средние значения семантических переменных установленных группой экспертов. При этом матрица является рефлексивной (главная диагональ образована из 1), поскольку инцидентия любого ПТ на самого себя функционально положительна.

Таблица 2 – Матрица инцидентий ИХ

ИХ ^B	ИХ1	ИХ2	ИХ3	ИХ4	ИХ5	ИХ6	ИХ7	ИХ8	ИХ9	ИХ10
ИХ1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ИХ2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
ИХ3	0	0	1	+0,5	+0,5	0	0	0	0	0
ИХ4	0	0	+0,9	1	-0,4	0	-0,3	+0,8	+0,2	+0,5
ИХ5	0	0	+0,5	-0,3	1	0	0	+0,5	0	+0,5
ИХ6	0	0	0	0	0	1	0	+0,5	-0,3	-0,2
ИХ7	0	0	0	-0,3	0	0	1	+0,5	+1	+0,5
ИХ8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
ИХ9	0	0	0	0	0	-0,3	+0,9	0	1	+1
ИХ10	0	0	0	+0,5	+0,3	0	+0,5	0	0	1

3. Определяются оценки первичного влияния ПТ и ИХ.

Оценки определяются при последовательном сравнении отдельных ИХ и ПТ на основе процедур описанных ранее. Полученные значения заносятся в соответствующие ячейки матрицы (таблица 3) первичного влияния потребительских требований на инженерные характеристики M^{IAB} .

Таблица 3 - Матрица первичного влияния ПТ на ИХ

M^{TAB}	ИХ1	ИХ2	ИХ3	ИХ4	ИХ5	ИХ6	ИХ7	ИХ8	ИХ9	ИХ10
ПТ1	+0,7	+0,8	+0,7	+1	+0,6	0	0	+0,8	0	0
ПТ2	0	0	-0,1	-0,4	-0,2	+0,3	+0,7	+0,5	+0,3	+0,1
ПТ3	-1	-1	-1	-0,8	-0,4	0	0	+0,3	-0,4	-0,6
ПТ4	0	0	0	-0,1	0	+0,1	-0,1	-0,5	-0,7	-1
ПТ5	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,5	0	0	+0,4	-0,3	-0,3
ПТ6	0	0	0	-0,5	-0,3	-0,3	+0,5	+0,9	+0,5	+0,6
ПТ7	0	0	0	0	0	0	0	+1	0	0
ПТ8	-0,4	-0,3	-0,3	0	0	0	0	+0,2	0	0
ПТ9	-0,1	-0,4	-0,4	-0,7	-0,6	-0,3	-0,8	+0,7	-0,1	-0,3
ПТ10	-0,3	-0,3	-0,3	-0,5	-0,4	0	0	-1	-0,3	-0,5

Производятся последовательное логическое перемножение матриц. Процедура перемножения осуществляется с использованием математической композиции $\max\min$, схема которой представлена на рис.2, где в качестве примера оценивается инцидент ПТ₇ на ИХ₄, с учетом вторичного влияния группы ПТ.

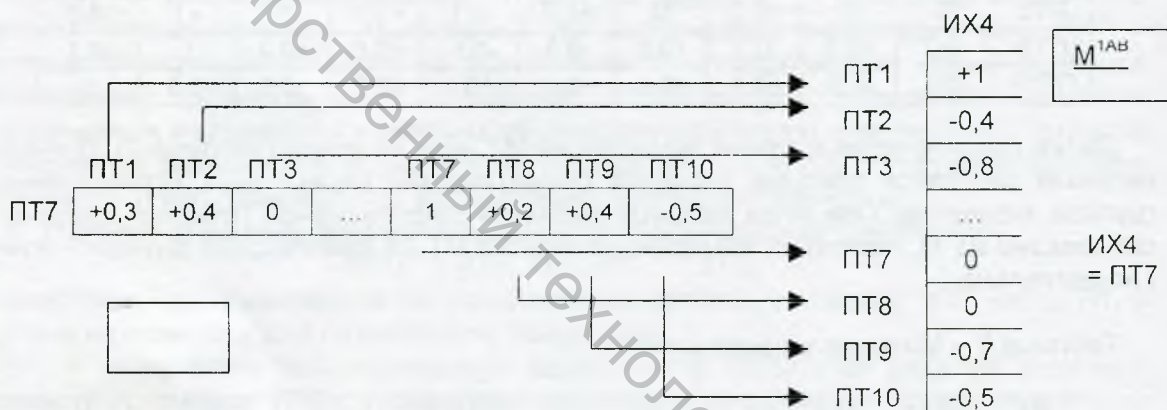


Рис. 1. Схема композиции определения оценок вторичного влияния потребительских, на примере оценки клетки $\mu(ПТ_7, ИХ_4)$

