

- расчеты с учетом сил трения, т.к. потери сил могут значительно превысить значение $k_0 = 1,5$.
- В силовом расчете звеньев с шарнирами с учетом сил трения следует использовать систему трех уравнений (4), приводящую к решению в виде одного из корней квадратного уравнения.
 - Предложены новые формулы (9) и (10) для определения силы привода P , при известной силе закрепления W , Г-образным прихватом и формулы (13) и (14) для определения силы закрепления W , при известной силе привода P , для замены старых (7) и (8).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Справочник металлиста. Т.4. Под редакцией С.А. Чернавского. - М.: Машгиз, 1959. - 778с.
- Уткин Н.Ф. Приспособления для механической обработки. - Л.: Лениздат, 1969. - 299с.
- Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах. Изд. 3 переработанное. Т.2 Под ред. А.Н.Малова. - М.: Машиностроение, 1972. - 568с.

- Болотин Х.Л., Костромин Ф.П. Станочные приспособления. Изд. 5-е перераб. и доп. - М.: Машиностроение. 1973-344с.
- Горошкин А.К. Приспособления для металлорежущих станков: Справочник. - 7-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение. 1979-303с.
- Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений: Учебник для вузов. - 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Машиностроение. 1983-277с.
- Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение. 1986-496с.
- Станочные приспособления: Справочник. В 2-х т. / Ред. совет: Б.Н. Вардашкин (пред.) и др. - М.: Машиностроение, 1984.-Т.1 / Под ред. Б.Н. Вардашкина. А.А. Шатилова, 1984-592с.
- Горохов В.А. Проектирование технологической оснастки. Учебник для машиностроительных специальностей высш. учебных заведений. - Мн.: Бервита, 1997 - 344с.
- Технологическая оснастка: Учебник для студентов машиностроит. специальностей вузов / М.Ф. Пашкевич, Ж.А. Мрочек, Л.М. Кожуро, В.М. Пашкевич. - Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2002. - 320с.: ил.

УДК 621.9, 658.512.011.56

Акулич А.П., Щербаков С.А., Мурашко В.С.

ПЕРСПЕКТИВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ РАСЧЕТА СУММАРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ

Введение. Автоматизированный расчет суммарной погрешности обработки является одним из направлений автоматизации труда инженера-технолога. Вычислить суммарную погрешность обработки довольно сложно. Это объясняется недостаточным количеством данных по элементарным погрешностям обработки, отсутствием четких методик по их определению в справочной литературе. Поэтому технологу в некоторых случаях приходится самостоятельно разрабатывать план расчета, анализировать результаты теоретических и экспериментальных исследований, чтобы сделать достоверный прогноз точности размеров и расположения обрабатываемых поверхностей в разрабатываемом технологическом процессе при принятых или заданных условиях обработки.

В предыдущих работах [1, 2, 3], была обоснована необходимость формализации подходов и синтеза методики определения суммарной погрешности обработке на основе известных разработок этой проблемы с последующим созданием системы автоматизированного расчета в виде проблемной программы обучающего типа. Это позволит сократить трудоемкость расчетов, уменьшить вероятность внесения субъективных ошибок и расширить область применения методики.

В [2] была заявлена позиция, что с точки зрения автоматизации расчетов более предпочтительным является названный в [4] статистический подход, который и следует положить в основу методики автоматизированного определения суммарной погрешности обработки, т.е. в качестве полной математической модели для проектных расчетов предлагалось принять формулу:

$$\Delta_{\Sigma} = 1,2 \cdot \sqrt{(6 \cdot \sigma)^2 + \varepsilon^2 + \Delta_H^2 + \Delta_{II} + \Sigma \Delta_T + \Sigma \Delta_{\Phi}} \quad (1)$$

где Δ_{Σ} - суммарная погрешность обработки;

1,2 - коэффициент, соответствующий закону Симпсона;

$6 \cdot \sigma$ - предельный разброс фактических размеров при обработке (σ - среднее квадратичное отклонение генеральной совокупности фактических размеров от математического ожидания);

ε - погрешность установки при обработке;

Δ_H - погрешность настройки;

Δ_{II} - переменная систематическая погрешность, вызываемая износом режущего инструмента;

$\Sigma \Delta_T$ - погрешности, вызываемые тепловыми деформациями технологической системы;

$\Sigma \Delta_{\Phi}$ - погрешности формы, вызываемые геометрическими неточностями станка и деформациями заготовки при ее обработке.

