

УДК 658.531

**А. Н. Домбрачев**, кандидат технических наук, Воткинский филиал Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова

**А. Д. Крутихин**, кандидат технических наук, Воткинский филиал Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова

## ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ САПР-Т «ЛИНЕЙКА»

*Рассматриваются основные аспекты, связанные с математическим обеспечением, развитием и внедрением в производство автоматизированной системы «Линейка».*

**Ключевые слова:** прогноз, трудоемкость, нормирование.

**В** настоящей статье рассматриваются основные аспекты, связанные с математическим обеспечением, развитием и внедрением в производство автоматизированной системы «Линейка». По целевому назначению указанная система относится к технологическим САПР общего машиностроения (САПР-Т). Иначе подобные САПР принято называть системами технологической подготовки производства АСТПП или САМ-системами (Computer Aided Manufacturing) [1, 2].

Основной функцией САПР-Т «Линейка» является оценка прогнозной трудоемкости и затрат на изготовление деталей и изделий инструментального производства. Система обеспечивает автоматизированный расчет указанных выше технико-экономических показателей для следующих групп класса 28, выделенных в соответствии с нормативными документами ЕСКД [3, 4]:

- режущий инструмент;
- мерительный инструмент;
- приспособления, штампы, пресс-формы, технологическая оснастка.

Основными действиями технолога-нормировщика при работе с системой являются: определение габаритных размеров детали или изделия, установление среднего класса точности обработки поверхностей, выделение основных конструкторско-технологических элементов. Все исходные данные определяются на основе комплекта чертежей, при этом дополнительная разработка операционного или маршрутного технологического процесса не требуется; расчеты связанные с вычислением прогнозных значений трудоемкости и затрат на изготовление детали или изделия выполняются системой в автоматическом режиме. Результаты прогнозирования могут быть использованы в дальнейшем как при принятии решения о постановке в производство вновь изготавливаемого изделия, так и для корректировки и проверки используемой на предприятии нормативной базы.

САПР-Т «Линейка» разработана на кафедре «Организация вычислительных процессов и систем управления» Воткинского филиала ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. Система реализована в виде win32-приложения и адаптирована для работы под

управлением всех версий существующих операционных систем семейства Windows.

В настоящее время система внедрена в производство ряда машиностроительных предприятий Удмуртии и Уральского региона, ее использование позволило значительно сократить время, затрачиваемое специалистами отделов труда и заработной платы на предварительную оценку трудоемкости и затрат на изготовление изделий.

Далее рассмотрены наиболее известные методики нормирования и предпосылки для выбора расчетных зависимостей, явившихся прототипом математического обеспечения системы, а также результаты ее практического использования.

Количественный анализ номенклатуры инструментального производства, проведенный на ряде предприятий Уральского региона, показал, что доля специального инструмента, технологической оснастки и пресс-форм составляет значительную часть от всего объема выпускаемых изделий. При этом штучное время, затрачиваемое на изготовление указанных групп изделий, составляет около половины общего фонда времени.

Если штучное время на изготовление нормализованного инструмента может быть получено на основе типовых норм или операционных карт, то для специального инструмента и оснастки такой подход во многих случаях невозможен. Причина этого – отсутствие стабильных технологических процессов: при единичном и мелкосерийном производстве специализированного инструмента и оснастки их разработка оказывается невыгодной, поэтому практически всегда их заменяют маршрутными технологиями [5, 6, 7]. В этом случае возникает задача использования укрупненных методов нормирования с использованием эмпирических формул для определения нормы штучного времени на изготовление единицы выпуска продукции.

Обобщая результаты исследований ряда авторов, выделим основные виды расчетных моделей, которые могут использоваться для решения этой задачи:

- аналитические;
- регрессионные;
- расчетно-статистические.

При использовании аналитических моделей деталь представляется в виде системы с точки зрения технологического процесса ее изготовления. При этом каждая деталь может быть декомпозирована на отдельные подсистемы. Отдельные подсистемы – части детали – это совокупность поверхностей, выполняющих одно функциональное назначение.

В работе [8] рассматривается автоматизированная система нормирования механической обработки для деталей типа тел вращения, в которой использован этот подход. Здесь деталь рассматривается в виде совокупности поверхностей, обладающих определенными характеристиками: размерами, формой, шероховатостью, точностью изготовления, и требованиями, предъявляемыми к ним, – отклонениями формы и взаимного расположения.

