

The operation of face seals of hydraulic machine shafts is characterized by the friction mode of its main element – a friction pair of two contact rings, lubrication of which is carried out by the pumping medium which often does not meet the operating requirements for friction joints.

Hydrogen sulphide and mercaptans, both possessing acid properties, as well as elementary sulphur are known to form a group of active sulphur-containing compounds, which cause a most pronounced corrosion of machines and pipelines. Corrosion, resulting from the aggressive pumping medium, is known to primarily destroy the matrix binder, which makes the choice of its composition very important. The researches we have carried out make it possible to propose the following mixture for the solid phase: tungsten carbide WC + W₂C of 0,18-0,25 mkm graininess (70% in the mix) and the powder of hard alloy BK6 of 4-10 mkm graininess (30% in the mix); and 90% Cu + 10% Ni alloy as a binding phase, which ensures high tribotechnical characteristics, as well as heat abstraction and corrosion resistance.

УДК 621.91-529:62-19

Горбунов В.П., Григорьев В.Ф., Рудюк А.Н.

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ МНОГОЦЕЛЕВОГО СТАНКА С ЧПУ

Введение. При обработке прецизионных корпусных деталей на многоцелевых станках существенную долю в балансе погрешностей занимают погрешности, вызываемые тепловыми деформациями несущей системы, приводящие к изменению относительного положения заготовки и инструмента. Данные изменения обуславливают искажение исходной траектории движения рабочего органа, что важно при контурной обработке, а также изменение точности координатных установочных перемещений при позиционной обработке. Происходит снижение параметров качества обрабатываемых деталей, как точность линейных и угловых размеров, точность взаимного расположения поверхностей и осей, точность формы и др., что значительно сокращает резерв точности технологической системы.

Следует учитывать, что тепловые деформации и обусловленные ими повреждения не ограничиваются только деформационными перемещениями узлов и деталей станка. С изменением температуры изменяется, например, вязкость масла – рабочей жидкости гидропривода, который обеспечивает формообразующие движения в станке, что приводит к нарушению точности позиционирования, скорости перемещений, снижению виброустойчивости. Теоретически предсказать все тепловые повреждения и рассчитать нарушения точности от их суммарного влияния – задача трудновыполнимая. Это объясняется особенностями теплообмена между деталями сложной конфигурации, нестабильностью мощности тепловыделения различных одновременно действующих тепловых источников, разнообразием условий эксплуатации станка, параметров обрабатываемых деталей, случайным характером процессов высокой и средней скорости, определяющих тепловой режим работы оборудования [3].

1. Постановка задачи. Исходя из условий формирования погрешностей обработки, элементы станка вследствие их влияния на возникновение тепловых деформаций можно разбить на две группы [4].

1. Группа механизмов, оказывающая существенное влияние на отклонения формы и расположения деталей. Как правило, это элементы, обладающие малой тепловой инерцией. Во время обработки механизм быстро нагревается и деформируется, во время перестановки детали он успевает остыть, но не возвращается в начальное состояние. К данной группе относится шпиндельный узел станка.
2. Группа элементов станка, которые имеют большую тепловую инерцию, медленно нагреваются, но и медленно охлаждаются. Оказывают влияние в основном на отклонение размера. Как правило, это механизмы, непрерывно работающие в станке (гидро-

станции), либо расположенные в массивных частях оборудования – станках (стойках). В станках это коробки скоростей и подачи.

Образование погрешностей обработки от механизмов первой группы связано с изменением взаимного положения детали и инструмента. К концу обработки первой заготовки они достигают определенного значения. За это же время от тепловых деформаций образуется отклонение формы. Однако процесс тепловых деформаций обратим и за то время, пока производится перестановка следующей обрабатываемой заготовки, система частично остывает, но остаются погрешности. Это есть погрешность размера для второй детали. На станке после установки новой заготовки вновь начинают обработку. Отклонение расположения (например, параллельность или перпендикулярность оси отверстия к базовой плоскости корпусной детали) для второй детали будет увеличиваться, а отклонение формы (например, отклонение от цилиндричности поверхности отверстия) останется неизменным. В ходе непрерывного циклического процесса нагрев - охлаждение увеличение погрешностей будет продолжаться до стабилизации температуры нагрева рассматриваемого узла станка.

Влияние второй группы элементов станка имеет меньшую интенсивность, и за время обработки одной детали не оказывают существенного значения на отклонение формы и расположения, однако на отклонение размера (например, позиционное отклонение) она все же оказывает определенное влияние. Зависимость изменения взаимного положения формообразующих узлов от времени, как показывают эксперименты [1], носит экспоненциальный характер. Перерывы в работе станка не вызывают заметного изменения ее формы.

