

УДК 62.503.57

*Е. Е. Баженов, В. В. Побединский, А. В. Берстнев**(E. E. Bazhenov, V. V. Pobedinskiy, A. V. Berstenev)**Уральский государственный лесотехнический университет,**Екатеринбург*

УПРАВЛЕНИЕ СИЛОВЫМИ ПОТОКАМИ В ТРАНСМИССИИ АВТОМОБИЛЯ НА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКЕ

(DRIVETRAIN FLOW CONTROL IN THE TRANSMISSION OF THE CAR ON FUZZY LOGIC)

Выполнена формализация задачи управления силовыми потоками в трансмиссии автомобиля на нечеткой логике для обеспечения необходимых тягово-сцепных характеристик при различных условиях движения. На основе нечеткого вывода получена функция управления силовыми потоками в зависимости от разницы частоты вращения колес и скорости изменения этих частот. Реализация нечеткого вывода выполнена в среде MatLab. Полученная модель обеспечивает качественное автоматическое управление тягово-сцепными характеристиками автомобиля без использования конструкции дифференциала.

Formalization of management tasks performed power flows in the transmission of the car on fuzzy logic to provide the necessary towing characteristics under different driving conditions. Based on the fuzzy inference function is obtained control of the power flow in the ble from the wheel speed difference and the rate of change of these frequencies. Implementation of fuzzy inference is made in an environment MatLab. The resulting model provides high-quality automatic control trailer coupling characteristics of the car without using a differential structure.

Введение

В настоящее время в лесопромышленном комплексе для привода автомобиля часто используются как двигатели внутреннего сгорания с механической трансмиссией, так и другие типы приводов – электрический или гидравлический в различных исполнениях. В этих приводах появляются более широкие возможности управления силовыми потоками (СП), чтобы выполнять функции межосевого, межколесного дифференциалов в процессе поворотов машин и для исключения пробуксовки колес на всех режимах работы. Принципиально распределением СП может осуществляться регулирование основными параметрами трансмиссии – взаимным соотношением частот вра-

щения колес и моментами сил на них.

Для решения подобных задач в теории автоматического управления предлагаются классические методы с применением, например, пропорционально-интегрально-дифференциальных или пропорционально-дифференциальных регуляторов.

Применительно к автомобилю при таком подходе получается сложная система автоматического управления, которая снижает надежность конструкции и не дает повышать технический уровень машины в целом по технико-экономическим показателям. Также механический способ снижения пробуксовки колес путем блокировки дифференциала имеет ограниченные возможности, например, не действует в случае

проскальзывания одновременно двух колес.

Как показывает практика, решение исходной задачи значительно проще и более эффективно, чем традиционными методами, достигается в рамках нечеткой логики с использованием нечетких регуляторов. Этот подход дает возможность, например, модульного принципа компоновки сложных технических систем, позволяющего использовать на практике отработанные функциональные блоки, при расположении которых в определенном порядке решается задача рационального распределения силовых потоков между рабочими органами машины. Однако отсутствие исследовательских работ в этом направлении не позволяет

Лесопромышленный комплекс

использовать достижения прогресса на практике. В этой связи работы, направленные на применение систем автоматического управления на нечеткой логике в автомобилях, являются актуальными.

Целью исследований, основные результаты которых приведены в настоящей статье, являлся нечеткий вывод функции управления силовыми потоками в трансмиссии автомобиля для исключения пробуксовки колес и выполнения функции дифференциала.

Достижение поставленной цели предусматривало решение **следующих задач**:

- 1) выполнение содержательной постановки задачи нечеткого вывода функции управления СП в трансмиссии автомобиля;
- 2) выполнение практической реализации задачи нечеткого вывода, включающей определение нечетких функций принадлежности для входных и выходных переменных задачи (приведение к нечеткости) и разработку базы правил нечеткой продукции;
- 3) синтез нечеткой модели зависимости управляющего воздействия СП от входных параметров средствами Fuzzy Logic Toolbox приложения MatLab.