Каждая поверхность имеет свой технологический маршрут изготовления, содержание которого зависит от требований, предъявляемых к поверхности, и производственных ограничений.

При определении трудоемкости обработки поверхностей в первую очередь учитываются наиболее значимые признаки, максимально влияющие на величину штучного времени. Они выбираются на основе анализа типовых операций. В качестве основных признаков автором предлагается использовать диаметр обрабатываемой поверхности и качество. Штучное время в этом случае рассматривается как функция от этих параметров.

В работе [9] для оценки трудоемкости изготовления деталей предлагается использовать степенную регрессионную зависимость. Параметры детали оценены автором в результате опроса экспертов. К ним отнесены: длина детали, внешний диаметр, толщина (разность между максимальным и минимальным значениями внешнего и внутреннего диаметров), число обрабатываемых поверхностей, минимальный качество.

Предусмотрено самообучение автоматизированной системы, построенной на основе модели: по мере накопления данных о трудоемкости деталей определенного класса, получаемых в результате анализа технологических процессов, регрессионное уравнение меняется за счет пересчета вектора констант.

Аналогичный подход использован в методике определения плановых нормативов для инструментального производства, разработанной в НИТИ-40 [10]. В основу расчета прогнозной трудоемкости здесь положены типовые технологические процессы и расчетные нормы времени с использованием статистических материалов инструментальных заводов. Трудоемкость изделия рассматривается как статистически определяемая функция, зависящая от ее конструктивной сложности. На основе предложенных авторами зависимостей можно получить прогнозную трудоемкость режущего, мерительного инструмента, а также штампов, пресс-форм и другой технологической оснастки.

Основным параметром, оказывающим наибольшее влияние на трудоемкость изготовления изделия, является показатель точности. В общем случае это функциональная зависимость от размера и допуска

на элемент детали, выполняемый с наиболее жесткими технологическими параметрами. Кроме этого учитываются сложность и геометрические параметры инструмента. Сложностью авторами методики назван показатель, являющийся аддитивной функцией и зависящий от множества конструктивных элементов, составляющих изделие.

За единицу принята сложность базового элемента – открытой, легко доступной для обработки, прямой плоскости, параллельной установочной базе. К числу базовых также относится элемент, представляющий поверхность цилиндра с длиной, не превышающей три его диаметра. Сложность остальных элементов определяется как отношение к сложности базовых.

Рассмотренная методика явилась основой для разработки математического обеспечения САПР-Т «Линейка». Выбор был обусловлен тем, что при решении задач оперативной оценки трудоемкости деталей и изделий обеспечивается высокая скорость нормирования и достаточная для прогноза степень достоверности результатов полученных значений штучно-калькуляционного времени и затрат. Это достигается за счет минимизации исходных данных, требуемых для расчета, и возможности оперативной корректировки и проверки зависимостей, положенных в основу вычислительных процедур.

Базовую зависимость для определения прогнозируемой трудоемкости изготовления деталей и изделий инструментального производства, используемую системой, можно представить в виде

$$T = a + b \cdot C, \quad (1)$$

где  $T$  – прогнозная трудоемкость;  $C$  – показатель сложности изделия,

$$C = 41 \cdot 10^{-4} \cdot K_T \cdot (L \cdot B \cdot H)^{0,3} m^{0,1} n^{0,25} \left[ \sum_{i=1}^n C_i \right]^{0,4}, \quad (2)$$

где  $C$  – суммарный показатель сложности;  $K_T$  – средний класс точности изделия;  $L, B, H$  – составляющие коэффициента пропорциональности;  $m, n$  – коэффициенты, учитывающие количество вновь изготавливаемых и заимствованных деталей, если нормируемая деталесборочная единица является конечным изделием;  $C_i$  – безразмерный показатель, отражающий относительную сложность обработки отдельных конструктивных элементов детали по сравнению с базовым элементом модели.

Основным параметром, оказывающим наибольшее влияние на величину прогнозной трудоемкости изделий, является показатель сложности.

*Показатель сложности* – это безразмерная величина, характеризующая трудоемкость обработки конструкторско-технологических элементов детали.

В рассматриваемой методике применяется относительная система оценки сложности конструкторско-технологических элементов. Это значит, что некоторый элемент, трудоемкость обработки которого принята в качестве базовой величины, имеет сложность, равную единице. Сложность остальных эле-

ментов можно рассматривать как косвенный показатель того, во сколько раз трудоемкость их обработки выше базового элемента.