Принципиальное различие этой формулы от известной формулы для названного в [4] расчетно-аналитическим подхода определения Δ_{Σ} в том, что в формуле (1) предельный разброс фактических размеров зависит от большего числа случайных погрешностей, в состав которых включены и погрешности, обусловленные упругими деформациями технологической системы и геометрическими погрешностями станка. А в расчетно-аналитическом эти погрешности рассчитываются для включения тем или иным способом суммирования в Δ_{Σ} . Но как при одном, так и при другом походе имеются существенные трудности для чисто теоретического (расчетного) определения суммарной погрешности обработки.

Создание автоматизированной системы расчета суммарной погрешности диктуется потребностями не только учебного процесса, но и практических расчетов при разработке диа-

Акулич Антон Павлович, к.т.н., доцент кафедры «Технология машиностроения», декан электронно-механического факультета Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Мурашко Валентина Семеновна, старший преподаватель кафедры "Технология машиностроения" Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого.

Беларусь, ГГТУ им. П.О. Сухого, 246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.

грамм достижения требуемого качества деталей при обработке операций механической обработки [5], и расчетов точности при проектировании технологической оснастки. На этапе проектирования технологического процесса теоретические диаграммы точности обработки позволяют прогнозировать продолжительность обработки заготовок в пределах расчетного поля допуска, предназначенного для компенсации возникающих погрешностей. Они позволяют организовать рациональное управление обработкой: выбрать заготовки, оборудование; вводить своевременные поднастройки, замену инструмента. Прогнозные значения Δ_{Σ} позволяют определять допустимые погрешности приспособлений станочных и контрольных. А по ним определять допуски деталей этих приспособлений, чтобы фактические значения погрешностей приспособлений не превысили допустимых значений.

Если ограничиться только двумя задачами: определение допуска для компенсации погрешностей, и допустимой погрешности приспособления, то автоматизация расчета Δ_{Σ} нужна для нахождения прогнозного значения суммарной погрешности обработки с последующим выделением из допуска обработки определенной части для решения упомянутых задач.

Постановка задачи. Для автоматизации определения суммарной погрешности обработки необходимо прежде всего наметить конечные результаты расчетов, проанализировать возможность формализации этой задачи, выделить «узкие места», в которых нельзя производить формальные расчетные процедуры, наметить пути преодоления возникающих трудностей. Кроме этого важно определиться с функциями, языком программирования для автоматизированной системы, с составом и квалификацией пользователей программного средства для правильного создания удобной среды, позволяющей получить не только искомый результат расчетов, но, при необходимости, выдавать и обучающую информацию.

Анализ математической модели расчета суммарной погрешности обработки.

В формуле (1) первая составляющая (6σ), представляющая предельный разброс выдерживаемого параметра (фактических размеров или фактических отклонений расположения обрабатываемых поверхностей) при обработке, является наиболее сложной для формального расчета. Потому что она выражает влияние многих случайных величин: неравномерность припуска и твердости заготовок; случайного положения погрешностей форм заготовки и исполнительных поверхностей оборудования, оснастки или рабочего места, используемых для определения положения обрабатываемого предмета; случайное положение точек контакта с измерительными средствами; случайная и переменная жесткость системы СПИД; изменения направления и величины сил и т.д. Обработка на несколько настроенных станках многократно увеличивает состав случайных погрешностей, вызывающих разброс выдерживаемого параметра, так как здесь в качестве случайных проявляются погрешности вызываемые разной точностью, жесткостью, температурными деформациями станков и т.п. Поэтому для определения предельного разброса (6σ) можно воспользоваться статистическими исследованиями на основе выборок, либо воспользоваться результатами подобных исследований, например, представленных таблицами в [6].

