

Разработка математической модели системы «двигатель-регулятор»

При моделировании рабочего процесса землеройно-транспортной машины учёт рабочего процесса системы «двигатель-регулятор» имеет принципиальное значение.

Принцип действия всережимного центробежного регулятора заключается в том, что при вращении валика грузы действуют на рейку топливного насоса. При снижении нагрузки на двигатель и постоянной подаче топлива частота вращения коленвала возрастает. Грузы регулятора под воздействием центробежных сил расходятся и через систему рычагов перемещают топливную рейку в сторону уменьшения подачи топлива до тех пор, пока не наступит равновесие между усилием пружины и центробежной силой. При падении частоты вращения грузики сходятся, и рейка под действием пружины перемещается в сторону увеличения подачи топлива. Дизеля сельхозмашин, строительной и дорожной техники, как правило, работают с полной отдачей, поэтому за основной режим можно принять режим работы при полной подаче топлива q т. е. работу по внешней скоростной характеристике.

Наиболее простой способ описания активного момента на валу двигателя состоит в задании функциональной зависимости механической характеристики двигателя [1]

$$M_o(\omega_o, q) = M'_o(\omega) + k \cdot \Delta q, \quad (1)$$

где $M'_o(\omega)$ – активный момент двигателя при минимальной подаче топлива q_0 , соответствующей холостому ходу.

k – постоянная;

$\Delta q = q - q_0$ – приращение подачи топлива.

Приращение подачи топлива определяется перемещением муфты регулятора. Принимая во внимание, что регулятор, как правило, работает на уменьшение подачи топлива зависимость (1) примет вид [2]:

$$M_o(\omega_o, z_1) = M'_o(\omega) + M \cdot z_1 - k_o \cdot z_1 \quad (2)$$

где z_1 - перемещение муфты регулятора, отсчитываемое от положения максимальной подачи топлива.

Тогда холостому ходу будет соответствовать координата муфты $z_{1\max}$, а постоянная k_o определится как $k_o = \frac{Mz_1}{z_{1\max}}$. Величина z_1 определяется уравнением движения муфты регулятора:

$$m \cdot z_1 + \nu \cdot \dot{z}_1 + E(z_1) + F = A(z_1)\omega_o^2, \quad (3)$$

где m – приведенная к муфте масса всех подвижных звеньев частей регулятора;

ν – коэффициент вязкого трения;

$E(z_1)$ – усилие пружины, приведенное к муфте;

F – усилие предварительного натяга пружины, приведенное к муфте;

$A(z_1)$ – коэффициент поддерживающей силы.

В общем случае величины m , $E(z_1)$, $A(z_1)$ сложным образом зависят от z_1 , но при рассмотрении конкретного типа регулятора уравнение (3) может быть сведено к достаточно простому виду. Приведенная жесткость регулятора линейна, поэтому $E(z_1) = C_{np} \cdot z_1$. Предварительный натяг F определяет начало работы регулятора. При этом должно выполняться условие $A(z_1) \cdot \omega_o^2 > F$. Коэффициент поддерживающей силы без существенной погрешности определяется линейной зависимостью вида $A(z_1) = a_1 + b'_1 z_1$. Численные значения

Секция 6. Математическое моделирование физических процессов

постоянных коэффициентов a_1 и b_1' выбирают исходя из конструктивных особенностей регулятора. При составлении уравнений, описывающих работу системы, следует учесть, что z изменяется в пределах ограничений конструктивными упорами, т. е. $0 \leq z_1 \leq z_{\max}$. Тогда работа системы «двигатель-регулятор» опишется системой уравнений:

$$\begin{cases} I_\delta \dot{\omega}_\delta = M_\delta(\omega_\delta, z_1) - M_c; \\ M_\delta(\omega_\delta, z_1) = M'_\delta(\omega_\delta) + M_{z_1} - k_\delta z_1; \\ \nu \cdot z_1 = (a_1 + b_1' \cdot z_1) \frac{\omega_\delta^2}{i_p^2} - C_{np.p.} z_1 - F \end{cases} \quad (4)$$

где I_δ – момент инерции двигателя и жестко связанных с ним масс;

M_c – суммарный момент приложенных к двигателю сопротивлений;

ω_δ и $\dot{\omega}_\delta$ – угловая скорость и угловое ускорение вала двигателя;

$M'_\delta(\omega_\delta)$ – момент двигателя при минимальной подаче топлива, соответствующей холостому ходу;

M_{z_1} – приращение момента при максимальной подаче топлива;

k_δ – постоянная, характеризующая угол наклона регуляторной характеристики;

ν – коэффициент вязкого трения;

$C_{np.p.}$ – жёсткость пружины регулятора.

Литература

1. Крутов В.И. Автоматическое регулирование двигателей внутреннего сгорания. М.: Машиностроение, 1979. 616 с.
2. Крутов В.И. Сборник задач по теории автоматического регулирования двигателей внутреннего сгорания. М.: Машиностроение, 1972, 208 с.

Л.В. Лукиенко, Н.С. Зеленченков
ТГПУ им. Л.Н. Толстого, ГПОУ Тульской области
«Тульский колледж строительных и отраслевых технологий»
lukienko_lv@mail.ru

Выбор рациональных параметров захватного устройства для переноски заготовок

Из-за своей неприхотливости, простоты конструкции, позволяющей значительно экономить материал при изготовлении и высокой надёжности ферменные конструкции получили весьма широкое распространение в различных областях машиностроения. Широко известны различные методы расчёта ферм [1]. Однако, их применение весьма громоздко и трудоёмко. Между тем, развитое в настоящее время применение ЭВМ и широкое использование метода конечных элементов позволяет значительно повысить производительность расчётов позволяют резко сократить время на принятие решения конструктором и обоснование необходимого и достаточного количества материала для изготовления конструкции.

В работе проведено исследование по выбору наиболее рационального объёма материала для захватного устройства [2], предназначенного для перемещения круглых грузов. Расчётная схема устройства представлена на рис. 1

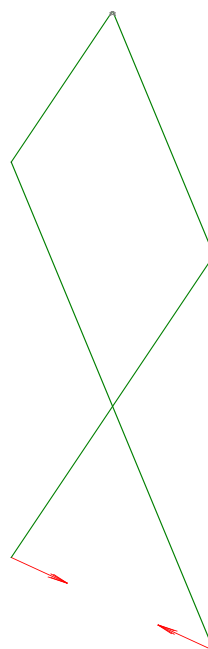


Рис. 1. Расчётная схема исследуемого устройства

Для исследований была использована программа APM Structure 3D, которая использует для решения метод конечных элементов [3] и обладает дружественным интерфейсом, а также очень проста в освоении. При этом в качестве результатов исследователь получает полную картину нагруженности рассчитываемой конструкции. Результаты расчёта представлены на рисунках 2 и 3.

Секция 6. Математическое моделирование физических процессов

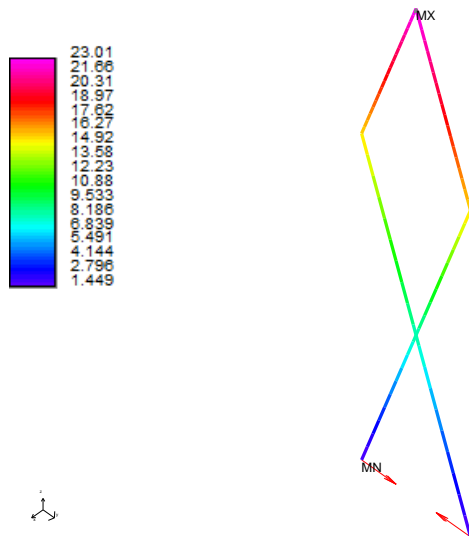


Рис. 2. Распределение эквивалентных напряжений в исследуемой конструкции, МПа

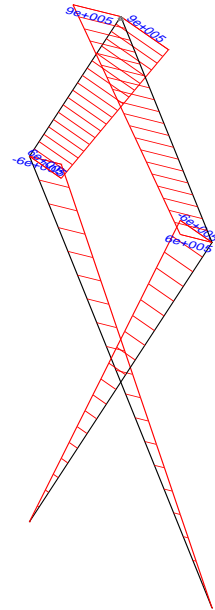


Рис. 3. Эпюры момента изгиба в плоскости XZ. Н*мм

На рис. 4 представлена картина распределения напряжений в элементах сечения. Использование такого подхода позволяет определить наиболее опасные зоны в сечении при его расчёте и очень удобно при анализе конструкции.