Выполнение содержательной постановки задачи управления приводом автомобиля. В методике проектирования нечетких регуляторов [1–3] содержательная постановка задачи используется для того, чтобы представить данные об управлении объектом в форме определенных эвристических правил. В этом случае выполняется описание

задачи управления объектом в том виде, как если бы регулирование выполнялось вручную. В настоящей работе эта процедура осуществляется одновременно с формированием базы основных правил системы нечеткого вывода, а в содержательном описании задачи определены наиболее специфические особенности процесса управления СП.

Задача автоматического управления СП заключается в стабилизации момента на колесе, который задается величиной подводимой мощности. Конструктивно управление выполняется, например, электрогидравлическим усилителем (ЭГУ), если рассматривается гидропривод, или регулирующим устройством на основе усилителя для подвода электрической мощности к мотору-колесу.

Задачей САУ будет в зависимости от величины рассогласования частот вращения между мостами, а также между колесами на каждой оси выдавать соответствующий ток управления на ЭГУ или на регулирующее устройство электроприводом, который посредством подачи энергии (жидкости в гидромоторы или электрической мощности на электродвигатели моторов-колес) восстанавливает заданное соотношение частот вращения колес. В результате момент или тягово-сцепные характеристики на колесах будут постоянными.

Таким образом, содержательная постановка задачи будет заключаться в следующем. Чтобы обеспечить стабилизацию тягового момента на колесах при движении, необходимо учитывать

не только величину разности частот (РЧ), но и соотношение их между правым и левым колесом, а также скорость изменения разности частот вращения (СИРЧ) колес. Сопоставляя это с величинами, используемыми в теории автоматического управления, можно заметить аналогию между ошибкой регулирования в САУ и величиной разности частот вращения, и скоростью изменения ошибки регулирования и скоростью изменения разности частот вращения.

Поскольку задачей регулятора является стабилизация заданного соотношения частот вращения колес u_n – правого колеса и u_l – левого колеса, то их разность, c^{-1} , определяемая по формуле [4]

$$\Delta u = u_n - u_l,$$

является важным параметром и должна учитываться в первую очередь. Как следует из формулы, величина Δu математически может принимать положительные и отрицательные значения. Диапазон изменения Δu происходит ориентировочно от -10 до $10 c^{-1}$. При $\Delta u = 0$ колеса вращаются с одинаковой скоростью, что должно наблюдаться в случае строго прямолинейного движения автомобиля и без пробуксовки колес.

При поворотах автомобиля дифференциалом обеспечивается вращение колес на оси с различной частотой. Величину соотношения частот можно точно рассчитать в зависимости от угла положения рулевых колес [4]. Отклонение величины соотношения вращения колес от расчетного значения будет означать

Лесопромышленный комплекс

наличие пробуксовки. В зависимости от знака величины Δu определяется пробуксовка правого (в соответствии с формулой «плюс») или левого («минус») колеса.

Другим наиболее влияющим параметром является скорость изменения разницы частот вращения колес V , c^{-1} , в единицу времени. СИРЧ имеет также большое значение, так как от нее зависит управляющее воздействие. Чем больше скорость, тем больше должна быть величина воздействия. В процессе регулирования при максимальных значениях скорости V и Δu значение управляющего воздействия должно быть наибольшим.

При крайнем значении скорости V величина управляющего воздействия будет пропорциональна изменению другого варьируемого значения – величине Δu .

Нужно принимать во внимание, что максимальные значения величины Δu должны компенсироваться максимальными управляющими воздействиями независимо от скорости V в этот момент, если ее значение положительное, т.е. идет с ускорением. Если значение скорости отрицательное, т.е. происходит замедление, то нужно учитывать величину Δu .

В общем случае нужно учитывать следующие особенности работы:

1) обеспечение необходимой РЧ колес при поворотах автомобиля (аналогично принципу действия межколесного и межосевого дифференциалов); в этом случае необходимо значение параметра угла поворота рулевых

колес и расчетное значение разницы частот вращения колес;

2) возможное проявление пробуксовки любого колеса при поворотах автомобиля;

3) возможное проявление пробуксовки одного колеса при прямолинейном движении автомобиля (при угле поворота рулевых колес, равного нулю);

4) возможное проявление пробуксовки двух колес при прямолинейном движении автомобиля.