В методике за единицу принята сложность базового элемента – открытой, легко доступной для обработки, прямой плоскости, параллельной установочной базе. К числу базовых также относится элемент, представляющий поверхность цилиндра с длиной, не превышающей три его диаметра. Сложность остальных элементов определяется как отношение к сложности базовых.

Все конструктивные элементы изделий, аналогичные по виду, форме или размерной характеристике делятся на две группы.

К первой группе относятся все наружные открытые поверхности, тела вращения (цилиндры, торцы, конусы), закругления и части окружности (как выпуклые, так и вогнутые), являющиеся элементами наружных поверхностей и имеющие свободный выход для обработки.

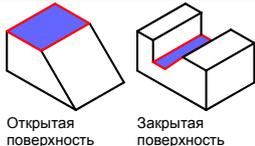
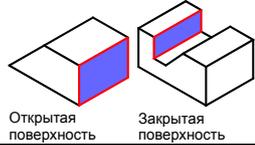
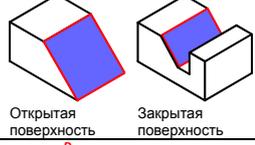
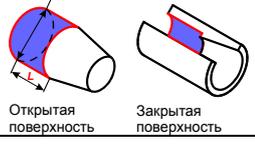
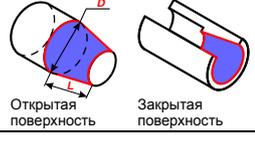
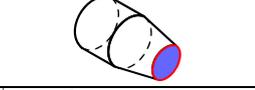
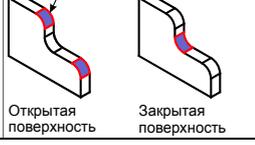
Ко второй группе относятся все внутренние или закрытые плоскости, не имеющие свободного выхо-

да для обработки; внутренние цилиндрические, торцевые и конические поверхности; закругления и части окружности, являющиеся элементами внутренних поверхностей либо не имеющие свободного выхода для обработки.

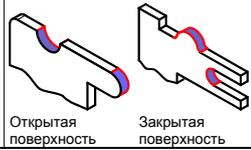
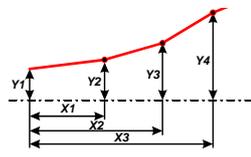
При одинаковых геометрических параметрах сложность рабочих поверхностей второй группы принимается в 1,5 раза больше, чем первой.

Оценивая сложность изделия в целом, необходимо учитывать все имеющиеся рабочие и направляющие поверхности. При этом сложность конструктивных элементов, являющихся направляющими поверхностями, принимается в два раза меньшей по сравнению с аналогичными им элементами, представляющими рабочие поверхности. Ниже (см. табл.) перечислены основные элементы, используемые при расчете сложности изделий, и соответствующие им значения показателя сложности. Обобщенная блок-схема процедуры расчета прогнозной трудоемкости изделий инструментального производства на основе показателя сложности приведена на рис. 1.

Значения показателя сложности базовых конструктивных элементов

Конструктивный элемент	Эскиз	Сложность открытого элемента (1-я группа)	Сложность закрытого элемента (2-я группа)
Параллельная поверхность (к установочной базе)	 Открытая поверхность      Закрытая поверхность	1	1,5
Перпендикулярная поверхность (к установочной базе)	 Открытая поверхность      Закрытая поверхность	2	3
Наклонная поверхность (к установочной базе)	 Открытая поверхность      Закрытая поверхность	2	3
Гладкий цилиндр	 Открытая поверхность      Закрытая поверхность	$C = \frac{L}{3D}$	$C = \frac{L}{2D}$
		$L$ – длина цилиндра, $D$ – диаметр. При $N < 1$ $N$ принимается равным 1	
Гладкий конус	 Открытая поверхность      Закрытая поверхность	$C = \frac{2L}{3D}$	$C = \frac{L}{D}$
		$L$ – длина цилиндра, $D$ – диаметр. При $C < 2$ $C$ принимается равной 2	
Торец		1	–
Закругление	 Открытая поверхность      Закрытая поверхность	При $R \leq 1$ мм $C = 1$	При $R \leq 1$ мм $C = 1,5$ При $R > 1$ мм $C = 3$
		При $R > 1$ мм $C = 2$	

Окончание табл.