Согласно приведенной схеме оценка клетки $\mu(ПТ_7, ИХ_4)$ в матрице $ПТ^A \circ M^{1AB}$ производится следующим образом

$$\begin{aligned} \mu(ПТ_7, ИХ_4) &= (\mu(ПТ_7, ПТ_1) \wedge \mu(ПТ_1, ИХ_4)) \vee (\mu(ПТ_7, ПТ_2) \wedge \mu(ПТ_2, ИХ_4)) \vee \\ &\vee (\mu(ПТ_7, ПТ_3) \wedge \mu(ПТ_3, ИХ_4)) \vee \dots \vee (\mu(ПТ_7, ПТ_7) \wedge \mu(ПТ_7, ИХ_4)) \vee (\mu(ПТ_7, ПТ_8) \wedge \mu(ПТ_8, \\ &ИХ_4)) \vee (\mu(ПТ_7, ПТ_9) \wedge \mu(ПТ_9, ИХ_4)) \vee (\mu(ПТ_7, ПТ_{10}) \wedge \mu(ПТ_{10}, ИХ_4)) = \\ &= (+0,3 \wedge +1) \vee (+0,4 \wedge -0,4) \vee (0 \wedge -0,8) \vee (-0,2 \wedge -0,1) \vee (0 \wedge -0,4) \vee (+0,8 \wedge -0,5) \vee (1 \wedge 0) \vee \\ &\vee (+0,2 \wedge 0) \vee (+0,4 \wedge -0,7) \vee (-0,7 \wedge +0,5) = \\ &= +0,3 \vee -0,4 \vee 0 \vee -0,1 \vee 0 \vee -0,5 \vee 0 \vee 0 \vee +0,4 \vee +0,5 = -0,5, \end{aligned}$$

где символ \wedge означает выбор минимального (наименьшего) значения, по модулю, из двух элементов; \vee – максимального (наибольшего) значения, по модулю, из двух элементов. Знак при сравнении определяется следующим образом: если значения сравниваются по минимуму, то знак принимается при оценке в матрице M^{1AB} ; если значения сравниваются по максимуму, то знак принимается при оценке ПТ имеющего более высокий ранг. Например, при сравнении оценок получаем

$$\begin{aligned} \mu(ПТ_7, ПТ_2) \wedge \mu(ПТ_2, ИХ_4) &= +0,4 \wedge -0,4 = -0,4; \\ (\mu(ПТ_7, ПТ_6) \wedge \mu(ПТ_6, ИХ_4)) \vee (\mu(ПТ_7, ПТ_{10}) \wedge \mu(ПТ_{10}, ИХ_4)) &= -0,5 \vee +0,5 = -0,5. \end{aligned}$$

Определив инцидентии ПТ и ИХ с учетом влияния ПТ₁, осуществляется нахождение значений оценок матрицы вторичного влияния M^{2AB} (таблица 4). Для этого перемножаются, полученная матрица перемножения \underline{PT}^A и M^{1AB} с матрицей инцидентии ИХ друг на друга \underline{IX}^B . Последовательность перемножения подобна процедуре описанной ранее. Следует отметить, что вторичное влияние инцидентии ИХ оказывает существенное изменение значений оценок первичной инцидентии и иногда может даже привести к изменению знака. Полученные значения в таблице 4 отражают инцидентии между ПТ и ИХ, с учетом вторичного влияния отдельно ПТ и ИХ. Необходимость определения инцидентии второго порядка можно показать на следующем примере. При первичной оценке инцидентии (таблица 3) между рядом ПТ и ИХ взаимосвязей выявлено не было ($\mu(ПТ_1, ИХ_6)$, $\mu(ПТ_1, ИХ_9)$, $\mu(ПТ_7, ИХ_4)$ и т.д.). Однако имеются связи, одного ПТ₁ с другими ПТ, а также связи одной ИХ₁ с остальными ИХ, оказывающими дополнительное влияние на первичную оценку $\mu(ПТ_i, ИХ_j)$.

Так например, первичная инцидентия между требованием обеспечения максимальной автоматизации процесса обработки (ПТ₇) и наибольшим перемещением суппорта шлифовального круга в вертикальном направлении (ИХ₄), группой экспертов не была выявлена, но вторичное влияние требования наибольшей производительности станка (ПТ₆) и максимальная мощность станка (ИХ₁₀) оказали вторичное влияние и изменили значение семантической переменной с 0 до -0,5. Аналогично прослеживаются изменения остальных оценок.