В случае прямолинейного движения (угол поворота рулевых колес равен нулю) РЧ колес должна быть равна нулю. При увеличении частоты вращения какого-либо колеса должен уменьшаться силовой поток в гидромотор пропорционально величине разницы частот и скорости изменения этой разницы.

Рассмотрим основные случаи управления силовыми потоками.

1. При повороте рулевых колес (на передней оси) одно приводное (на задней оси) колесо вращается медленнее другого. В этот момент силовой поток пропорционально величине РЧ колес и скорости изменения величины рассогласования (разницы частот) подается в привод колеса с большей частотой вращения. Этот момент поворота может сочетаться с пробуксовкой:

– колеса с меньшей частотой вращения;

– колеса с большей частотой вращения.

В этом случае требуется оценка еще двух параметров: угла поворота рулевых колес и условия пробуксовки (например скорости движения автомобиля, момента на оси).

При решении задачи нечеткого регулирования СП в полном объеме следует учесть, что главной особенностью управления является не постоянное положение нулевого значения лингвистической переменной, относительно которого выполняется стабилизация, а в виде случайного процесса, зависящего от угла поворота рулевых колес. В такой постановке задача может решаться либо с организацией многоконтурной САУ (не менее двух контуров), либо с организацией настройки нечетких функций. Задача управления делится на две части. Сначала (или в первом контуре) отслеживается необходимое в зависимости от угла положения рулевых колес соотношение частот вращения, а во втором контуре обеспечивается стабилизация частот вращения колес относительно этого строго заданного соотношения.

В настоящей работе рассматривается вторая часть задачи управления СП в трансмиссии. Опишем влияние различных сочетаний входных воздействий на выходной параметр управления в виде лингвистических заключений.

Если РЧ = «положительная малая» и СИРЧ = «положительная малая», То «ток управления» = «отрицательный малый»;

Если РЧ = «отрицательная малая» и СИРЧ = «положительная малая», То «ток управления» = «положительный малый»;

Если РЧ = «положительная большая» и СИРЧ = «положительная большая», То «ток управления» = «отрицательный большой»;

Лесопромышленный комплекс

Если РЧ = «малая положительная» и СИРЧ = «большая отрицательная», То «ток управления» = «нулю»;

Если РЧ = «малая отрицательная» и СИРЧ = «большая отрицательная», То «ток управления» = «нулю»;

Если РЧ = «большая положительная» и СИРЧ = «нулю», То «ток управления» = «большой отрицательный»;

Если РЧ = «большая отрицательная» и СИРЧ = «нулю», То «ток управления» = «большой положительный»;

Если РЧ = «Нулю» и СИРЧ = «Любое значение», То «ток управления» = «Нулю».

Используя описание вариантов сочетаний входных параметров (Δu и V), а также большее количество значений лингвистических переменных, например «среднее», «максимальное», «минимальное» и специфических особенностей процесса управления, можно формализовать базу правил нечеткого вывода функции управляющего воздействия на СП.

Определение входных и выходных переменных задачи управления (приведение к не-

четкости). В качестве входных переменных принимаем параметры, по которым выполняется регулирование. Для динамического процесса может быть принята скорость изменения разницы частот. Другим параметром для обеспечения качества регулирования принята разница частот вращения колес. Выходным параметром является величина управляющего воздействия.

Входные переменные. Первый входной параметр – это разность частот вращения Δu . В данном случае диапазон составляет от -50 до $+50$ c^{-1} . За второй входной параметр принимаем скорость V . Диапазон изменения скорости V по предварительным исследованиям определен от -15 до $+15$ c^{-1}/c . Дело в том, что САУ основана на элементной базе регулятора дискретного типа. Также нечеткий вывод регулятора реализован в компьютерном варианте, следовательно, в цифровом виде. Физически это означает, что цифровой опрос входного сигнала выполняется через равные промежутки времени. Если выполняется опрос процесса РЧ, то различные значения этой вели-

чина за равные промежутки времени одновременно означают и изменение параметра СИРЧ.

