

Рис. 6 Построение динамической модели.

На рис. 5 и 6 представлена схема автоматизированного построения модели трансмиссии с учетом взаимодействия обеих подсистем в соответствии с рис. 1.

УДК 629.11: 004.89

В.П. Тарасик, С.А. Рынкевич

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕМ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

*Могилевский государственный технический университет  
Могилев, Беларусь*

Автоматизация управления автомобилями позволяет существенно повысить показатели их эффективности и качество процессов функционирования механизмов и подсистем, обеспечить высокий технический уровень и конкурентоспособность. В связи с бурным развитием электронных вычислительных средств и микроэлектроники на современных автомобилях перспективным направлением автоматизации является создание интеллектуальных систем управления (ИСУ) [1].

Цель выполненных исследований — разработка алгоритма интеллектуального управления автомобилем с использованием методологии на основе теории нечетких множеств (ТНМ) [2, 3] и оценка его эффективности на конкретном автомобиле.

В качестве объекта управления выбран автомобиль-самосвал БелАЗ грузоподъемностью 45-60 т, оснащенный дизельным двигателем мощностью 537 кВт и гидромеханической коробкой передач (ГМКП) с блокируемым гидродинамическим трансформатором (ГДТ).

В соответствии с методологией системного подхода в процессе исследований объект автоматизации рассматривается как система с сосредоточенными параметрами, функционирующая в условиях внешней среды, оказывающей многофакторные случайные воздействия. Физические свойства объекта описываются системой обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений. Сложность теоретической математической модели не позволяет в приемлемые сроки решать поставленные проблемы и не годится для создания алгоритма работы контроллера системы управления. Для построения алгоритма функционирования автоматизированной системы управления (АСУ), оценки показателей качества и эффективности автотранспортных средств (АТС) целесообразно

использовать экспериментальные факторные модели [4]. Такие модели получают на основе теории планирования эксперимента.

Разработка алгоритма интеллектуального управления включает два этапа. На первом этапе проводился планируемый вычислительный эксперимент на основе теоретической математической модели автомобиля. Полученные регрессионные модели затем использовались для оптимизации характеристик АСУ [5]. Эти характеристики составляют основу ИСУ, ее ядро.

Далее это ядро необходимо трансформировать, наполнив его интеллектуальными качествами и наделив способностью мыслить и принимать решения. Для этого используются принципы теории искусственного интеллекта и ТНМ, что позволяет создать простой алгоритм работы контроллера системы управления, обеспечивающий высокое быстродействие и функционирование в режиме реального времени [2].

Трансформация ядра алгоритма АСУ является вторым этапом синтеза. На этом этапе используют методологию, изложенную в работе [3]. Данная методология включает следующие процедуры: описание информационных переменных с помощью функций принадлежности; составление продукционных правил управления; составление программы для получения выходного решения на основе составленных правил.

Использованы следующие информационные переменные: угловая скорость турбинного колеса ГДТ  $\omega_t$ , положения педалей акселератора  $\gamma_a$  и тормоза  $\gamma_t$ , номер  $N_n$  включенной передачи, скорости изменения положения педалей акселератора  $\dot{\gamma}_a$  и тормоза  $\dot{\gamma}_t$ , ускорение (замедление)  $\dot{v}$  машины и величина уклона  $i$  продольного профиля опорной поверхности дороги. С помощью функций принадлежности предпосылок IR, IZ, BNPA, BNPT, VU описаны информационные переменные  $\gamma_a$ ,  $\gamma_t$ ,  $\dot{v}$ ,  $\dot{\gamma}_a$ ,  $\dot{\gamma}_t$ ,  $i$  [3]. В качестве функций принадлежности заключений PPVV и PPVN приняты  $\Lambda$ -образные функции. Используемые функции принадлежности нечетких множеств имеют следующий физический смысл: IR и IZ — интенсивность разгона и замедления, BNPA и BNPT — быстрота нажатия на педали акселератора и тормоза, VU — величина уклона, PPVV и PPVN — программные значения переключений соответственно на высшие и низшие передачи.