Суммарные тепловые деформации в прецизионных станках являются одной из главных причин отклонения действительной траектории формообразующего движения от заданной. Компенсация их в реальном масштабе времени требует непрерывного учета тепловой ошибки в процессе обработки деталей. В равной степени это также относится к точности позиционной обработки, когда формирование размера определяется точностью координатных установочных перемещений рабочих органов станка с ЧПУ в запрограммированное положение.

Тепловые деформации (перемещения) формообразующих элементов станка можно измерить, когда это доступно, прямыми методами с помощью датчиков перемещения. Однако это не всегда возможно в процессе эксплуатации станка. В случае невозможности произвести непрерывное измерение прямыми методами, вследствие отсутствия доступа к повреждениям во время работы, применяют косвенные методы. Так, косвенным диагностическим признаком

Горбунов Виктор Петрович, к.т.н., доцент кафедры машиноведения Брестского государственного технического университета.

Григорьев Владимир Федорович, к.т.н., доцент кафедры машиноведения Брестского государственного технического университета.

Рудюк Александр Николаевич, магистрант кафедры машиноведения Брестского государственного технического университета.
Беларусь, БрГТУ, 224023, г. Брест, ул. Московская, 267.

тепловых деформаций может служить максимальная температура температурного поля контролируемого узла станка. В связи с тепловой инерционностью станочных систем для выявления опасной зоны с максимальным нагревом температурное поле должно наблюдаться в течение длительного времени эксплуатации. Воспроизводится поле с помощью термопар, терморезисторов, а в последнее время в металлообработке находят применение тепловизоры.

Тепловые деформации, вызывающие в станке позиционные ошибки расположения оси режущего инструмента, в основном обусловлены смещением оси шпинделя под влиянием нагрева подшипников, стенок корпуса, несущих опоры шпинделя, отклонением от вертикального положения стойки, деформацией ходовых винтов и др. Кроме того, тепловые деформации формируются и за счет изменения зазоров в стыках, что изменяют статическую жесткость, динамическую податливость и в конечном итоге, виброустойчивость станка [4]. Все это приводит к нарушению точности обработки и качества поверхности.

Контроль фактического положения рабочего органа (траектории его движения или позиционного координатного перемещения), фиксация его от начала до конца работы осуществляется эксплуатационной системой диагностирования. Диагностирование позволяет распознавать текущее состояние станка, планировать методы компенсации, управления и технического обслуживания станка, прогнозировать наступление предельного состояния. Основная задача, решаемая с помощью системы диагностирования – получение при обработке на станке с ЧПУ прецизионных деталей требуемого качества и предотвращение брака.

2. Методика испытаний. Предложенная система диагностирования тепловых деформаций была апробирована на примере многоцелевого станка с ЧПУ модели MC 12-250 класса точности В с горизонтальным шпиндельным ползуном, и включала в себя следующий порядок реализации:

1. В результате теоретических и предварительных экспериментальных исследований было выявлено, что тепловые деформации базовых узлов станка основное влияние оказывают на точность координатных перемещений [1]. Установлено, что тепловые смещения шпинделя и его деформации наиболее существенно влияют на параметры точности обработки (точность межосевых расстояний при обработке корпусных деталей) в плоскости стола станка XOY. При этом подтверждено предположение о термосимметричности конструкции станка относительно сечения в плоскости YOZ. Таким образом, измерения параметра расположения оси шпинделя необходимо осуществлять вдоль оси координат Y, как лимитирующего в балансе погрешности станка. Все замеры осуществлялись с помощью измерительного комплекса «Сигнал – 1», который позволяет производить регистрацию смещений бесконтактными индуктивными преобразователями, а непрерывное фиксирование температуры в точках измерения терморезисторами. Проведенные исследования показали, что в случае изменения положения подвижных тепловыделяющих механизмов (в нашем случае ползуна) происходит изменение закона смещения оси шпинделя, в нашем случае от классического экспоненциального ($Z_2=50$ мм; $Z_3=100$ мм), до знакопеременного ($Z_1=0$ мм). Схема получения и обработки диагностических сигналов шпиндельного узла представлена на рисунке 1.
2. Установлены диагностические признаки состояния шпинделя. Косвенным диагностическим признаком тепловых деформаций является температура. Определены параметры теплового поля шпинделя, на котором обнаруживается точка максимальной температуры Θ_{max} (рис. 1). Экспериментальные исследования проводились при наиболее характерных частотах вращения шпинделя (500...2000 мин⁻¹). Для проверки возможности изменения точки максимальной температуры за время работы t (время межналадочного периода), вследствие тепловой инерционности, строится график для контролируемых точек шпинделя

$\Theta = f(t)$. При длительном времени обработки детали доминирующее влияние на погрешность смещения оси шпинделя оказывают деформации стойки станка, где проявляется большее влияние узлов второй группы. Поэтому в качестве диагностического сигнала при изготовлении деталей с длительным циклом обработки можно принимать разность температур передней и задней стенок стойки ($\Theta_n - \Theta_3$).