Выборочная оценка σ' среднего квадратичного отклонения σ определяется по формуле:

$$\sigma' = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (R_i - R_{cp}')^2}{m}}, \quad (2)$$

где R_i - фактическое значение параметра при обработке;

R_{cp}' - оценка математического ожидания параметра обработки;

$$R_{cp}' = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m}, \quad (3)$$

где m – объем выборки для определения σ и R_{cp}' .

Погрешность установки заготовки при обработке в общем случае определяется векторной суммой по формуле:

$$\bar{\epsilon} = \bar{\epsilon}_{\delta} + \bar{\epsilon}_z + \bar{\epsilon}_{np}, \quad (4)$$

где $\bar{\epsilon}_{\delta}$ - погрешность базирования;

$\bar{\epsilon}_z$ - погрешность закрепления;

$\bar{\epsilon}_{np}$ - погрешность приспособления.

Варианты формулы (4) для суммирования векторов $\bar{\epsilon}_{\delta}$, $\bar{\epsilon}_z$, $\bar{\epsilon}_{np}$ будут зависеть от схемы установки и различаться как составом, так и видом суммирования. Поэтому для определения погрешности установки требуется не только расчетные, но и логические и информационно-поисковые процедуры, требующие высокой квалификации пользователя, способного разбираться со схемой базирования и возникающей погрешностью базирования $\bar{\epsilon}_{\delta}$; схемой закрепления, возникающими деформациями в технологической системе СПИД и зависящей от них погрешностью закрепления $\bar{\epsilon}_z$; конструкцией приспособления и связанной с ней погрешностью $\bar{\epsilon}_{np}$. Формальное определение каждой из перечисленных погрешностей $\bar{\epsilon}_{\delta}$, $\bar{\epsilon}_z$, $\bar{\epsilon}_{np}$ не позволяет получить правильный ответ в различных вариантах задачи определения погрешностей установки. Поэтому программный блок, предназначенный для определения ϵ , потребует привлечения экспертных оценок для пользователя недостаточной квалификации или создания системного (программного) блока с процедурными возможностями искусственного интеллекта.

Погрешность настройки (Δ_n), определяемая по формулам:

- при динамической настройке

$$\Delta_n = \sqrt{\epsilon_{cm}^2 + \epsilon_{pez}^2 + \epsilon_{izm}^2}, \quad (5)$$

где ϵ_{cm} - смещение центра группирования размеров пробных деталей относительно середины поля рассеяния размеров;

ϵ_{pez} - погрешность регулирования положения режущего инструмента;

ϵ_{izm} - погрешность измерения пробных деталей;

- при статической настройке

$$\Delta_n = \sqrt{\epsilon_{zm}^2 + \epsilon_{uc}^2 + \epsilon_{y.u.}^2}, \quad (6)$$

где ϵ_{zm} - погрешность изготовления и установки эталона или установка на станке;

ϵ_{uc} - погрешность изготовления шупа;

$\epsilon_{y.u.}$ - погрешность установки инструмента по эталону или по шупу;

- при использовании мерного режущего инструмента

$$\Delta_n = \sqrt{\epsilon_{um}^2 + \epsilon_{y.m.u.}^2}, \quad (7)$$

где $\epsilon_{ин}$ - погрешность изготовления инструмента (допуск на изготовление по исполнительному размеру);

$\epsilon_{у.м.и.}$ - погрешность установки мерного режущего инструмента (допустимое биение).

Переменную систематическую погрешность (Δ_u), вызываемую износом режущего инструмента рассчитывают по формулам:

- для несимметричной обработки

$$\Delta_u = \frac{u_o \cdot l}{1000}, \quad (8)$$

- для симметричной обработки

$$\Delta_u = \frac{2 \cdot u_o \cdot l}{1000}, \quad (9)$$

где u_o – относительный износ инструмента;

l – путь резания.

Погрешности, вызываемые тепловыми деформациями технологической системы ($\sum \Delta_T$), обычно имеют знак, противоположный погрешностям, обусловленным износом инструмента, и в период тепловых деформаций способны уменьшить влияние износа инструмента.