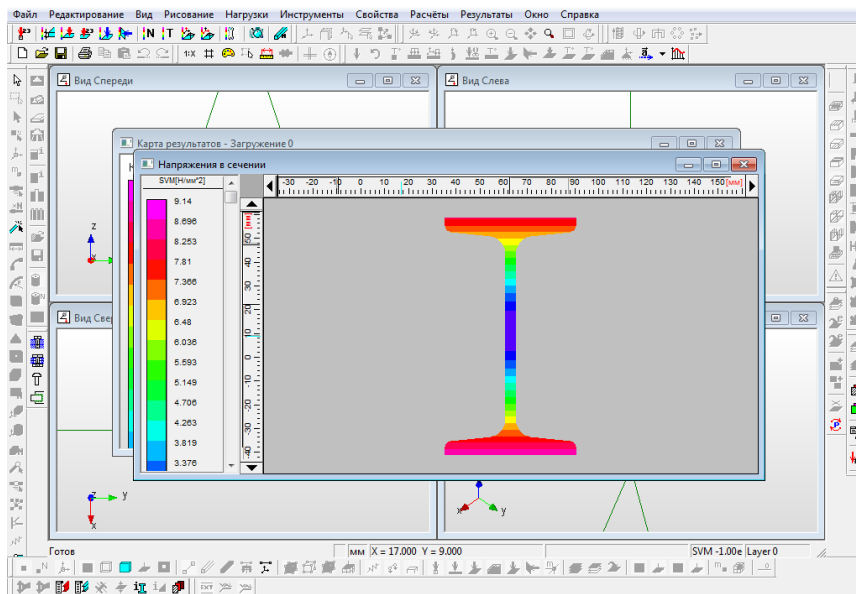


Рис. 4. Распределение напряжений в сечении профиля исследуемой конструкции

Результаты исследования зависимости коэффициента запаса прочности и эквивалентных напряжений в конструкции от приложенной нагрузки позволил определить, что предельно допустимой нагрузкой для исследуемой конструкции является 3000 Н, при которой величина коэффициента запаса прочности составляет 3,2.

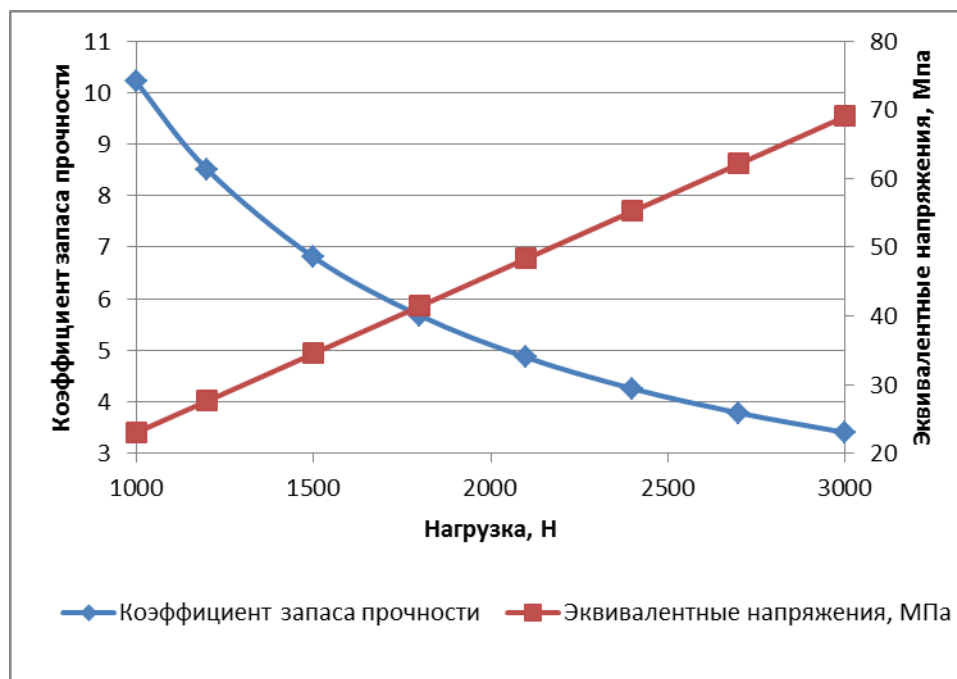


Рис. 5. Зависимость коэффициента запаса прочности и эквивалентных напряжений в конструкции от прикладываемой нагрузки

Результаты выполненной работы будут использованы в учебном процессе при изучении курса Техническая механика и могут быть полезны при проектировании подобных устройств.

Литература

1. Бать М.И., Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. Теоретическая механика в примерах и задачах: Учеб. пособие для вузов. Т. 1. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990.
2. Куркин С.А., Ховов В.М., Рыбачук А.М. Технология, механизация и автоматизация производства сварных конструкций. Атлас сварных конструкций. М.: Наука, 1991
3. Шелюфаст В.В. Основы проектирования машин. – М.: Изд-во АПМ. – 472 с.

А.В. Цаплев
 Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета
 602264, г. Муром Владимирской обл., ул. Орловская, 23
 E-mail: itpu@mivlgu.ru

Использование температурной коррекции в системах автоматизированного полива

Использование геоэлектрических методов для контроля влагонасыщенности почвы в автоматизированной системе полива является актуальной задачей, данный подход позволяет обеспечить контроль на достаточно больших территориях. Для достижения поставленной цели необходимо учитывать особенности геоэлектрического метода контроля электропроводности почвы. На основании исследований [1,2] установлена зависимость влияния электропроводности почвы от ее влажности, следовательно применив геоэлектрические методы можно судить о ее влагонасыщенности. Применение геоэлектрических методов позволяет измерять комплексное сопротивление отражающее электропроводность почвы. В результате оценки текущей влагонасыщенности автоматизированная система полива позволит выбрать оптимальный режим орошения. Однако для оценки влагонасыщенности почвы с целью управления автоматизированным поливом требуется учитывать различные факторы, влияющие на значение электропроводности. Согласно [3] выявлено, что на результат измерений наибольшее мешающее воздействие оказывают температурные изменения. Температура окружающего воздуха является климатическим фактором и определяет интенсивность температурных помех и уровень их влияния. Для устранения влияния температурных помех на результаты геоэлектрических измерений требуется применять специализированные алгоритмы [4,5,6,7].

Для использования температурной коррекции нам необходимо разработать математическую модель, которая позволит описать геологические особенности исследуемого участка. Как правило, строение земной поверхности представляют в виде многослойной структуры, каждый слой отличается своими электрическими параметрами такими как удельное электрическое сопротивление ρ и диэлектрическая проницаемость ε [2]. Данный принцип позволяет выделить и описать плодородный слой, водоносный слой, зону аэрации и т.д. Модель каждого слоя представляется в виде диэлектрика с потерями, многослойная структура представляется в виде соединения нескольких параллельно соединенных сопротивлений и конденсаторов (рис. 1).