3. Построена диагностическая модель, устанавливающая связь между выходным параметром Y – расстоянием от базовой поверхности стола станка до оси шпинделя (инструмента) и Θ_{max} либо $\Theta_n - \Theta_3$. Для этого строится зависимость $Y = f(t)$. С помощью функций $Y = f(t)$ и $\Theta_{max} = f(t)$ получаем диагностическую модель, описываемую функцией $Y = f(\Theta_{max})$, с помощью которой определяем допустимое значение $[\Theta_{max}]$ по лимитирующему размеру вдоль координатной оси Y (рис. 1).
4. Составлен технологический алгоритм диагностирования и разработана программная реализация алгоритма. Используя методику программного испытания [4] можно осуществлять тестовую диагностику в предэксплуатационный период состояния станка.

3. Результаты исследований и их обсуждение. Технологический алгоритм тепловой диагностики шпинделя и стойки предусматривает управление тепловыми деформациями после того, как текущие значения Θ_{max} или $(\Theta_n - \Theta_3)$ превысят соответствующие допустимые значения $[\Theta_{max}]$ и $[\Theta_n - \Theta_3]$. В первом случае увеличение Θ_{max} до уровня $\Theta_{max} > [\Theta_{max}]$ произойдет в результате перегрева передней опоры шпинделя, что подтверждается графиком изменения температуры точки 4 (в приращениях на рисунке 1). Возможное решение на снижение частоты его вращения n уменьшит мощность теплового источника и снизит Θ_{max} . Если такое решение принимается, то подается команда системой управления на уменьшение n . Но при этом снижается скорость резания, и, как следствие, производительность обработки. Поэтому можно применить иные методы регулирования теплового режима работы опор шпинделя, например, охлаждать смазку, подаваемую в подшипники. Однако данное решение требует конструктивных изменений в гидростанции станка.

Если на шпиндельном узле находится точка, где наблюдается наиболее полное соответствие изменения температуры и величины смещения шпинделя, то такая точка называется характерной. Она находится путем анализа температурных полей станка, измеренных при различных режимах его работы. Установленные в характерных точках термопреобразователи посылают сигналы через схему компенсации в сравнивающее устройство системы ЧПУ для корректирования величины перемещения рабочего стола станка через подготовительные функции коррекции инструмента G41...44, либо смещения нулевой точки детали относительно исходной точки станка – функции G54...59.

Во втором случае, когда фиксируется недопустимое отклонение стойки от вертикального положения при $(\Theta_n - \Theta_3)_{тек} > [\Theta_n - \Theta_3]$, можно компенсировать погрешность уменьшением разности температур передней, более нагретой, и задней стенок. Как показали эксперименты, температура по высоте стойки намного выше в верхней части по сравнению с нижней. Это ведет к наклону колонны и соответственно угловому смещению оси шпинделя в плоскости YOZ. Для уменьшения данного влияния можно предусмотреть устройство охлаждения передней или нагрева задней стенок. Соответствующая команда подается в систему управления. Возможно введение коррекции смещением нулевой точки детали. Для поддержания благоприятного теплового режима работы станка, обеспечивающего возможность достижения необходимой точности обработки, применяют и другие способы автоматического регулирования, которые находят отражение в алгоритмах диагностирования.

Результаты диагностирования можно использовать для прогнозирования параметрической надежности рассматриваемого станка.