Конструктивный элемент	Эскиз	Сложность открытого элемента (1-я группа)	Сложность закрытого элемента (2-я группа)
Часть окружности		3	4,5
Координатная поверхность (контур)		$C = 2K$	–
		$K$ – число участков	

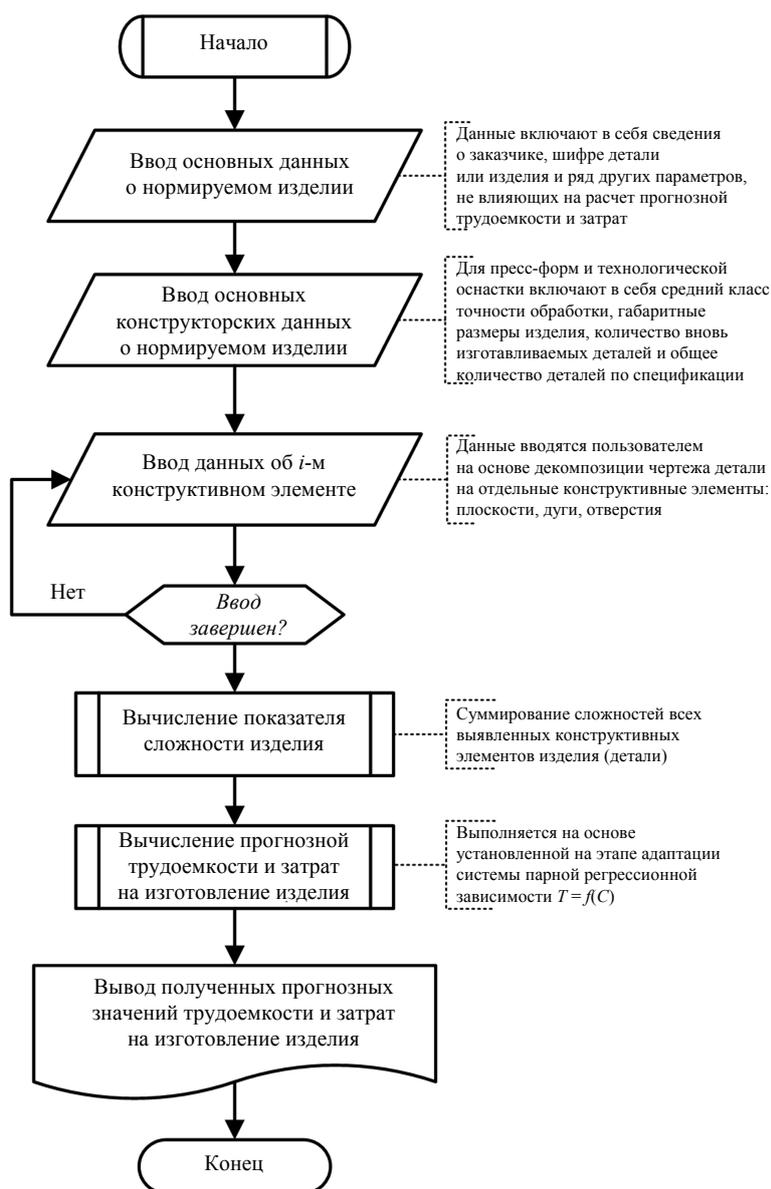


Рис. 1. Обобщенная блок-схема основных этапов расчета прогнозной трудоемкости и затрат с помощью САПР-Т «Линейка»

Как было указано выше (формула (1)), расчет прогнозной трудоемкости и затрат на изготовление деталей и изделий инструментального производства требует восстановления парной регрессионной зависимости, учитывающей организационно-технические

условия конкретной производственной системы. Это позволяет косвенно учесть особенности производства, объемы выпускаемой продукции, тип используемого оборудования и квалификацию производственных рабочих. При этом составляющие уравнения

регрессии можно интерпретировать следующим образом: коэффициент  $a$  отражает подготовительно-заключительное время операций, коэффициент  $b$  – организационно-технический уровень производства.

САПР-Т «Линейка» имеет в своем составе все необходимые средства для автоматического анализа и нахождения парной регрессионной зависимости трудоемкости изготовления деталей или изделий в зависимости от показателя сложности. Для выполнения исследования и вычисления коэффициентов при этом требуется выполнение следующих этапов прикладного исследования [11]:

- формирование репрезентативной выборки деталей или изделий, являющихся типовыми для исследуемой производственной системы;
- определение показателя сложности для каждого элемента выборочной совокупности;
- получение данных о трудоемкости каждого элемента выборки на основании данных отдела технического нормирования предприятия;

- восстановление регрессионной зависимости и оценка точности полученных результатов.