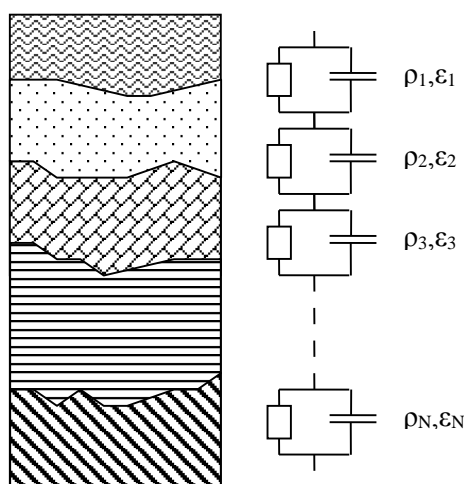


Рис. 1. Модель замещения геологического строения грунта

Данная математическая модель, описывает электрические и геометрические параметры геологической среды. Кроме этого предлагается использовать алгоритм коррекции временных рядов для устранения влияния температурных помех. Для проведения температурной коррекции полученных результатов предлагается использовать принцип регрессионной обработки временных рядов [5,6]. Данный метод основан на регистрации температуры в почве и на

Секция 6. Математическое моделирование физических процессов

использовании базовой геоэлектрической модели, учитывающей влияния температуры. Данный алгоритм может использоваться в автоматизированных системах управления поливом и системах экологического мониторинга, применяющих геоэлектрические методы контроля.

Измеряя комплексное сопротивление, температуру и применяя математическую модель геологической среды при использовании алгоритма температурной коррекции можно оценивать существующую влагонасыщенность. По полученному значению делать вывод о необходимости полива, а так же выбирать оптимальный режим орошения.

Литература

1. Пархоменко Э.И., Бондаренко А.Т. Электропроводность горных пород при высоких давлениях и температуре. М., 1979. 272 с.
2. Жданов М.С. Электроразведка: Учебник для вузов. М.: Недра, 1986. 316 с.
3. Цаплев А.В., Кузичкин О.Р. Использование геоэлектрических методов в системах автоматизированного полива / Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, ISSN 2222-5285 №3(21), 2014г., с.39-43
4. Кузичкин О.Р., Цаплев А.В. Применение регрессионной обработки для компенсации температурных помех в системах геоэлектрического контроля // Радиопромышленность. 2012. № 2. С. 147-153.
5. Цаплев А.В. Применение температурной коррекции в системах геоэлектрического контроля геодинамических объектов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных [Электронный ресурс]: Электронный научный журнал /под ред. С.С. Садыкова, Д.Е. Андрианова; - Вып. 2(20) - Муром: Муромский институт (филиал) ВлГУ, 2012, с. 99-103
6. Tsaplev, A.V. Application of compensation of temperature interferences at geoelectric sounding of the karst (2012) CriMiCo 2012 - 2012 22nd International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, Conference Proceedings PP. 1075 - 1076 IEEE Catalog Number CFP12788-PRT, SCOPUS
7. Кузичкин О.Р., Цаплев А.В. Алгоритм параметрической температурной коррекции результатов геоэлектрического зондирования // Вопросы радиоэлектроники, сер. ОТ, 2010, вып.1. – С.128-133

А.В. Цаплев, С.И. Царькова
Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета
602264, г. Муром Владимирской обл., ул. Орловская, 23
E-mail: itpu@mivlgu.ru

Особенности применения геоэлектрических методов в системах автоматизированного полива

Орошение является важнейшим мелиоративным приемом стабилизации сельскохозяйственного производства в любые по влагообеспеченности годы. Однако часто при использовании существующих систем орошения возникают такие экологически неблагоприятные явления, как подъем уровня грунтовых вод, засоление и другие, снижающие плодородие почв. Причинами таких явлений являются не только потери из оросительной сети, отсутствие дренажных систем, но и инфильтрационные потери поливной воды на орошаемых полях, которые отдельно не определяются и, как правило, включаются в суммарное водопотребление, что приводит к завышению оросительных норм.

Поэтому в настоящее время существует важная задача разработки автоматизированных систем полива, позволяющих обеспечивать ресурсосберегающий режим орошения, а так же получать текущие параметры о влагонасыщенности почв и определять оптимальный ресурсосберегающий режим орошения.

На основании исследований [1,2] установлена зависимость влияния электропроводности почвы от ее влажности, следовательно применив геоэлектрические методы можно судить о ее влагонасыщенности. Применение геоэлектрических методов позволяет измерять комплексное сопротивление отражающее электропроводность почвы. Получив результаты измерения влагонасыщенности автоматизированная система полива позволит выбрать оптимальный режим орошения.

Целью работы является рассмотреть возможность использования геоэлектрических методов для оценки влагонасыщенности почвы с целью управления автоматизированным поливом.

Геоэлектрический метод контроля заключается в пропускании электрического тока через геологическую среду (рис. 1).

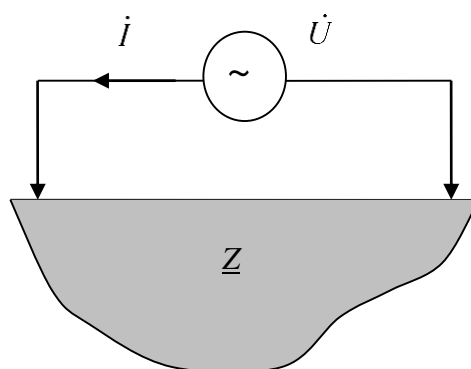


Рис. 1. Схема геоэлектрических измерений

По результатам измерения, учитывая приложенное переменное напряжение и ток получаем комплексное сопротивление грунта. Комплексное сопротивление характеризуется средним значением удельного сопротивления распределенного между двумя полюсами подключения источника тока. Удельное электрическое сопротивление ρ это параметр, который отражает в данном случае уровень электропроводности земли. Электропроводность почвы определяется наличием влаги и количеством растворимых веществ, а также температурой среды. [2].

В таблице 1 показана зависимость удельного сопротивления от влажности для тонкодисперсионной почвы, которая является наиболее плодородной.

Секция 6. Математическое моделирование физических процессов

Таблица 1. Зависимость удельного сопротивления от влажности

Влажность, %	2,5	5	7,5	10	15	20	25	30
ρ , Ом*м	2500	1650	1000	530	190	120	85	64

Таким образом, для контроля влагонасыщенности почвы представляем комплексное сопротивление Z как интегральный параметр:

$$Z = \{\rho(W, M, T), \omega\},$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление, W – влагонасыщенность грунта, M – минерализация почвы, T – температура, ω – частота сигнала.

Исходя из предложенного для оценки влажности понадобится сделать следующее:

1) Определить степень минерализации исследуемого участка, построить корреляционные зависимости изменения удельного сопротивления почвы от концентрации растворимых веществ в почве. Построенные зависимости позволят для грунтов различного типа определить некоторые оптимальные значения влажности и содержания растворимых веществ, при которых ρ достигает минимума и максимума.

2) Определить температуру почвы T , однако данная величина изменяется по глубине плодородного слоя. Это связано с тем, что температура почвы T зависит как правило от температуры воздуха действующего на грунт и времени его удержания на поверхности. Температура окружающего воздуха является климатическим фактором и определяет интенсивность температурных помех и уровень их влияния. Отсюда следует, что наибольшее влияние на результаты измерений будут оказывать температурные помехи.

Для устранения влияния температурных помех на результаты геоэлектрических измерений требуется применять специализированные алгоритмы [3,4,5,6].

Таким образом при геоэлектрическом контроле влагонасыщенности почвы информативным параметром выбрано комплексное сопротивление. Зная измеренные комплексное сопротивление, температуру и геологические характеристики при использовании алгоритма температурной коррекции можно оценивать существующую влагонасыщенность. По полученному значению делать вывод о необходимости полива, а так же выбирать оптимальный режим орошения.