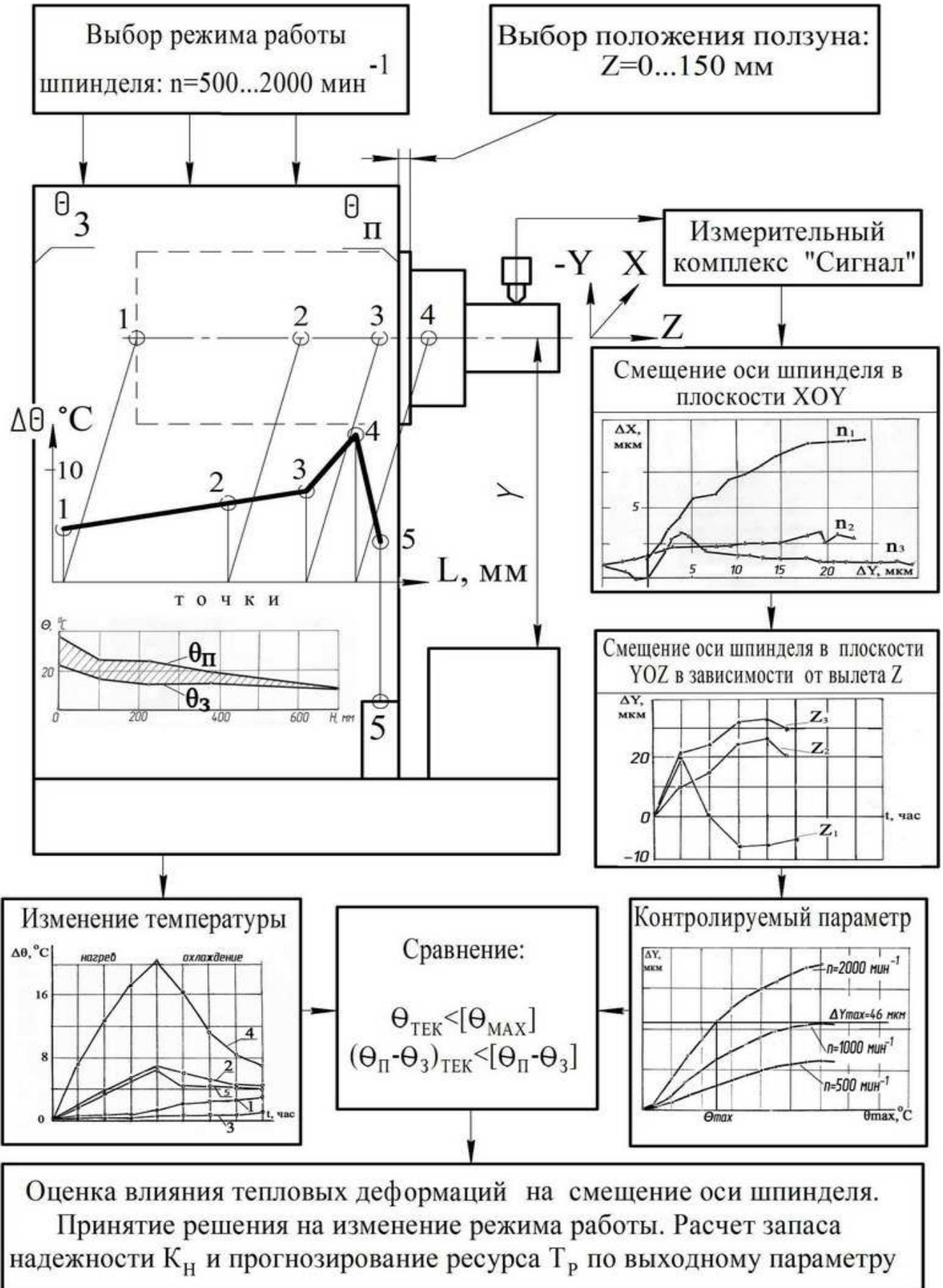


Рис. 1. Схема получения и обработки диагностических сигналов шпиндельного узла многоцелевого станка модели MC 12-250

Расчет значений запаса надежности [2] при обработке прецизионных деталей по критерию ΔY - погрешности выходного параметра лимитирующего размера вдоль координаты Y , которая определяется как разность между текущим перемещением рабочего органа $Y_{тек}$ и запрограммированным $Y_{прог}$ показывает максимально допустимое значение $\Delta Y_{max} = 46$ мкм. Это соответствует IT7 исходя из класса точности станка и максимального перемещения вдоль координаты Y , равного 250 мм, и возможно при стабилизации теплового поля станка. Расчет производился без учета изменения погрешности позиционирования под влиянием тепловых повреждений в системе привода подачи стол-салазки станка, при частоте вращения шпинделя $n = 500; 1000; 2000$ мин⁻¹ (рис. 1). В этом случае коэффициент надежности [2] для данного параметра при частоте вращения равной 1000 мин⁻¹ $K_n = 1,43$ мкм, а вероятность безотказной работы по выходному параметру $P(t) \rightarrow 0$. За межлагодочный период запас надежности уменьшится до $K_n = 1,06$ мкм., а резерв многоцелевого станка по выходному параметру δ_T , который в начале межлагодочного периода составлял 20 мкм, снизится до 3 мкм.

Если же брать максимальный режим обработки, то при частоте вращения шпинделя $n = 2000$ мин⁻¹ и вылете инструмента по оси $Z=185$ мм время достижения точки максимальной температуры $[Q_{max}]$ по сравнению с предыдущим временем снизится более чем в два раза и для поддержания работоспособного состояния потребуется соответствующая компенсация.