Ниже приведен пример подобного исследования, проведенного на одном из предприятий Уральского региона. В качестве объекта исследования выступали типовые детали штампов и пресс-форм. В данном случае заказчику требовалась информация о трудоемкости изготовления каждой деталесборочной единицы изделия, поэтому расчет показателя сложности выполнялся для каждой детали индивидуально.

Результаты адаптации системы, полученные на основе анализа 27 элементов выборки, представлены на рис. 2 и 3. Выборочный коэффициент корреляции составил  $R = 0,9$ , что указывает на высокую связь между исследуемыми величинами. Оценка ошибки расчета показала, что среднее отклонение значения прогнозируемой трудоемкости от величины, полученной специалистами предприятия на основе анализа технологических процессов, не превышает 0,7 нормочаса.

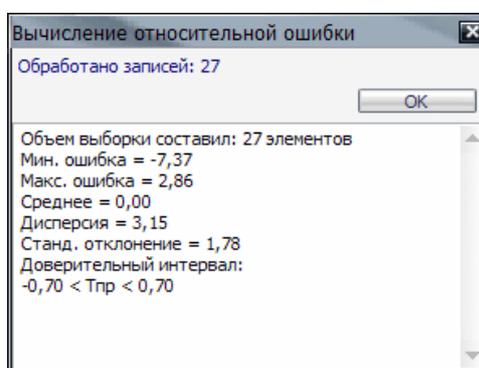
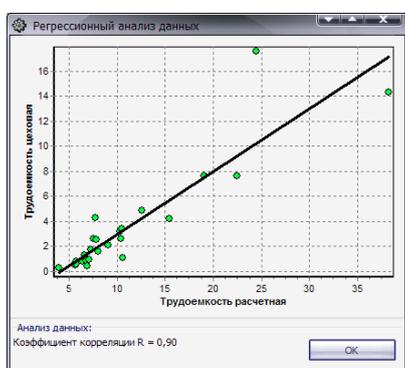


Рис. 2. Результаты парного регрессионного анализа данных и оценка ошибки прогнозирования

Наименование	Шифр	Трудоемкость изделия	Трудоемкость изделия (цех)	Средняя расценка	Зароботная плата	Трудоемкость выполнения заказа	Зароботная плата за заказ	Дата нормирования
Штырь транспортный	ШК.1556.00.22	1,33ч.	1,00ч.	23,00р.	30,54р.	4,38ч.	100,77р.	07/09/2011
Втулка	ШК.1556.00.10	0,75ч.	0,50ч.	23,00р.	17,23р.	2,47ч.	56,87р.	07/09/2011
Планка направляющая	ШК.1556.00.00	1,89ч.	2,50ч.	23,00р.	43,38р.	6,22ч.	143,16р.	07/09/2011
Упор	ШК.1556.00.00	0,80ч.	0,75ч.	23,00р.	18,46р.	2,65ч.	60,92р.	07/09/2011
Прокладка	ШП.70А.02	3,14ч.	2,60ч.	23,00р.	72,19р.	10,36ч.	238,22р.	08/09/2011
Ловитель	ШК.1556.01.01	5,71ч.	4,20ч.	23,00р.	131,24р.	18,83ч.	433,09р.	08/09/2011
Хвостовик	ШК.1556.00.24	1,73ч.	2,60ч.	23,00р.	39,77р.	5,71ч.	131,24р.	08/09/2011
Пуансон	ШК.1556.00.06	1,84ч.	4,30ч.	23,00р.	42,36р.	6,08ч.	139,77р.	08/09/2011
Пружина	ШК.1556.00.18	0,30ч.	0,30ч.	23,00р.	6,80р.	0,98ч.	22,45р.	08/09/2011
Вставка	271.00.00.08	3,23ч.	1,10ч.	23,00р.	74,41р.	10,68ч.	245,54р.	08/09/2011

Рис. 3. Фрагмент выборочной совокупности

Опыт разработки и внедрения автоматизированной системы «Линейка» позволяет сделать вывод о ее высокой эффективности при оперативном планировании производства. В условиях современного многономенклатурного предприятия она обеспечивает возможность обоснованно принимать решения о целесообразности изготовления изделий в кратчайшие сроки. На основе имеющихся данных можно утверждать, что технолог-нормировщик, пользуясь автоматизированной системой, может получить прогнозируемые величины трудоемкости

и затрат на изготовление изделия, состоящего в среднем из десяти сборочных единиц в течение одного часа.