Литература

1. Пархоменко Э.И., Бондаренко А.Т. Электропроводность горных пород при высоких давлениях и температуре. М., 1979. 272 с.
2. Жданов М.С. Электроразведка: Учебник для вузов. М.: Недра, 1986. 316 с.
3. Кузичкин О.Р., Цаплев А.В. Применение регрессионной обработки для компенсации температурных помех в системах геоэлектрического контроля // Радиопромышленность. 2012. № 2. С. 147-153.
4. Цаплев А.В. Применение температурной коррекции в системах геоэлектрического контроля геодинамических объектов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных [Электронный ресурс]: Электронный научный журнал /под ред. С.С. Садыкова, Д.Е. Андрианова; - Вып. 2(20) - Муром: Муромский институт (филиал) ВлГУ, 2012, с. 99-103
5. Tsaplev, A.V. Application of compensation of temperature interferences at geoelectric sounding of the karst (2012) CriMiCo 2012 - 2012 22nd International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, Conference Proceedings PP. 1075 - 1076 IEEE Catalog Number CFP12788-PRT, SCOPUS
6. Цаплев А.В., Кузичкин О.Р. Использование геоэлектрических методов в системах автоматизированного полива / Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, ISSN 2222-5285 №3(21), 2014г., с.39-43

Метод воспроизведения траекторий движения объектов.

Разработан метод воспроизведения траекторий движения воздушных объектов с более адекватной трассой полета в трехмерном пространстве без скачков скоростей и ускорений. В качестве траектории задается кусочно-заданная пространственная кривая, состоящая из плавно совмещаемых сегментов в виде параметрических кривых Безье первого-третьего порядков

$$B(t) = \sum_{i=0}^n P_i B_i^n(t), \quad B_i^n(t) = \frac{n!}{i!(n-i)!} \cdot t^i \cdot (1-t)^{n-i} \quad (1)$$

где n – степень кривой; i – порядковый номер опорной вершины; P_i – вектор координат i -й опорной точки; $B_i^n(t)$ – полином Бернштейна степени n , t – безразмерный параметр $t \in [0;1]$, при $n=3$ $B(t) = (1-t)^3 P_0 + 3t \cdot (1-t)^2 P_1 + 3t^2(1-t)P_2 + t^3 P_3$.

Совокупность такого набора сегментов позволяет представить прямолинейные участки траектории, участки с ненулевой кривизной, участки с ненулевой кривизной и ненулевым кручением – и таким образом описать различные виды маневра воздушного объекта. Использование кривых более высокого порядка чем 3-й существенно не развивает ее свойства, но усложняет аналитические выражения для расчета мгновенных координат движущегося объекта. Геометрическая форма каждого сегмента общей траектории движения выстраивается на основе расположения n опорных точек ($\{P_i\} = \{x_i, y_i, z_i\}, i = 0..n-1$), т.е. опорной ломаной линии с n узлами (рис 1).

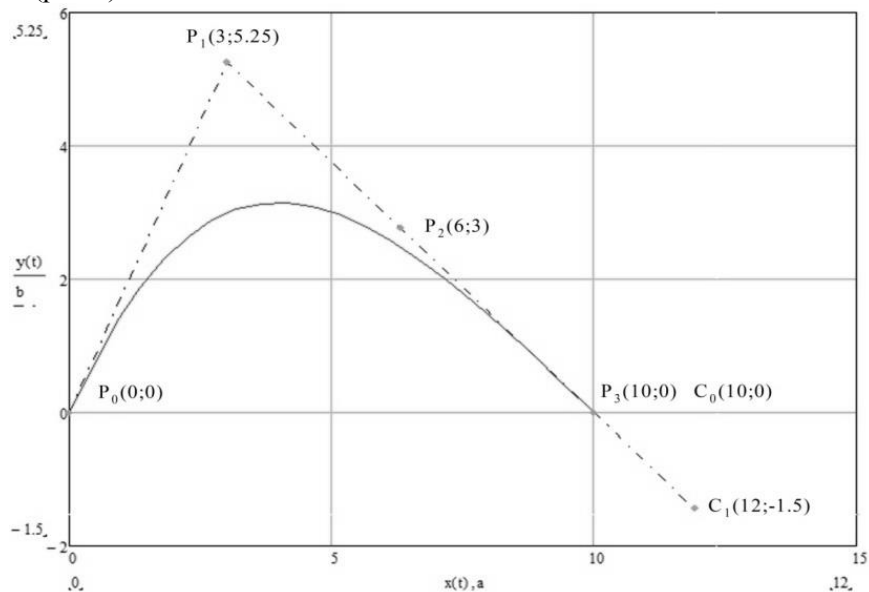


Рис.1 Сопряжение кривой Безье 3-й степени с отрезком прямой линии

Для построения произвольных сегментированных траекторий движения объектов часто необходимо обеспечить выполнение сопряжения отрезка прямой и кривой Безье, а также сопряжение кривых Безье произвольных форм с исключением скачков скорости и допустимыми значениями суммарного ускорения, определяемого как векторная сумма центростремительного a_d и тангенциального a_t ускорений. Для обеспечения плавного перехода с одной кривой Безье на другую обеспечено плавное изменение радиуса кривизны $R(t)$, что выполнимо при непрерывности первой и второй производных сопрягаемых кривых. Для определения максимальной перегрузки необходимо для кубической кривой определить минимальный радиус

Секция 6. Математическое моделирование физических процессов

в соответствии с (2) и путь, пройденный по параметрически заданной кривой на плоскости (рис. 1) в функции нормированного времени, в соответствии с (3)

$$R(t) = \frac{((x'(t))^2 + (y'(t))^2)^{\frac{3}{2}}}{y''(t) \cdot x'(t) - y'(t) \cdot x''(t)} \quad (2) \quad S(t) = \int_0^1 \sqrt{((x'(t))^2 + (y'(t))^2)} \quad (3)$$

После задания геометрической формы траектории производится преобразование параметрических уравнений движения в каждом сегменте по трем координатам $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ зоны обзора радиолокационной станции в функции безразмерного параметра $t \in [0;1]$ в функцию от аргумента - линейно-нарастающего временного интервала реального времени t_p воспроизведения траектории путем определения проходимого по сегментам пути $S(t_p)$, вычисления в соответствии с обратной функцией значений $t(S)$ в каждом сегменте и последующим вычислением в блоке расчета координат по параметрическим уравнениям движения значений текущих декартовых координат объекта.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 14-07-00293).

Литература

1. Патент № 2419072. Способ имитации траекторий движения воздушных объектов / Оpubл. 20.05.2011, – Бюл. №14 (Чекушкин В.В., Аверьянов А.М., Бобров М.С.).

Чекушкин В.В., Михеев К.В.
 Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета
 602264, г. Муром Владимирской обл., ул. Орловская, 23
 E-mail: kiri-mikheev@yandex.ru

Создание банка данных воспроизведения стандартных функций с диапазоном представления от 3 до 64 двоичных разрядов.

Целевая функция оптимизации специализированных алгоритмов воспроизведения функциональных зависимостей с устранением излишней точности E соответствует отношению последовательного дискретного приращения максимального числа значащих двоичных разрядов операндов выходных данных G при минимальном возрастании сложности вычислительных алгоритмов и соответственно времени их реализации C [1-3]. Оценка эффективности алгоритма наглядно иллюстрируется максимизируемым выигрышем G при ограниченных затратах C , не превосходящих некоторой величины C^* или минимизируемыми затратами, при условии, что выигрыш от применения алгоритма не менее заданного G^* :

$$E = G \rightarrow \max | C \leq C^*, E = G \rightarrow \min | C \geq C^*, E = G / (A + m), \quad (1)$$

где G – число значащих двоичных цифр результата или их приращения ΔG от некоторых начальных условий, $C = A + m$ – число выполненных операций или их приращение $\Delta(A + m)$. Исходя из вышеизложенного, создан оптимизированный банк воспроизведения стандартных функций tg , arctg , arcsin в диапазоне 3...64 значащих цифр результата.