Выходная переменная. В качестве выходной величины принимается значение (величина и направление) тока управления i , подаваемого с выхода САУ на ЭГУ. Примем, что изменение тока управления магнитоэлектрического преобразователя (МЭП) для гидроаппаратуры настоящей конструкции в диапазоне от -100 мА до $+100$ мА приводит к полному рабочему ходу рабочего органа.

Определение нечетких функций принадлежности параметров процесса. Будем полагать, что терм-множества значений лингвистических переменных представлены треугольными нечеткими числами, а на границах области определения – сигмоидальными нечеткими интервалами (рис. 1). Выбор сигмоидальных функций, а не традиционно используемых трапецеидальных, позволяет получить более сглаженную результирующую функцию. На рис. 1, а, б показаны функции принадлежности входных переменных «РЧ» и «СИРЧ», а на рис. 1, в приведена нечеткая

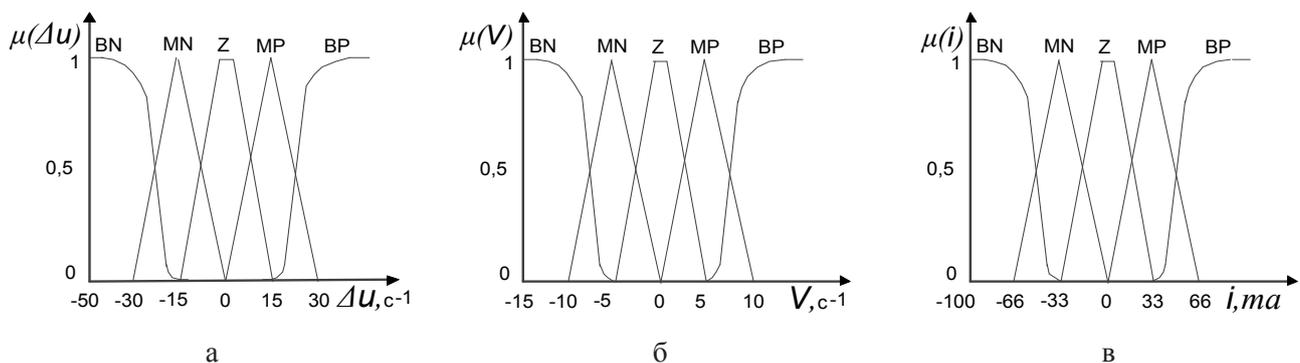


Рис. 1. Нечеткие функции принадлежности лингвистических переменных: а – «РЧ, Δu »; б – «СИРЧ, V »; в – «Ток, i »

Лесопромышленный комплекс

функция лингвистической выходной переменной «Ток». Что касается выходной переменной, то в середине интервала использование триангулярной нормы задает фиксированное значение ноль. В этом случае выходной параметр регулятора при заданном значении прижима будет представлять собой колебательный процесс с минимальной амплитудой около точки нуля. Стабилизировать процесс позволяет задание не точки, а интервала, поэтому принята трапецеидальная функция.

Во многих случаях при решении подобных задач [3] на универсуме нечеткого множества принимают минимальное значение функции принадлежности, равное трем, что позволяет ограничиться небольшим объемом базы правил. Но в таких случаях в зависимости от размерности параметров выходная величина аппроксимируется менее гладкой ступенчатой функцией. В данном случае будет целесообразно принять пять значений входных и выходной лингвистических переменных.

В качестве обозначений лингвистических переменных для предложенных функций приняты

следующие значения: «Большое отрицательное» BN; «Среднее отрицательное» MN; «Ноль» Z; «Среднее положительное» MP; «Большое положительное» BP.