Полную погрешность обработки, связанную с температурными деформациями, определить затруднительно, поэтому для операций окончательной обработки в [7] рекомендуется приблизительно принимать

$$\sum \Delta_T = (0,1 \div 0,4) \Delta_{\Sigma}. \quad (10)$$

Погрешности формы $\sum \Delta_{\phi}$, вызываются геометрическими неточностями станка и деформациями заготовки при ее закреплении и могут быть рассчитаны для определенного сечения обрабатываемой поверхности по формулам сопротивления материалов с учетом конкретной схемы силового воздействия в технологической системе.

Однако расчетное определение $\sum \Delta_T$ и $\sum \Delta_{\phi}$ требует привлечения большого количества данных поиска и выбора методик расчетов, составления расчетных схем. Автоматизация этой части расчетов потребует усилий, объем которых может заставить отказаться от расчетного решения в пользу экспериментального, что чаще всего и происходит на практике при решении всех упомянутых задач.

Выбор инструментальных средств для автоматизации расчетов. Исследование математической модели расчета суммарной погрешности обработки выявило трудную формализуемость этой задачи на отдельных этапах проведения расчета, т.е. необходимость привлечения экспертных оценок, поиска, выбора, расчетов промежуточной информации, требующих от разработчиков автоматизированной системы затрат несоизмеримо более весомых, чем ожидаемая польза от конечных результатов. То есть, можно сказать, что хорошее решение для этой задачи слишком дорогая вещь. Поэтому в настоящее время следует принять компромиссное решение, учитывающее не только точность прогноза и удобство пользования автоматизированной системой, но и затраты при автоматизации. Такое компромиссное решение может быть реализовано по известной методике в [6], для расчета суммарной погрешности выдерживаемых размеров при токарной, сверлильно-расточной, шлифовальной, фрезерной, протяжной обработках, и последующим ее расширением для строгальных, долбежных, зубообрабатывающих, резьбообрабатывающих, отрезных и прочих.

Бурное развитие информационных технологий в настоящее время позволяет автоматизировать эту методику на уровне недоступном в период ее создания. При этом возможно не только быстро и качественно производить расчет, но и создавать удобную и обучающую среду, адаптируемую под

уровень квалификации пользователя, начиная с начального, когда медленно и подробно происходит знакомство с методикой, функциями системы промежуточными данными.

Проанализировав требования к автоматизированной системе и ее функции, наиболее подходящим методом ее разработки представляется метод объектно-ориентированного программирования.

Программный продукт, созданный с помощью инструментальных средств объектно-ориентированного программирования, содержит объекты с их характерными свойствами, для которых разработан графический интерфейс пользователя. Как правило, работа с программным продуктом осуществляется с помощью экранной формы, с объектами управления, которые содержат методы обработки, вызываемые при наступлении определенных событий. Экранные формы также используются для выполнения заданий и перехода от одного компонента программного продукта к другому. Каждый объект управления обладает определенными свойствами, значения которых могут изменяться. Для объектов управления уточняется перечень событий и создаются пользовательские методы обработки – программный код на языке программирования в виде событийных процедур.

В качестве инструментального средства для автоматизации расчета суммарной погрешности обработки в настоящее время рационально выбрать систему программирования Delphi [8, 9].

Это обусловлено тем, что Delphi представляет собой систему визуального объектно-ориентированного программирования. Как любая подобная система, Delphi предназначена для разработки программ. Создаваемые с ее помощью программы могут работать не только под управлением Windows. Сама она относится к классу инструментальных средств ускоренной разработки программ (Rapid Application Development, RAD). Ускорение разработки программ достигается за счет двух характерных свойств Delphi: визуального конструирования форм и широкого использования библиотеки визуальных компонентов (Visual Component Library, VCL).

Визуальное конструирование форм избавляет программиста от многих аспектов разработки интерфейса программы, так как Delphi автоматически готовит необходимые программные заготовки и соответствующий файл ресурсов. Программист использует специальное окно, которое называется окном формы, как прототип будущего окна программы и наполняет его компонентами, реализующими нужные интерфейсные свойства (разного рода списки, кнопки, полосы прокрутки и т.п.). После размещения на форме очередного компонента Delphi вставляет в связанный с формой модуль ссылку на компонент и корректирует специальный файл описания формы с расширением .dfm, который после компиляции преобразуется в ресурсный файл Windows.