Для функции $\sin(x)$ предварительно исследованы полиномы наилучшего приближения на интервале $x \in [0; \pi/2]$ (таблица 1), поскольку переход к интервалу $x \in [0; 2\pi]$ легко осуществляется с использованием формул приведения.

Таблица 1. Полиномы наилучшего приближения $\sin(x)$ на интервале $x \in [0; \pi/2]$

№	Формулы полиномов		$\delta_{\text{мм}}$	$A + m$
0	$a_0 \neq 0$	$P(x) = 0.5$	0.5	1
1	$a_0 \neq 0 \ a_1 = 1$	$P(x) = -0.285 + x$	0.285	2
	$a_0 = 0 \ a_1 \neq 1$	$P(x) = 0.7246 \cdot x$	0.137	2
	$a_0 \neq 0 \ a_1 = 1$	$P(x) = 0.105 + 0.636 \cdot x$	0.105	4
3	$a_0 = 0 \ a_1 = 1$	$P(x) = x - 0.14966 \cdot x^3$	0.01	5
	$a_0 = 0 \ a_1 \neq 1$	$P(x) = x \cdot (0.9857 - 0.1426 \cdot x^2)$	0.006	6
	$a_0 \neq 0 \ a_1 \neq 1$	$P(x) = 0.0035 + x \cdot (0.9794 - 0.1409 \cdot x^2)$	0.005	8
5	$a_0 = 0 \ a_1 = 1$	$P(x) = x + (-0.16607 + 0.00763 \cdot x^2) \cdot x^3$	$1.4 \cdot 10^{-4}$	8
	$a_0 = 0 \ a_1 \neq 1$	$P(x) = x \cdot (0.999659 + (-0.165626 + 0.0075 \cdot x^2) \cdot x^2)$	$8 \cdot 10^{-5}$	9
	$a_0 \neq 0 \ a_1 \neq 1$	$P(x) = 0.000056 + x \cdot (0.999559 + (-0.165581 + 0.007494 \cdot x^2) \cdot x^2)$	$7 \cdot 10^{-5}$	11
7	$a_0 = 0 \ a_1 \neq 1$	$P(x) = x + (-0.16665438 + (0.0083089 - 0.00018384 \cdot x^2) \cdot x^2) \cdot x^3$	$1.5 \cdot 10^{-5}$	11
	$a_0 = 0 \ a_1 \neq 1$	$P(x) = x \cdot (0.99999692 + (-0.16664889 + (0.00830678 - 0.00018374 \cdot x^2) \cdot x^2) \cdot x^2)$	$7 \cdot 10^{-7}$	12
	$a_0 \neq 0 \ a_1 \neq 1$	$P(x) = 0.00000054 + x \cdot (0.99999491 + (-0.16664577 + (0.0083048 - 0.00018334 \cdot x^2) \cdot x^2) \cdot x^2)$	$6 \cdot 10^{-7}$	14
9	$a_0 = 0 \ a_1 = 1$	$P(x) = x + (-0.166666515 + (0.008332906 + (-0.0001979999 + 0.00000258769 \cdot x^2) \cdot x^2) \cdot x^3$	$1 \cdot 10^{-8}$	14

№	Формулы полиномов		$\delta_{мм}$	$A + m$
	$a_0 = 0 \ a_1 \neq 1$	$P(x) = x \cdot (0.999999974755 + (-0.166666469385 + (0.008332892062 + (-0.00019800584 + 0.000002590091 \cdot x^2) \cdot x^2) \cdot x^2) \cdot x^2)$	$3.47 \cdot 10^{-9}$	15
	$a_0 \neq 0 \ a_1 \neq 1$	$P(x) = 0.00000000282 + x \cdot (0.99999996413 + (-0.16666644834 + (0.008332871968 + (-0.00019799744 + 0.00000258882 \cdot x^2) \cdot x^2) \cdot x^2) \cdot x^2)$	$3.2 \cdot 10^{-9}$	17
11	$a_0 = 0 \ a_1 = 1$	$P(x) = x + (-0.16666666561 + (0.008333329213 + (-0.000198406823 + (0.000002751799 - 0.0000000237861 \cdot x^2) \cdot x^2) \cdot x^2) \cdot x^2) \cdot x^3$	$6 \cdot 10^{-11}$	17
	$a_0 = 0 \ a_1 \neq 1$	$P(x) = (0.99999999874 + (-0.166666665294 + (0.008333329026 + (-0.0001984068315 + (0.0000027518132 - 0.000000023785 \cdot x^2) \cdot x^2) \cdot x^2) \cdot x^2) \cdot x$	$1.7 \cdot 10^{-11}$	18
	$a_0 \neq 0 \ a_1 \neq 1$	$P(x) = 0.000000000014 + (0.99999999822 + (-0.166666665182 + (0.0083333288855 + (-0.0001984067409 + (0.0000027517847 - 0.0000000237815 \cdot x^2) \cdot x^2) \cdot x^2) \cdot x^2) \cdot x$	$1.45 \cdot 10^{-11}$	20

Для полинома 1-й степени $P(x) = 0.7246 \cdot x$ число операций равно 2, для полинома 3-й степени 6 и в последующем число операций увеличивается на 3, и каждый раз число констант в памяти надо увеличивать на 1. После стартового приближения функции для полинома 1-й степени при $a_0 = 0 \ a_1 \neq 1$ примерно с тремя двоичными цифрами результата на две двоичные операции в дальнейшем при увеличении степени полинома на 2 получаем хорошие нарастающие приращения числа разрядных цифр на одну операцию: 1.06 разрядных цифр (с полинома 1-й степени на полином 3-й степени), 2 с полинома 3-й степени на полином 5-й степени), 2.3 с полинома 5-й степени на полином 7-й степени, 2.4 двоичных цифры для полинома 9-й степени на одну операцию. Для функции $\sin(x)$ введение на интервале $[0; \pi/2]$ двух подинтервалов с двумя полиномами 1-й степени с одинаковыми значениями погрешности метода обеспечивает уменьшение погрешности по сравнению с полиномом $P(x) = 0.7246 \cdot x$ в 5.75 раза при увеличении сложности алгоритма на 4 операции, таким образом не получаем приращения и в одну разрядную цифру на операцию.

При вычислении более медленно сходящейся функций $\text{tg}(x)$, приемлемым является набор полиномов наилучшего приближения с нечетными степенями на интервале $x \in [-\pi/4; \pi/4]$. Для вычисления функции $\arcsin(x)$ предпочтительным является интервал $[0; 0.707]$. Исходя из вышеизложенного, создан оптимизированный банк воспроизведения стандартных функций \sin , tg , arctg , \arcsin в диапазоне 3...64 значащих цифр результата.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 14-07-00293).

Литература

1. Чекушкин В.В. Быстродействующие методы воспроизведения функциональных зависимостей в радиоэлектронных системах // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2014. № 1. С. 87-99.
2. Чекушкин В.В., Михеев К.В., Пантелеев И.В. Совершенствование полиномиальных методов воспроизведения функциональных зависимостей в информационно-измерительных системах // Измерительная техника. 2015. № 4. С. 16-21.
3. Checkushkin V.V., Mikheev K.V., Panteleev I.V. Improving Polynomial Methods of Reconstruction of Functional Dependences in Information-Measuring Systems. Measurement Techniques July 2015, Volume 58, Issue 4, pp 385-392.

Информационная модель сборного абразивного круга с радиально подвижными абразивными сегментами.

При решении задач автоматизации проектирования основные свойства и характеристики режущих инструментов описывают с помощью формальных математических моделей, обеспечивающих адекватность и сохраняющих наглядность и необходимую содержательность.

Основные требования, предъявляемые к математической модели: адекватность и простота представления исходного объекта; информационная сложность, т.е. возможность перехода от одной математической модели к другой, от объекта к модели и обратно; удовлетворение требований к объему памяти ЭВМ; простота обработки и наглядность.