Были составлены 12 продукционных правил. Они сформированы с использованием стандартной программы «fuzzy logic» (рис. 1).

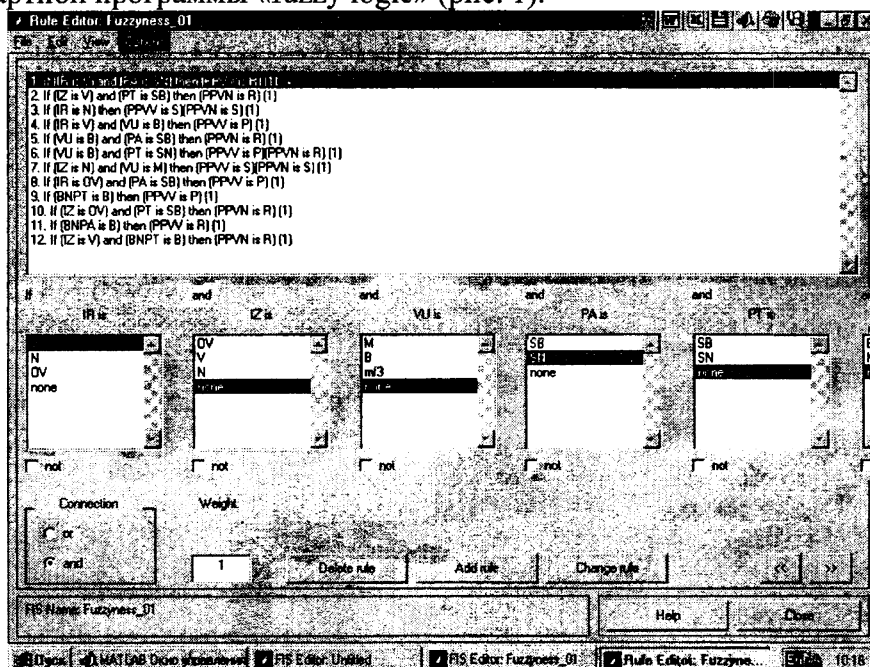


Рис. 1. Продукционные правила нечеткого управления

Для реализации на ЭВМ процедуры трансформации синтезированного ядра алгоритма для АСУ с использованием теории нечетких множеств была разработана программа, алгоритм которой приведен на рис. 2.

На рис. 3 показан алгоритм программы расчета эффективности управления автомобилем с применением теории нечетких множеств.

Исследования эффективности алгоритма управления автомобилем осуществлялись в соответствии со следующей методикой. Производились расчеты на ЭВМ при имитации движения карьерного самосвала БелАЗ-7555А по типовому маршруту карьера «Гранит» (г. Микашевичи). Длина трассы составляет 3000 метров и содержит 22 разбиения по участкам, включающим повороты, уклоны и единичные препятствия, требующие изменения скорости движения в соответствии с техническими требованиями на эксплуатацию автомобиля. Количество заездов равнялось трем в каждом направлении. При этом фиксировались следующие характеристики: средняя скорость движения  $v_{\text{ср}}$ , путевой расход топлива  $Q_s$ , количество переключений передач, блокировок и разблокировок ГДТ, величина максимальных продольных ускорений на рабочем месте водителя. Переключения передач, блокировки и разблокировки ГДТ осуществлялись по оптимальным характеристикам, разработанным в работе [5].

При моделировании учитывалась логика действий водителя, которая сводилась к различному воздействию на педали акселератора и тормоза, определяющему степень разгона либо замедления АТС. Имитировались действия квалифицированного водителя в типовых дорожных ситуациях, как то: снижение скорости на поворотах и при преодолении единичных препятствий путем применения основной тормозной системы, ограничение скорости на спусках, разгон с максимальной интенсивностью.