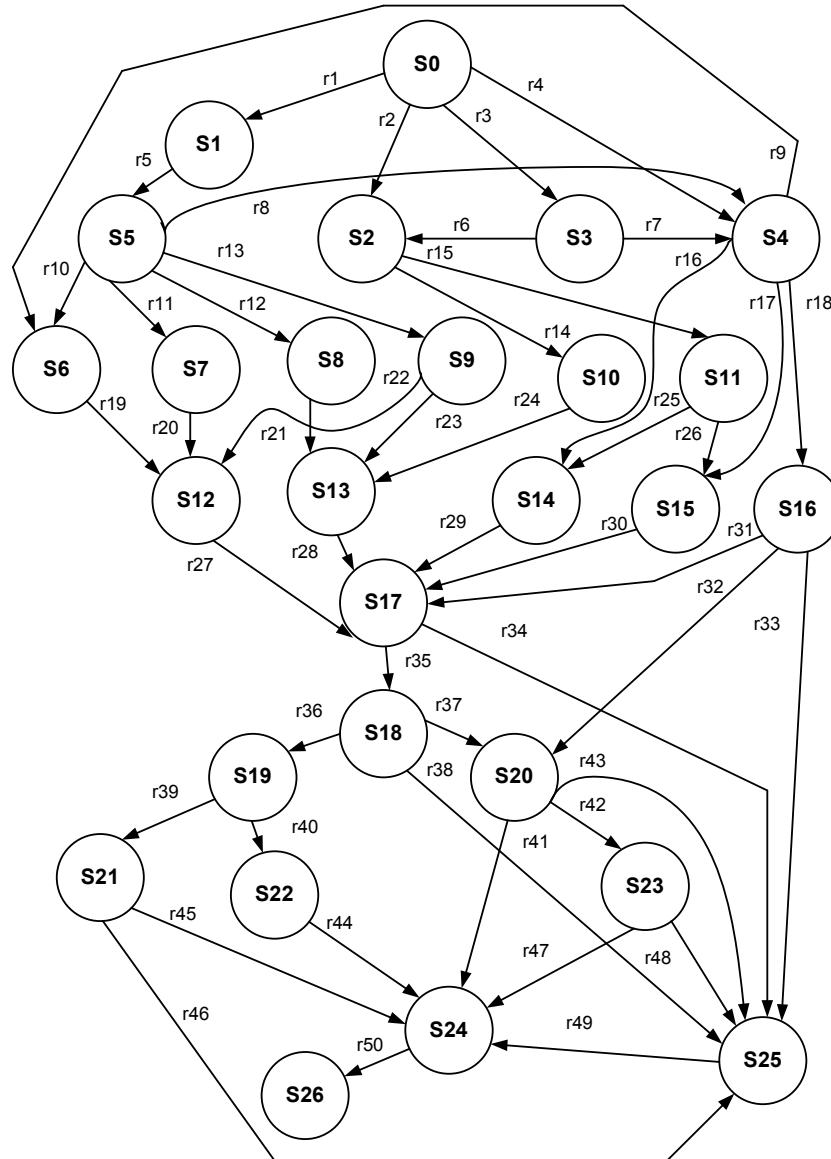
Система Delphi завоевала себе также репутацию одного из самых эффективных средств разработки приложений баз данных, то есть программ, обслуживающих электронные хранилища информации.

Пример автоматизации расчета суммарной погрешности обработки. В качестве примера автоматизации расчета суммарной погрешности разработана автоматизированная система расчета суммарной погрешности обработки (АРССПО «ЕХАСТ»). В ней реализована методика, изложенная в [6], для которой общей математической моделью расчета суммарной погрешности является формула

$$\bar{\Delta}_{\Sigma} = \bar{\Delta}_H + \bar{\Delta}_H + \bar{\Delta}_{Cn} + \bar{\epsilon} \quad (11)$$

где $\bar{\Delta}_{Cn}$ - поле рассеяния погрешности обработки, вызванное случайными факторами (неравномерность припуска, неодинаковая твердость материала заготовки, различная жесткость станков, погрешность формы).

Остальные составляющие формулы (11) такие же, как и в формуле (1).