Выбор варианта математической модели зависит от постановки задач и проектирования режущего инструмента [1]. При оснащении технологического процесса инструментом возникают различные уровни решения задач проектирования: первый уровень – поиск требуемого типоразмера; второй – корректировка параметров нормализованного инструмента; третий – проектирование нового специального инструмента.

Ввиду того, что задача третьего уровня предполагает проектирование инструмента в полном объеме, а первый и второй только некоторых параметров, остановимся на формировании математических моделей при решении задач третьего уровня.

При анализе и синтезе конструкций инструмента при автоматизированном проектировании определенные удобства представляют графовые модели, обладающих наглядностью и универсальностью и допускающие использование ЭВМ.

Конструкцию сборного абразивного круга с радиально подвижными абразивными сегментами можно представить, в виде графа, представленного на рисунок 1. Каждая вершина и ребро графа Γ_2 определяют часть конструкции инструмента, конструктивный элемент или параметры части конструкции или конструктивного элемента. Параметры обрабатываемой (диаметр обрабатываемого отверстия, вид обработки (черновая, чистовая, финишная), точность размера, волнистость, шероховатость и т.д.) детали формируют основные части инструмента

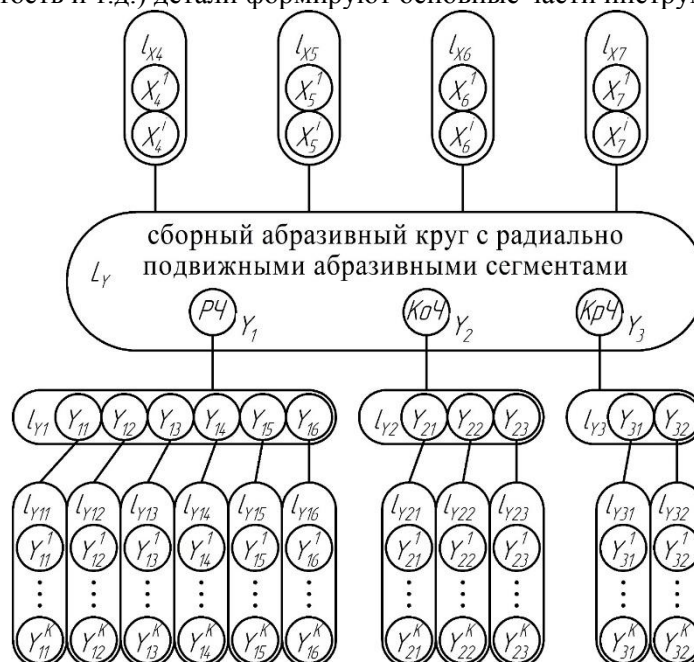


Рис. 1 Информационная модель сборного абразивного круга с радиально подвижными абразивными сегментами

Рассмотрим предметную ориентацию ребер и вершин графа $\Gamma_2 = (Y, E)$. Сборный шлифовальный инструмент включает в себя совокупность различных компонентов.

Секция 6. Математическое моделирование физических процессов

Ребро l_{Y1} описывающую рабочую часть сборного шлифовального инструмента представлено на рисунок 2. На графе это отображено ребром $l_{Y1} = \bigcup_{i=1}^{k1} Y_1^i$, где $k1$ определяет число компонентов входящих в состав рабочей части шлифовального круга. Вершина Y_{11} представляет материал абразивного компонента. Вершина Y_{12} представляет обойму для установки абразива. Вершина Y_{13} представляет упругую прокладку фиксирующую абразивный компонент. Вершина Y_{14} представляет стопор, в котором устанавливается штифт ограничивающий радиальное перемещение абразивного блока. Вершина Y_{15} представляет описанный выше штифт. Вершина Y_{16} представляет грузик с помощью которого можно регулировать усилие прижатия абразивного компонента к обрабатываемой поверхности.

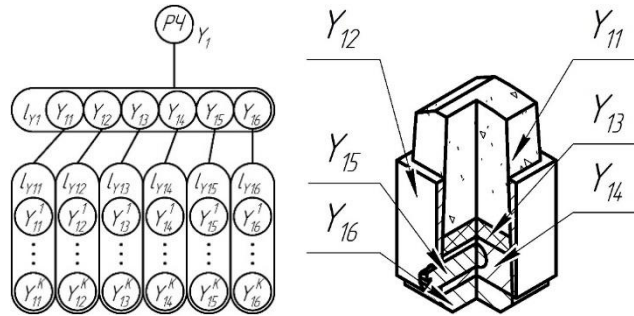


Рис. 2 – Ребро описывающее рабочую часть сборного шлифовального инструмента

Таким образом ребро $l_{Y1}Y_n$ описывающие рабочую часть сборного абразивного инструмента формируется следующим информационным массивом

$$l_{Y1} = \bigcup_{i=1}^n Y_{11} \bigcup_{i=1}^n Y_{12} \bigcup_{i=1}^n Y_{13} \bigcup_{i=1}^n Y_{14} \bigcup_{i=1}^n Y_{15} \bigcup_{i=1}^n Y_{16}$$

Ребро l_{Y2} описывающую корпусную часть сборного шлифовального инструмента представлено на рисунок 3. На графе это отображено ребром $l_{Y2} = \bigcup_{i=1}^{k2} Y_2^i$, где $k2$ определяет число компонентов входящих в состав корпусной части шлифовального круга. Вершина Y_{21} представляет диаметр корпуса сборного шлифовального круга. Вершина Y_{22} представляет размер гнезда для установки рабочей части. Вершина Y_{23} представляет радиус поверхности корпуса направляющей поток СОТС в зону обработки.

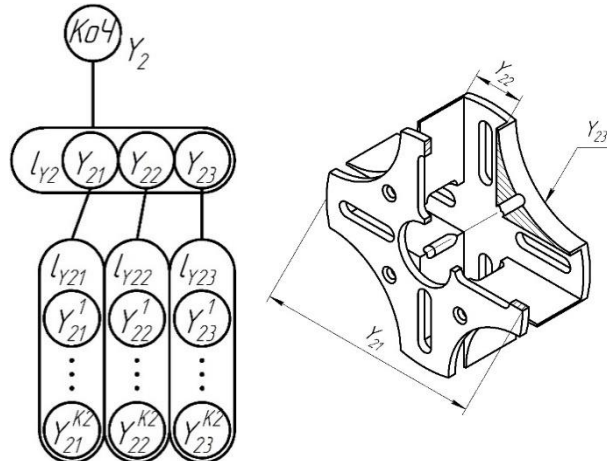


Рис. 3 – Ребро описывающее корпусную часть сборного шлифовального инструмента

Таким образом ребро $l_{Y2}Y_n$ описывающие корпусную часть сборного абразивного инструмента формируется следующим информационным массивом

$$l_{Y2} = \bigcup_{i=1}^n Y_{21} \bigcup_{i=1}^n Y_{22} \bigcup_{i=1}^n Y_{23}$$

Ребро l_{Y3} описывающую крепежную часть сборного шлифовального инструмента представлено на рисунок 4. На графе это отображено ребром $l_{Y3} = \bigcup_{i=1}^{k3} Y_3^i$, где $k3$ определяет число компонентов входящих в состав корпусной части шлифовального круга. Вершина Y_{31} представляет диаметр

Секция 6. Математическое моделирование физических процессов

шейки хвостовика сборного шлифовального круга. Вершина Y_{32} представляет конусность хвостовика.