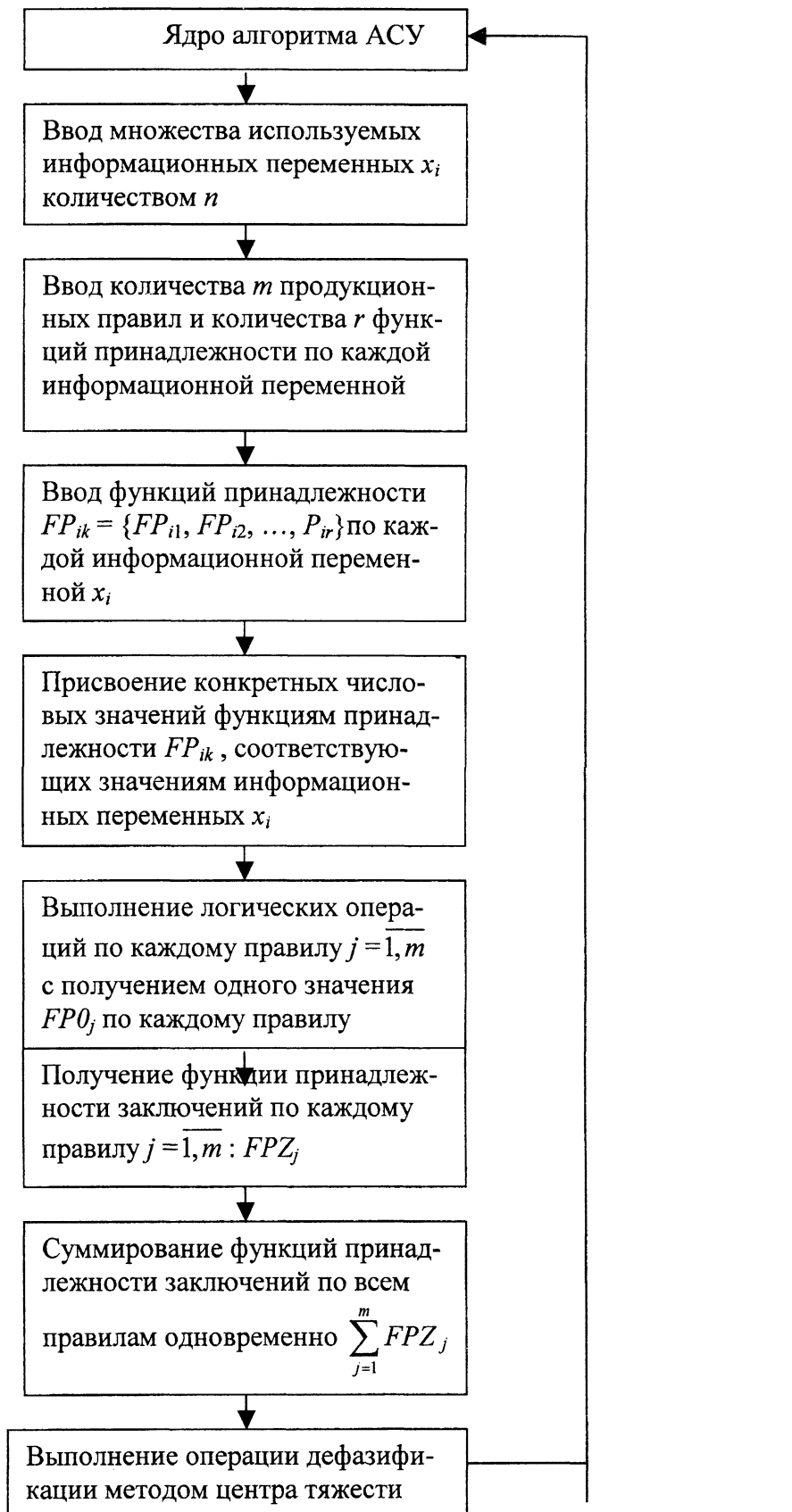


Рис. 2. Алгоритм программы получения выходного решения на основе теории нечетких множеств