S0 – Расчет суммарной погрешности обработки; S1 – Значение относительного (удельного) износа шлифовального круга; S2 – Значение относительного (удельного) износа инструмента при чистовом точении и фрезеровании; S3 – Данные о подачах и частотах вращения токарных станков; S4 – Значение допустимого размерного износа; S5 – Данные для выбора шлифовального круга; S6 – Данные для расчета круглого шлифования с продольной подачей; S7 – Данные для расчета плоского шлифования дисковым кругом; S8 – Данные для расчета бесцентрового шлифования с продольной подачей; S9 – Данные для расчета круглого и бесцентрового шлифования с поперечной подачей; S10 – Данные для расчета фрезерной обработки; S11 – Данные для расчета токарной обработки; S12 – Значение мгновенной погрешности обработки кругло- и плоскошлифовальным кругом; S13 – Значение мгновенной погрешности обработки на фрезерных и бесцентрово-шлифовальных станках; S14 – Значение мгновенной погрешности обработки на токарных и токарно-револьверных станках; S15 – Значение мгновенной погрешности обработки на агрегатно-расточных станках; S16 – Выбор измерительных инструментов; S17 – Погрешность регулирования инструмента; S18 – Предельные погрешности наиболее распространенных методов измерения длин; S19 – Погрешность установки инструмента; S20 – Точность изготовления мерного режущего инструмента для обработки отверстий (допуски на диаметр инструментов); S21 – Точность изготовления фрезерных установок и щупов для станочных приспособлений; S22 – Определение погрешности эталона; S23 – Погрешность установки мерного инструмента (допустимое биение); S24 – Данные для расчета погрешности установки; S25 – Средние допустимые погрешности настройки лезвийных инструментов; S26 – Вычисленная по исходным данным суммарная погрешность обработки.

Рис. 1. Ориентированный граф расчета суммарной погрешности обработки.

АРССПО «ЕХАСТ» в структурном плане представляет собой совокупность двух подсистем:

- подсистемы работы с базой данных «Погрешности»;
- подсистемы непосредственного расчета величины суммарной погрешности обработки.

Основными функциями первой подсистемы являются просмотр базы данных, изменение значений в базе данных, добавление новых данных и новых таблиц.

Основными функциями подсистемы расчета суммарной погрешности обработки являются поиск первичных погреш-

ностей и их суммирование векторное или алгебраическое, в зависимости от принадлежности их к случайным или систематическим.

Моделью, задающей возможные варианты расчета суммарной погрешности в АСРСПО «ЕХАСТ» является ориентированный граф (рис.1), вершины которого (S1 – S26) – события и выполняемые действия, дуги (r1 – r46) – реакции пользователя, определяющие последовательность расчета в каждом конкретном случае. Граф позволяет наглядно представить последовательность обработки в зависимости от вводимых пользователем параметров.

Выводы. Задача автоматизации расчета суммарной погрешности обработки относится к трудно формализуемой, требующей большого объема исследований. Наиболее удобным для автоматизации вариантом существующего методического обеспечения этой задачи является методика, изложенная в [6], а инструментальным средством – система визуального объектно-ориентированного программирования Delphi. Примером автоматизации расчета суммарной погрешности обработки является созданная на кафедре «Технология машиностроения» АСРСПО «ЕХАСТ», внедренная в учебный процесс и позволяющая проводить прогнозные расчеты в ходе курсового и дипломного проектирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Щербаков С.А., Кульгейко М.П. Анализ методик определения суммарной погрешности обработки с целью автоматизации расчетов // Сборник материалов МНТК «Со-

временные проблемы машиностроения».- Гомель, Т. 2, ГГТУ им. П.О. Сухого, 5-7 мая 2000, с. 100-103