В терминах теории нечетких множеств лингвистические переменные определены терм-множествами со следующими значениями:

- «РЧ, Δu » $\{u_{BN}, u_{MN}, u_Z, u_{MP}, u_{BP}\}$;
- «СИРЧ, V » $\{V_{BN}, V_{MN}, V_Z, V_{MP}, V_{BP}\}$;
- «Ток, i » $\{i_{BN}, i_{MN}, i_Z, i_{MP}, i_{BP}\}$.

Формирование базы правил системы нечеткого вывода. Для нечеткого вывода функции принадлежности используем метод Мамдани [1], что предполагает разработку базы правил нечеткой продукции. Составим базу правил нечеткой продукции для вывода функции принадлежности в матричной форме. В полном объеме база правил приведена в таблице.

Синтез нечеткой модели управления средствами Fuzzy Logic Toolbox. Изложенная формальная постановка задачи нечеткого вывода позволяет реализовать ее в специализированных компьютерных программах.

Реализация настоящей задачи нечеткого вывода выполнена в среде FIS Editor (рис. 2) приложения MatLab Fuzzy Logic Toolbox [5].

В данном случае использовался алгоритм по известной [2–4] методике:

- 1) фаззификация (введение нечеткости), рис. 2, а–в;
- 2) формирование базы правил нечеткой продукции (рис. 2, г);
- 3) нечеткий вывод (рис. 2, д);
- 4) дефаззификация (приведение к четкости), рис. 2, д.

Результирующая функция нечеткого вывода автоматического управления изображена на рис. 2, е.

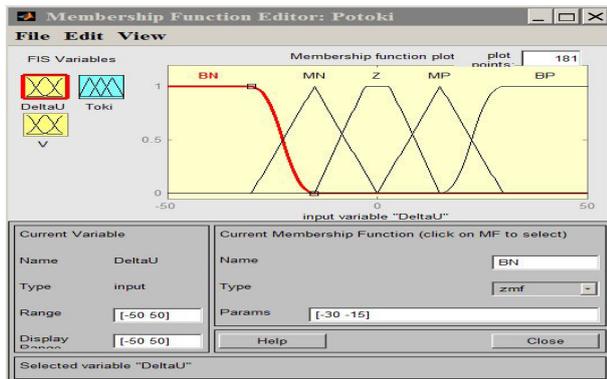
Выводы

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

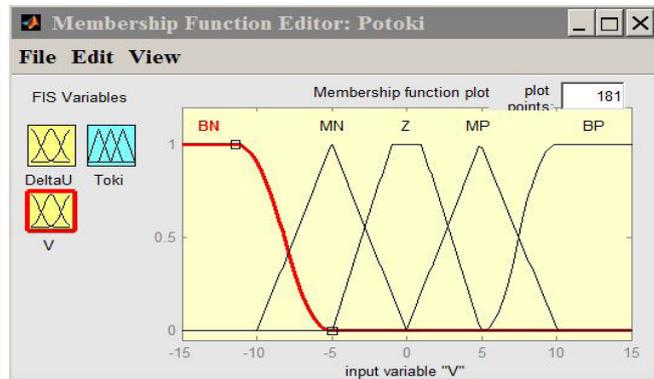
1. В настоящее время совершенствование автомобилей невозможно без применения компьютерных средств. Разработка программного обеспечения на базе MatLab позволяет эффективно использовать информационные технологии в исследованиях, проектировании и совершенствовании конструкций автомобилей.