**Библиографические ссылки**

1. ГОСТ 23501.101–87. Системы автоматизированного проектирования. Основные положения.
2. И. П. Норенков. Автоматизированное проектирование [Серия учебных пособий]. – М., 2000. – 188 с.
3. ГОСТ 2.201–80. ЕСКД. Обозначение изделий и конструкторских документов.

4. Классификатор ЕСКД. Класс 28. Оснастка технологическая, инструмент режущий : офиц. изд-е. – М., 1986. – 55 с.

5. Гальцов А. Д. Нормирование и основы научной организации труда в машиностроении. – М. : Машиностроение, 1967.

6. Справочник нормировщика / под ред. А. В. Ахумова. – Л. : Машиностроение, 1986. – 458 с.

7. Технологичность конструкции изделия : Справочник // Ю. Д. Амиров [и др.] ; под общ. ред. Ю. Д. Амирова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1990. – 768 с.

8. Болотов Ф. В. Метод определения трудоемкости механической обработки деталей машин на стадии конструкторской подготовки производства : дис. ... канд. техн. наук. – Курган, 2000. – 149 с.

9. Акимов И. В. Самообучающаяся система экспресс-оценки трудоемкости изготовления деталей машин : дис. ... канд. техн. наук. – Тула, 1999. – 208 с.

10. Инструкция по определению плановых нормативов в инструментальном производстве с использованием специальных логарифмических счетных линеек / Г. Э. Слезингер [и др.]. – 1955. – 78 с.

11. Virtual program imported into the real technological workplace / P. Božek [et al.] // Annals of DAAAM and Proceedings of DAAAM Symposium. – Vol. 19. – No. 1 ; Annals of DAAAM for 2008 & Proceedings of the 19th International DAAAM Symposium “Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Next Generation of Intelligent Systems and Solutions”, 22–25th October 2008, Trnava, Slovakia. – Viedeň : DAAAM International Vienna, 2008. – P. 0157–0158.

A. N. Dombrachev, PhD in Engineering, Votkinsk Branch of Kalashnikov Izhevsk State Technical University

A. D. Krutikhin, PhD in Engineering, Votkinsk Branch of Kalashnikov Izhevsk State Technical University

### Experience of CAD-T "LINEIKA" Implementation

The paper considers the main aspects of mathematical software, development and industrial implementation of the computer-aided design system “Lineika”.

**Key words:** forecast, labour factor, rating.

УДК 621.45.015.4:530.17

**Н. П. Кузнецов**, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

**Р. А. Юртиков**, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАЧАЛЬНОГО УЧАСТКА СВЕРХЗВУКОВОЙ НЕСИММЕТРИЧНОЙ ГАЗОВОЙ СТРУИ (НА ПРИМЕРЕ СОПЛОВОГО БЛОКА ТИПА «К»)\*

*Приведены результаты экспериментальных исследований геометрии начального участка сверхзвуковой несимметричной газовой струи.*

**Ключевые слова:** сверхзвуковая газовая струя, начальный участок, теневые методы, сопловой блок.

Для ориентации в пространстве космических аппаратов и головных частей, а также для управления вектором тяги ракетного двигателя на верхних ступенях ракет широко применяются сопловые управляющие блоки, имеющие переменное критическое сечение. В таких блоках критическое сечение в зависимости от программы работы перекрывается на заданную величину заслонкой или ротором. При частичном перекрытии минимального сечения соплового блока нарушается как симметрия сопла, так и течения в нем, возникают отраженные скачки уплотнения и волны разряжения вниз по потоку.

Так как величина перекрытия критического сечения происходит в соответствии с программой его работы и протекает во времени, то соответствующим

образом по времени меняется и характер течения по соплу, увеличивается или уменьшается величина отрывных зон, меняется местоположение скачков уплотнения и волн разрежения. В результате этого в зависимости от степени открытия критического сечения меняется не только величина модуля силы тяги, но и направление и точка приложения вектора тяги [1].

Для реальных управляющих сопловых блоков (рис. 1) тракт подачи рабочего тела в выхлопной рас-труб представляет собой криволинейный канал, по которому движется горячий газ. С учетом явлений, сопровождающих разворот потока на входе в этот канал и на выходе из него, возможны проявления возмущающих силовых воздействий, ранее не учитываемых, но фиксируемых измерительной аппара-

© Кузнецов Н. П., Юртиков Р. А., 2012

Получено 25.07.12

\* Статья написана в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.