2. Щербаков С.А., Кульгейко М.П. Методика определения суммарной погрешности обработки и автоматизация ее расчетов / Вестник БГТУ, № 4, 2000, с. 30-32
3. Щербаков С.А., Кульгейко М.П., Бельский А.Т. Методикам автоматизированного определения суммарной погрешности обработки //Сборник материалов МНТК, Могилев, ММИ, 2000, с. 179
4. Ящерицын П.И. Основы технологии механической обработки и сборки в машиностроении. – Мн.: «Вышэйшая школа», 1974. – 607с.
5. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения – М.: Машиностроение, 1969. – 358 с.
6. Дипломное проектирование по технологии машиностроения. Под общей ред. Бабука В.В. –Мн.: Вышэйшая школа, 1979. –464 с.
7. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1/Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. –656 с.
8. Мурашко В.С. Автоматизированный расчет суммарной погрешности обработки // Тезисы докладов V МНТК 1-2 мая Гомель, ГГТУ им. П.О. Сухого, 2004. – с.56
9. Мурашко В.С. Система визуального объектно-ориентированного программирования Delphi и расчет суммарной погрешности обработки // Сборник материалов РНМК, Минск 20 -21 мая, БНТУ, РИИТ, 2004. - с.138-140.

УДК 62-587.5

Басинюк В.Л., Драган А.В, Мардосевич Е.И., Басинюк Я.В., Усс И.Н.

АМПЛИТУДНЫЕ СПЕКТРЫ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ, ШУМА И ВИБРАЦИЙ

ВВЕДЕНИЕ

Амплитудные спектры колебаний зубчатых колес традиционно являются одним из основных источников диагностической информации, лежащей в основе оценки технического состояния зубчатых передач и прогнозируемого или остаточного ресурсов их работоспособности [1]. Поэтому оценка роли крутильных колебаний в амплитудных спектрах шума и вибраций представляет значительный практический интерес.

Необходимо отметить, что инерционная нагрузка зубчатой передачи, обусловленная крутильными колебаниями, возникающими вследствие наличия кинематической погрешности изготовления и сборки зубчатых передач, может проявляться в амплитудных спектрах вибраций и шума с частотой, которая соответствует оборотной и равна $f_{ок} = 0,5 \cdot \omega / \pi$.

Вместе с тем, создаваемая дополнительная нагруженность зубчатой передачи даже при отсутствии статического момента нагружения, в свою очередь вызывает крутильные колебания и вибрации с зубцовой частотой, связанной с периодическими изменениями жесткости зубчатого сопряжения по фазе зацепления [2]. При этом, в ряде случаев, в спектре крутильных колебаний могут присутствовать собственные высокочастотные колебания зубчатых колес с круговой частотой $\omega_{RR} (f_{RR} = 0,5 \cdot \omega_{RR} / \pi)$ и низко или средне частотные колебания с круговой частотой $\omega_{0P} (f_{0P} = 0,5 \cdot \omega_{0P} / \pi)$.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью исследований являлась оценка информативности и корреляции между собой амплитудных спектров кинематической погрешности, шума и вибраций с позиций возможности их использования для оценки качества изготовления и сборки зубчатых передач, функционирующих в условиях реальных скоростей вращения и нагружающих моментов.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования амплитудных спектров кинематической погрешности, шума и вибраций осуществлялось на стенде с разомкнутым силовым контуром с использованием двух вариантов прямозубых зубчатых передач, имеющих модуль $m = 2$ мм и числа зубьев $z_1 = 37$ и $z_2 = 72$ (при $\omega = 8$ рад/с, $T = 60$ Нм и $\omega = 50$ рад/с, $T = 100$ Нм и $\omega = 100$ рад/с) и модуль $m = 3$ мм и числа зубьев $z_1 = z_2 = 40$ (при $T = 100$ Нм и $\omega = 50$; 100; 150и 200 рад/с). При этом в реальном масштабе времени контролировались и регистрировались с использованием микропроцессорных средств углы рассогласования вращений входного и выходного валов, звуковое давление и виброускорения подшипниковых опор.

Обработка полученных данных осуществлялась с использованием специализированного программного обеспечения.

Басинюк Владимир Леонидович, к.т.н., доцент, зав. лаб. ИМИНМАШ НАН Беларуси, г. Минск.

Мардосевич Елена Ивановна, к.т.н., н.с. ИМИНМАШ НАН Беларуси, г. Минск.

Басинюк Ярослав Владимирович, к.т.н., ведущий инженер-программист ИП «Элам-системс», г. Минск.

Усс Иван Никодимович, начальник ГСКБ ПО «Минский тракторный завод», г. Минск.

Драган Александр Вячеславович, к.т.н., доцент каф. технологии машиностроения Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.