Состав базы правил нечеткой продукции

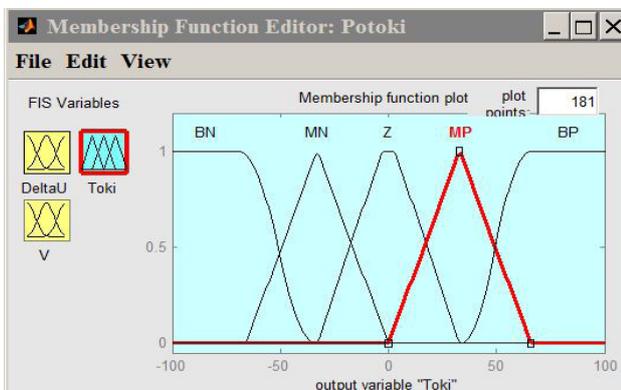
Значения лингвистической переменной «СИРЧ, V »	Значения выходных нечетких подмножеств «Ток, i » при изменении нечеткой функции «РЧ, Δu »				
	u_{BN}	u_{MN}	u_Z	u_{MP}	u_{BP}
V_{BN}	i_Z	i_Z	i_Z	i_Z	i_Z
V_{MN}	i_{MP}	i_Z	i_Z	i_Z	i_{MN}
V_Z	i_{BP}	i_{MP}	i_Z	i_{MN}	i_{BN}
V_{MP}	i_{BP}	i_{BP}	i_Z	i_{BN}	i_{BN}
V_{BP}	i_{BP}	i_{BP}	i_Z	i_{BN}	i_{BN}