Таблица 4 - Матрица вторичного влияния ПТ на ИХ

M^{2AB}	ИХ1	ИХ2	ИХ3	ИХ4	ИХ5	ИХ6	ИХ7	ИХ8	ИХ9	ИХ10
ПТ1	+0,7	+0,8	+0,9	+1	+0,6	-0,3	+0,5	+0,8	+0,5	-0,6
ПТ2	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	+0,6	+0,3	+0,7	-0,9	+0,7	+0,7
ПТ3	-1	-1	-1	-0,8	-0,5	-0,3	-0,7	-0,8	-0,4	-0,6
ПТ4	-0,3	-0,4	-0,5	-0,5	+0,4	-0,3	-0,7	+0,7	-0,7	-1
ПТ5	+0,5	+0,5	+0,5	+0,5	-0,5	-0,3	-0,5	+0,5	-0,4	-0,5
ПТ6	+0,6	+0,6	+0,6	+0,6	+0,6	+0,3	+0,5	+0,9	-0,4	+0,6
ПТ7	+0,3	-0,4	-0,5	-0,5	+0,4	+0,3	+0,5	+1	+0,5	+0,6
ПТ8	-0,4	-0,4	-0,7	-0,7	-0,6	-0,3	-0,8	+0,7	-0,8	-0,5
ПТ9	-0,3	-0,4	-0,7	-0,7	-0,6	-0,3	-0,8	+0,7	-0,8	-0,5
ПТ10	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	-0,4	+0,3	-0,6	-1	-0,6	-0,6

Расчет весовых коэффициентов для каждой ИХ, отражающих влияние всех ПТ по следующей формуле

$$R_j = \sum_{i=1}^l r_i \cdot k_{ij} ,$$

где R_j – весовой коэффициент j -ой характеристики; r_i – ранг i -ого потребительского требования; k_{ij} – значение переменной, соответствующее инцидентии i -ого потребительского требования и j -ой инженерной характеристики. Поскольку для проектировщика нового оборудования необходимо знать величину ИХ, значение которой ляжет в основу дальнейшего проектирования, то следующим этапом анализа является окончательное определение этих величин. Одних значений весовых коэффициентов ИХ для этого недостаточно, необходимо выявить коэффициенты влияния ИХ друг от друга.

Однако определение одной инженерной характеристики на основании величины соответствующего ей весового коэффициента может повлечь за собой изменение связанных с ней инженерных характеристик и снизить уровень качества проектируемого оборудования. Для устранения этого противоречия выявляются значения коэффициентов корреляции между самими ИХ. Коэффициенты

корреляции ИХ принимают значения: +1, если увеличение одной ИХ повлечет увеличение связанной с ней другой ИХ; 0, если зависимость не выявляется; - 1, если увеличение какой либо ИХ влечет уменьшение связанной с ней ИХ. Нахождение оптимальных значений инженерных характеристик осуществляют в два этапа: 1) проводят предварительные инженерные расчеты, определяющие уровень ИХ, достаточный для обработки заданной номенклатуры деталей на проектируемом станке; 2) величины ИХ уточняют на основе разработанного итерационного алгоритма, с учетом значений весовых коэффициентов и коэффициентов инцидентий инженерных характеристик.

Таким образом, заполнив матрицу согласования ИХ и ПТ и проведя сопутствующие расчеты, выявляются параметры всех технических характеристик, которым должен соответствовать проектируемый металлорежущий станок. Технические характеристики используются при формировании, в соответствии с СТБ 1080-97, технического задания на проектирование нового станка. Проведенная структуризация функции качества, с использованием процедуры анализа инцидентий, позволяет уменьшить неопределенность информации на ранних стадиях проектирования металлорежущих станков.

Список использованных источников

1. Фирсов А.С. QFD-метод макропроектирования металлорежущих станков // Вестник УО ВГТУ, пятый выпуск, 2003. – С. 72-77.
2. Свирский Д.Н., Фирсов А.С. Функциональный подход к формализации структурного синтеза металлорежущего оборудования // Машиностроение: Респ. межведом. сб. научн. тр. Вып. 19 / БНТУ. Мн.: УП "Техопринт", 2003. – С. 214-219.
3. Кофман А., Хил Алуха Х. Модели для исследования скрытых воздействий: Пер. с исп. – Мн.: Выш. шк., 1993. – 160 с.: ил.

SUMMARY

The paper deals with an actual problem of domestic machine-tool branch - the machine tools early design stages formalizing. The original approach to determination of the basic characteristics, which are supporting the competitive strength of the machine tool on an early design stage is proposed. The paper basic expert method for discovering the main engineering features determining the arguments of the process equipment allows: the early design stages routines automation; to eliminate the abundant errors originating because of insufficiency of the information on a stage up to initial designing; and can be utilized in the machine-building plants practice.