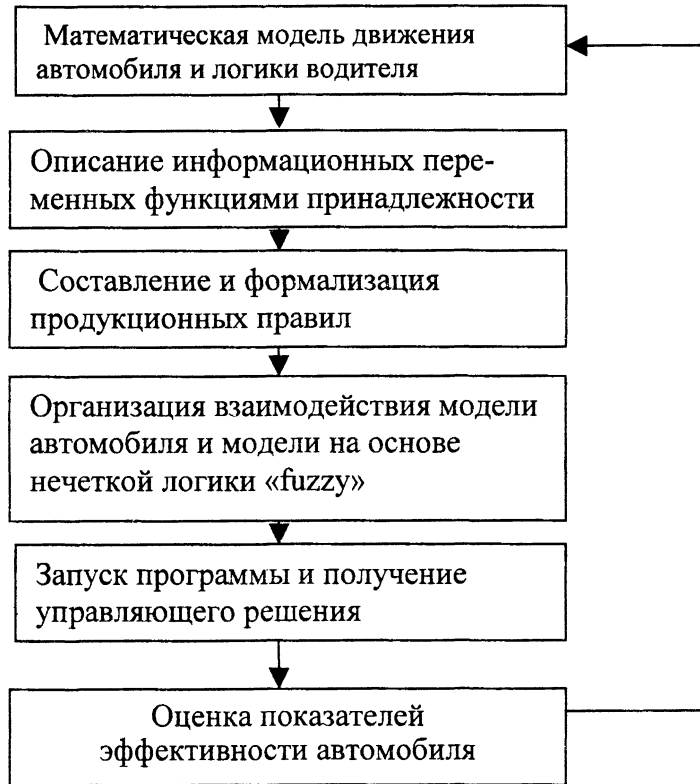


Рис.3. Алгоритм программы расчета эффективности управления автомобилем на основе теории нечетких множеств

На рис. 4 показаны результат формирования управляющего сигнала на переключение передачи при разгоне автомобиля программой «fuzzy».

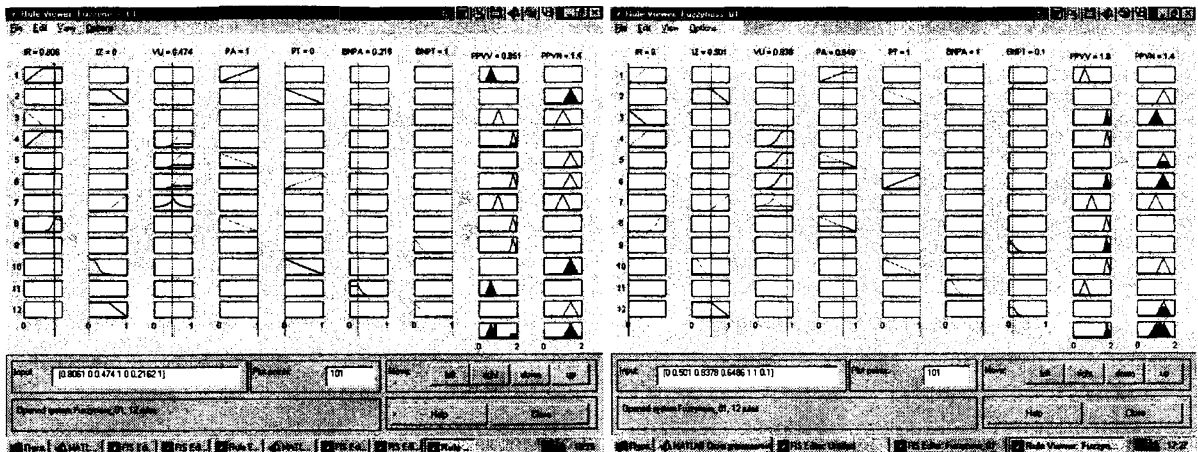


Рис. 4. Процессы получения управляющего сигнала:  
 а — на режиме разгона; б — для режима торможения на спуске