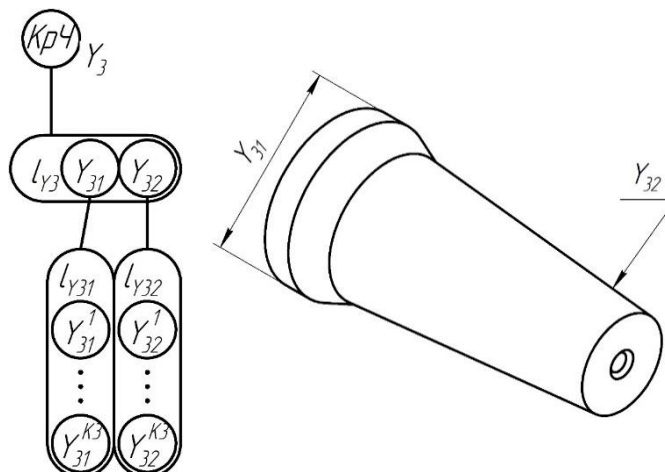


Рис. 4 – Ребро описывающее крепежную часть сборного шлифовального инструмента

Таким образом ребро $l_{Y3}Y_n$ описывающие крепежную часть сборного абразивного инструмента формируется следующим информационным массивом

$$l_{Y1} = \bigcup_{i=1}^n Y_{21} \bigcup_{i=1}^n Y_{22} \bigcup_{i=1}^n Y_{23}$$

Построенная математическая модель позволяет наглядно определить требования к качеству изготовления гильз цилиндров как объединение множеств показателей качества представленных ребрами графа $\Gamma_1 = (X, E)$

На основании анализа графовой модели определяются параметры конструктивных элементов, частей и инструмента в целом как объединение множеств этих параметров, представленных ребрами данного графа. В результате операции объединения формируется множество неповторяющихся параметров. Из данного множества производится выборка параметров, по которым проектируется инструмент на ЭВМ.

Литература

1. Кристофидес Н. Теория графов. – М.: Мир, 1976. – 432 с.

В.А. Яшков¹, В.А. Гречишников²

¹Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета
Россия, 602264, Владимирская область, г. Муром, ул. Орловская, д.23

²Московский Государственный Технологический университет «СТАНКИН»
zirjd@mail.ru

Создание формальной математической модели качества деталей машин.

Современный этап развития машиностроения, приборостроения и других отраслей промышленности характеризуется быстрым расширением номенклатуры деталей и их качества. Одной из таких деталей являются гильзы различных цилиндров. При этом соединение гильза цилиндра – поршень является одним из соединений, подвергающихся наибольшему износу в различных узлах машин и роботов. Поэтому важнейшей задачей на этапе производства таких деталей является обеспечение качества изготовления двигателей. Сегодня гильзы применяются для гидравлических и пневматических цилиндров, а также для двигателей внутреннего сгорания.

Качество рассматриваемых деталей следует рассмотреть с помощью формальной математической модели, обеспечивающей адекватность и сохраняющей наглядности и необходимую содержательность [1]. Такими свойствами обладает графовая модель представленная в виде системы отдельных, функционально связанных между собой показателей наглядно представленных в виде ориентированного графа $\Gamma_1 = (X, E)$, где X – множество вершин, E – отображение множества X в X или соответствие, которое показывает, как между собой связаны вершины рисунок 1. В данном графе каждая вершина и ребро определяют набор показателей характеризующих качество гильз.

Гильза	$L, мм.$	$D, мм.$	$W, мкм$	$Ra, мкм$	$\Delta, мкм$	$\sigma, МПа$
Гидроцилиндра	500-1000	90-110	2-4	0.2-0.4	1-3	200-400
Пневмацилиндра	500-1500	60-100	1-3	0.1-0.3	1-3	200-400
Цилиндра ДВС	200-300	90-110	4-5	0.3-0.5	1-5	200-400

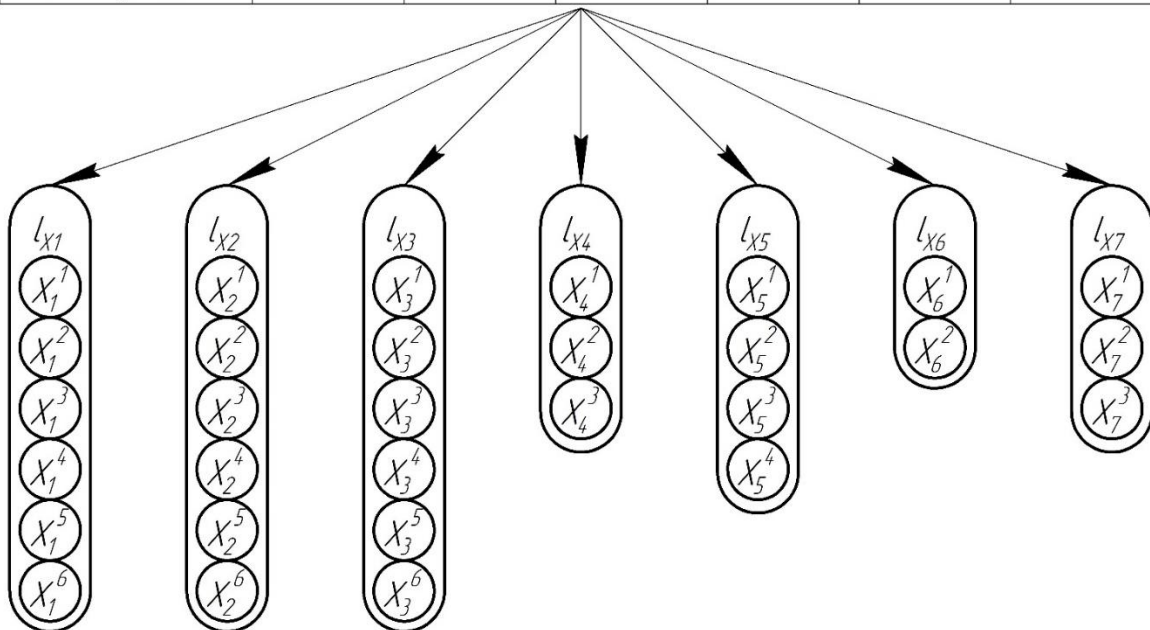


Рис.1 – Графовая модель показателей качества гильз цилиндров.

Каждое ребро l_i представляет собой множество вершин графа l_i в X и одновременно $l_i = \{X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in}\}$. Если $X_{i1} = X_{in}$ в свою очередь являются множествами, то $l_i = \bigcup_{i=1}^n X_i$.

Рассмотрим предметную ориентацию ребер и вершин графа $\Gamma_1 = (X, E)$. Качество гильз цилиндров включает в себя совокупность различных технологий их изготовления. Ребро l_{x1} представляет технологический процесс, использующий только лезвийный инструмент. На графе

Секция 6. Математическое моделирование физических процессов

это отображено ребром $l_{X1} = \bigcup_{i=1}^{k1} x_1^i$, где $k1$ определяет число операций в технологическом процессе. В данном ребре вершина X_1^1 представляет грубое точение, вершина X_1^2 представляет черновое точение, вершина X_1^3 представляет получистовое точение, вершина X_1^4 представляет чистовое предварительное точение, вершина X_1^5 представляет чистовое окончательное точение и вершина X_1^6 представляет тонкое точение. Таким образом ребро $l_{X1}X_n$ обуславливающее в использовании только лезвийного инструмента формируется следующим информационным массивом

$$l_{X1} = \bigcup_{i=1}^n X_1^1 \bigcup_{i=1}^n X_1^2 \bigcup_{i=1}^n X_1^3 \bigcup_{i=1}^n X_1^4 \bigcup_{i=1}^n X_1^5 \bigcup_{i=1}^n X_1^6$$