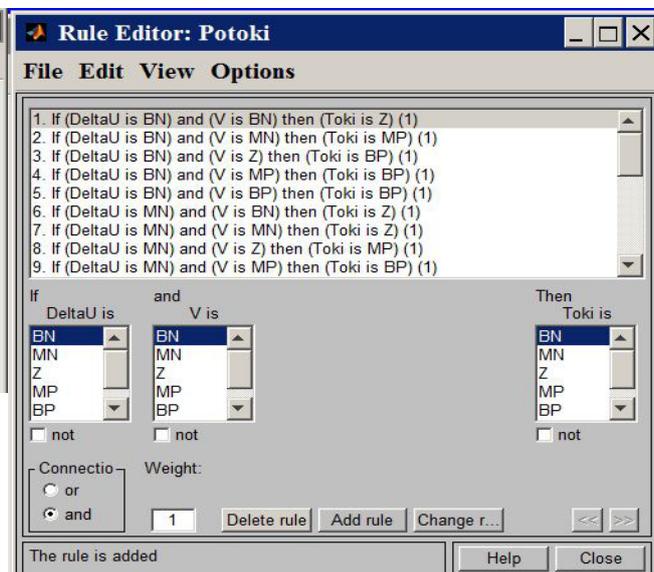
а



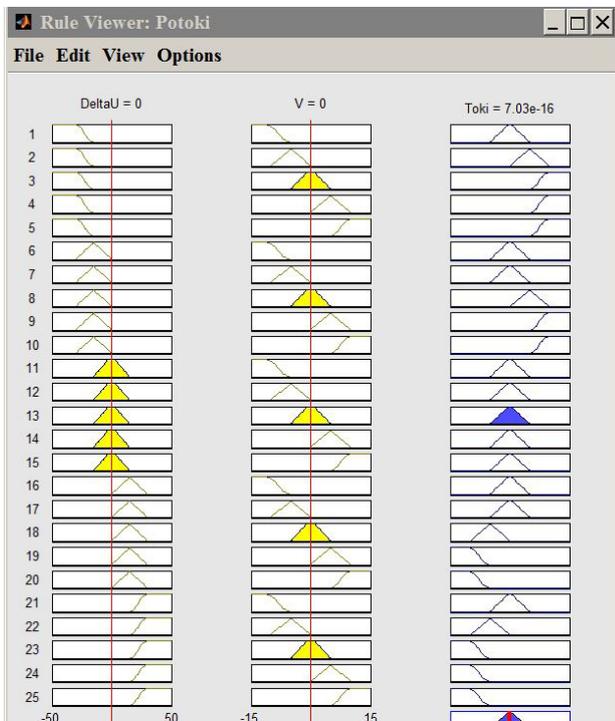
б



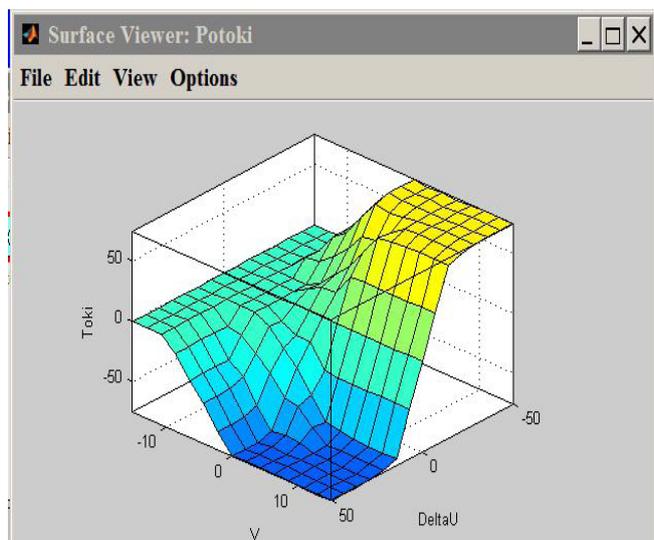
в



г



д



е

Рис. 2. Нечеткий вывод в среде FIS Editor приложения MatLab:

а – нечеткая функция принадлежности переменной «РЧ, u »; б – нечеткая функция принадлежности переменной «СРЧ, V »; в – нечеткая функция принадлежности лингвистической переменной «Ток, i »; г – база правил нечеткого вывода; д – процедура нечеткого вывода и приведения к четкости; е – функция нечеткого вывода

Лесопромышленный комплекс

2. Использование теории нечетких множеств в задачах управления позволяет разрабатывать для автомобилей системы автоматического регулирования с более широкими возможностями, например конструкции без дифференциала, без антиблокировочной системы колес.

3. Полученная нечеткая модель обеспечивает качественное автоматическое управление с прогнозированием разности частот вращения колес, скорости изменения разности частот вращения колес и может использоваться для разработки контроллера соответствующей САУ.

4. Адекватность предложенной модели обеспечивается корректностью постановки задачи и выполнения нечеткого вывода на основе известных методик, а также использованием лицензионного программного обеспечения системы MatLab.

Библиографический список

1. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. М.: БИНОМ, 2009. 798 с.
2. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MatLab и fussyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.
3. Васильев В. И., Ильясов Б. Г. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика: учеб. пособие. М.: Радиотехника, 2009. 393 с.
4. Шарипов В.М. и др. Тракторы и автомобили: учебник для студ. вузов. М.: Изд. дом «СПЕКТР», 2010. 351 с.
5. MATLAB® & Simulink® Release Notes for R2008a. URL: www.mathworks.com

УДК 674.093.2-413.84

Г.Л. Васильев, В.В. Чамеев, А.В. Солдатов
(*G.L. Vasilev, V.V. Chameev, A.V. Soldatov*)

*Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург*

**УПРАВЛЕНИЕ ЛЕСООБРАБАТЫВАЮЩИМИ ЦЕХАМИ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ НА БАЗЕ КОМПЛЕКС-ПРОГРАММЫ «ЦЕХ»
(MANAGING FOREST PROCESSING WORKSHOPS TIMBER COMPANIES BASED
ON COMPLEX PROGRAMS "SHOP")**

Приведены схема решения задач анализа и синтеза на базе комплекс-программы «ЦЕХ», рабочие таблицы по планированию работы лесообработывающего цеха.

Are adduced the scheme of problem solving of the analysis and synthesizing on the basis of the complex-program «ЦЕХ», working tables on scheduling shop of processing of a forest.

На кафедре «Технология и оборудование лесопромышленного производства» создана и непрерывно совершенствуется многофункциональная комплекс-программа (КП) «ЦЕХ» для решения различных задач анализа и синтеза применительно к лесообработывающим цехам лесопромышленных предприятий.

КП «ЦЕХ» состоит из пяти основных компонент-программ (кп). Кп состоят из функционально законченных групп программ. В основу программ заложены аналитические, имитационные и оптимизационные методы. Каждая компонент-программа может применяться самостоятельно. Основные математические

модели операций технологического процесса лесообработывающего цеха (ЛОЦ), схема работы с КП «ЦЕХ», основной состав решаемых задач и методика технологических расчетов приведены в работе [1]. Ниже излагается режим работы КП «ЦЕХ» для управления лесообработывающими цехами.