Заключение. На основании изложенного можно сделать следующее заключение:

1. При эксплуатации многоцелевого станка с ЧПУ его параметрическая надежность может быть обеспечена за счет контроля выходного параметра ΔY и управления наиболее значимым для изменения ΔY технологическими факторами.
2. Варьируя составляющими величинами погрешности ΔY можно устанавливать степень влияния на параметрическую надежность и определять конструкторские пути ее увеличения.
3. Снижение тепловых деформаций позволяет создавать резерв точности по выходному параметру прецизионного станка для компенсации медленно протекающих процессов, в первую очередь износа.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Горбунов В.П., Григорьев В.Ф. Исследование влияния теплового режима на точность многоцелевого станка с ЧПУ // Новые технологии в машиностроении и вычислительной технике: труды X научно-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов. / Брест. политехн. ин-т. – Брест, БПИ, 1998. – Ч. I. – С. 12-17.
2. Горбунов В.П., Григорьев В.Ф. Оценка технологической надежности многоцелевого станка по параметру точности координатных перемещений. // Вестник Брестского государственного технического университета. – Брест, 2000. - № 4(4): Машиностроение, автоматизация, ЭВМ. – С. 8-11.
3. Надежность и диагностика технологических систем: Учебник. / В.А.Синопальников, С.Н.Григорьев. – М.: Высш. шк., 2005. – 343 с.
4. Точность и надежность станков с числовым программным управлением. /Под ред. А.С.Проникова. – М.: машиностроение, 1982. – 256 с.

Материал поступил в редакцию 02.10.08

HARBUNOU V., HRYHORIEU U., RUDIYOUK F. DIAGNOSING OF THERMAL DEFORMATIONS OF THE MULTI-PURPOSE MACHINE TOOL WITH CNC

Conditions of formation of an error of processing due to occurrence of thermal deformations are considered. The analysis of errors of form-building movements is given: trajectories of moving and coordinate adjusting movements. The system of operational diagnostics of thermal deformations on an example of the multi-purpose machine tool with CNC is offered to model MC 12-250.

The scheme of reception and processing of diagnostic signals шпиндельного unit of the machine tool is given. Parameters of a thermal field of a spindle, where a characteristic point, respective alterations of temperature to size of displacement of an axis of a spindle are certain. Experimental researches have shown change of the law of displacement of an axis of a spindle from size of a start ползуна the machine tool. Ways of indemnification of an error are offered.

Forecasting of change of target parameter allows to prevent inadmissible thermal deformations and to create a reserve of accuracy on target parameter of the multi-purpose machine tool.

УДК 519.64

Веремейчик А.И., Хвусевич В.М.

МЕТОД ГРАНИЧНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В НЕСТАЦИОНАРНЫХ ТЕРМОУПРУГИХ ЗАДАЧАХ МЕХАНИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Введение. Потребности современного машиностроения во многих случаях требуют исследования напряженно-деформированного состояния конструкций, которые подвергаются воздействию механических нагрузок и изменяющихся во времени температур. Вопрос о нестационарных тепловых воздействиях на конструктивные элементы актуален еще и потому, что механизмы эксплуатируются в условиях неравномерного нагрева, который вызывает значительные температурные напряжения и в сочетании с напряжениями, вызванными действием физической природы, часто становится причиной частичного или полного вывода конструкций из строя. Сложность форм применяемых конструкций и их отдельных элементов наряду со сложным характером упомянутых воздействий требуют разработки новых средств и методов расчета на прочность для получения данных об их поведении при эксплуатации еще на этапе проектирования. Все это требует развития исследований нестационарных задач термоупругости, связанных со строгим удовлетворением граничных условий по всей границе области при произвольном распределении в ней температуры.

1. Постановка задачи. Методика исследований. Решение задачи нестационарной термоупругости методом граничных интегральных уравнений (ГИУ) проводится в 2 этапа. На первом этапе рассматривается задача теплопроводности, которая заключается в решении дифференциального уравнения (ДУ) теплопроводности при соответствующих краевых условиях. Для несвязанных задач ДУ теплопроводности можно представить в виде:

$$\nabla^2 T = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (1)$$

где a - коэффициент температуропроводности.

Для решения задачи теплопроводности при соответствующих краевых условиях удобно использовать метод тепловых потенциалов. Решение разыскивается в виде потенциалов простого (2) или двойного слоя (3) [3], которые вне точек поверхности, по которой проводится интегрирование, являются решениями уравнения теплопроводности (1):