Ребро l_{X2} представляет технологический процесс, использующий лезвийный инструмент только на предварительных операциях, а в качестве финишных используется алмазное выглаживание поверхности. На графе это отображено ребром $l_{X2} = \bigcup_{i=1}^{k2} x_2^i$, где $k2$ определяет число операций в данном технологическом процессе. Вершина X_2^1 представляет грубое точение, вершина X_2^2 представляет черновое точение, вершина X_2^3 представляет получистовое точение, вершина X_2^4 представляет чистовое предварительное точение, вершина X_2^5 представляет предварительное выглаживание и вершина X_2^6 представляет окончательное выглаживание. Таким образом ребро $l_{X2}X_n$ обуславливающее в использовании на черновых операциях лезвийный инструмент, а на финишных операциях алмазный выглаживатель формируется следующим информационным массивом

$$l_{X2} = \bigcup_{i=1}^n X_2^1 \bigcup_{i=1}^n X_2^2 \bigcup_{i=1}^n X_2^3 \bigcup_{i=1}^n X_2^4 \bigcup_{i=1}^n X_2^5 \bigcup_{i=1}^n X_2^6$$

Ребро l_{X3} представляет технологический процесс, использующий лезвийный инструмент только на предварительных операциях, а в качестве финишных используется внутреннее шлифование поверхности. На графе это отображено ребром $l_{X3} = \bigcup_{i=1}^{k3} x_3^i$, где $k3$ определяет число операций в данном технологическом процессе. Вершина X_3^1 представляет грубое точение, вершина X_3^2 представляет черновое точение, вершина X_3^3 представляет получистовое точение, вершина X_3^4 представляет чистовое предварительное точение, вершина X_3^5 представляет предварительное шлифование и вершина X_3^6 представляет тонкое шлифование. Таким образом ребро $l_{X3}X_n$ обуславливающее в использовании на черновых операциях лезвийный инструмент, а на финишных операциях шлифовальные круги формируется следующим информационным массивом

$$l_{X3} = \bigcup_{i=1}^n X_3^1 \bigcup_{i=1}^n X_3^2 \bigcup_{i=1}^n X_3^3 \bigcup_{i=1}^n X_3^4 \bigcup_{i=1}^n X_3^5 \bigcup_{i=1}^n X_3^6$$

По существу задача идентификации эксплуатационных свойств гильз цилиндров в конструкторско-технологической документации охватывает две проблемы: точности геометрических параметров элементов гильз и их рабочих поверхностей и физико-химических свойств поверхностных слоев.

Ребро l_{X4} представляет точность геометрических форм гильз нормированных по ГОСТ 24642. На графе это отображено ребром $l_{X4} = \bigcup_{i=1}^{k4} x_4^i$, где $k4$ определяет число параметров характеризующих точность геометрических форм. Вершина X_4^1 представляет допуск цилиндричности ∇ , вершина X_4^2 представляет допуск круглости \bigcirc , вершина X_4^3 представляет допуск профиля продольного сечения Δ [2]. Таким образом ребро $l_{X4}X_n$ определяющее точность геометрических форм гильз формируется следующим информационным массивом

$$l_{X4} = \bigcup_{i=1}^n X_4^1 \bigcup_{i=1}^n X_4^2 \bigcup_{i=1}^n X_4^3$$

Ребро l_{X5} представляет точность рабочих поверхностей гильз нормированных по ГОСТ 2789. На графе это отображено ребром $l_{X5} = \bigcup_{i=1}^{k5} x_5^i$, где $k5$ определяет число параметров характеризующих точность рабочих поверхностей. Вершина X_5^1 представляет среднее арифметическое отклонение профиля Ra, вершина X_5^2 представляет наибольшую высоту шероховатостей профиля Rmax, вершина X_5^3 представляет средний шаг шероховатостей по

средней линии профиля Sm, вершина X_5^4 представляет относительную опорную длину профиля tr . Таким образом ребро $l_{X5}X_n$ определяет точность рабочих поверхностей гильз и формируется следующим информационным массивом

$$l_{X5} = \bigcup_{i=1}^n X_5^1 \bigcup_{i=1}^n X_5^2 \bigcup_{i=1}^n X_5^3 \bigcup_{i=1}^n X_5^4$$

Ребро l_{X6} определяет параметры волнистости, установленные рекомендацией РС 3951. На графе это отображено ребром $l_{X6} = \bigcup_{i=1}^{k6} x_6^i$, где $k6$ определяет число параметров характеризующих волнистость поверхности. Вершина X_6^1 представляет высоту волнистости W , вершина X_6^2 представляет средний шаг волнистости S_W . Таким образом ребро $l_{X6}X_n$ определяющее параметры волнистости рабочей поверхности гильз формируется следующим информационным массивом

$$l_{X6} = \bigcup_{i=1}^n X_6^1 \bigcup_{i=1}^n X_6^2$$

Ребро l_{X7} определяет параметры физико-химического состояния поверхностных слоев. На графе это отображено ребром $l_{X7} = \bigcup_{i=1}^{k7} x_7^i$, где $k7$ определяет число параметров характеризующих физико-химическое состояние поверхностного слоя. Вершина X_7^1 представляет параметры кристаллической структуры (размеры и форму зерен, текстуру, плотность дислокаций), вершина X_7^2 представляет параметры деформационного упрочнения (степень деформации %, степень и глубина наклепа h), вершина X_7^3 представляет параметры остаточные напряжения σ Мпа (макронапряжения - 1-го рода, микронапряжения - 2-го рода и статистические искажения решетки - 3-го рода) [3], вершина X_7^4 представляет параметры экзoeлектронную эмиссию (работу и глубину выхода электронов). Таким образом ребро $l_{X7}X_n$ определяющее параметры физико-химического состояния поверхностных слоев формируется следующим информационным массивом

$$l_{X7} = \bigcup_{i=1}^n X_7^1 \bigcup_{i=1}^n X_7^2 \bigcup_{i=1}^n X_7^3$$

В итоге требования к качеству гильз цилиндров на уровне комплексных и единичных показателей определена следующим объединением

$$l_1 = \bigcup_{i=1}^n X_n = \bigcup_{i=1}^n X_1^1 \bigcup_{i=1}^n X_1^2 \bigcup_{i=1}^n X_1^3 \bigcup_{i=1}^n X_1^4 \bigcup_{i=1}^n X_1^5 \bigcup_{i=1}^n X_1^6$$

$$\bigcup_{i=1}^n X_2^1 \bigcup_{i=1}^n X_2^2 \bigcup_{i=1}^n X_2^3 \bigcup_{i=1}^n X_2^4 \bigcup_{i=1}^n X_2^5 \bigcup_{i=1}^n X_2^6 \bigcup_{i=1}^n X_3^1 \bigcup_{i=1}^n X_3^2 \bigcup_{i=1}^n X_3^3 \bigcup_{i=1}^n X_3^4 \bigcup_{i=1}^n X_3^5 \bigcup_{i=1}^n X_3^6$$

$$\bigcup_{i=1}^n X_4^1 \bigcup_{i=1}^n X_4^2 \bigcup_{i=1}^n X_4^3 \bigcup_{i=1}^n X_5^1 \bigcup_{i=1}^n X_5^2 \bigcup_{i=1}^n X_5^3 \bigcup_{i=1}^n X_5^4 \bigcup_{i=1}^n X_6^1 \bigcup_{i=1}^n X_6^2 \bigcup_{i=1}^n X_7^1 \bigcup_{i=1}^n X_7^2 \bigcup_{i=1}^n X_7^3$$

Построенная математическая модель позволяет наглядно определить требования к качеству изготовления гильз цилиндров как объединение множеств показателей качества представленных ребрами графа $\Gamma_1 = (X, E)$

Литература

1. Кристофидес Н. Теория графов. – М.: Мир, 1976. – 432 с.
2. Палей М.А. Единая система допусков и посадок СЭВ в машиностроении и приборостроении Т2. – М.: Изд. Стандартов, 1989. – 208 с.
2. Ключев В.В. Машиностроение Энциклопедия в 40 томах Том IV – М.: Машиностроение, 2003.