Из рис.4,а видно, что при разгоне автомобиля (предположим, при движении на второй передаче) с ускорением  $1,58 \text{ м/с}^2$  (соответствует значению аргумента параметра  $IR = 0,806$ ) и полным и быстрым нажатии на педаль акселератора сформирована команда на более раннее переключение на высшую (третью) передачу, т.е. на 15% раньше по сравнению с программным значением. При движении автомобиля на крутом спуске (рис.4,б), соответствующем величине уклона  $0,0836$ , при резком торможении (полное и быстрое нажатие на педаль тормоза) сформированы две команды: запрет переключения

на высшие передачи (область программных значений  $1,8 \omega_{т\text{ опт}}$ ) и смещение момента переключения на низшую передачу в сторону раннего управления на величину 40% от программного значения.

Эффективность алгоритма ИСУ автомобилем оценивалась по отношению к управлению по оптимальным характеристикам с элементами искусственного интеллекта и без них.

Средняя скорость, путевой расход топлива и другие показатели определялись по результатам пяти заездов по трассе на каждом из режимов движения: 1) с управлением по оптимальным характеристикам без учета и 2) с учетом интеллектуальных качеств системы.

В результате проведенных расчетов установлено, что в первом случае среднее количество переключений передач составило 26 (14 на высшие и 12 на низшие передачи), блокировок ГДТ — 24, разблокировок ГДТ — 20. Средняя скорость движения составила 6,72 м/с, а путевой расход топлива — 379,4 л / 100 км. Во втором случае общее количество переключений передач сократилось на 6 (в 1,3 раза); при этом достигнуто уменьшение количества переключений на высшую передачу на 4 (в 1,4 раза) в связи с запретом. Количество разблокировок ГДТ из-за ухудшения дорожных условий (подъемы и препятствия) увеличилось на 6 (в 1,3 раза). Последний фактор, очевидно, способствует наблюдаемому увеличению средней скорости движения (6,81 м/с) и снижению путевого расхода топлива (374,3 л / 100 км).

Установлено, что смещение программных характеристик управления (более ранние переключения передач) при движении автомобиля в условиях, приближенных к реальным, позволяют улучшить технико-экономические показатели. Сделан важный вывод: при разгоне или замедлении автомобиля необходимо осуществлять более ранние переключения передач. Эффективность такого управления оценивалась путем движения автомобиля по маршруту вначале без смещения характеристик управления, а затем со смещением, причем во втором случае применялось интеллектуальное управление. В итоге во втором случае средняя скорость повысилась на 5%, а путевой расход топлива снизился на 6%.

Установлен эффект повышения безопасности движения автомобиля и надежности управления при наделении системы интеллектуальными качествами. Это обеспечивается путем более строгого соблюдения предписаний инструкции по эксплуатации. Отмечено также, что максимальные значения продольных ускорений автомобиля в этом случае снижаются в 1,1—1,2 раза.

Результаты оценки эффективности управления приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Выявление эффекта от использования ИСУ на автомобиле

Показатель	Характеристики маршрута движения	
	Без единичных препятствий	С единичными препятствиями
Технико-экономические показатели		
Повышение средней скорости	+	—
Снижение расхода топлива	+	+
Снижение динамических нагрузок	+	+
Безопасность и надежность		
Обеспечение безопасности	+	+
Обеспечение надежности	+	+

Примечание: + есть эффект; — нет эффекта

Таблица 2. Результаты оценки эффективности ИСУ автомобилем

Режим движения	П а р а м е т р ы				
	Средняя скорость $V_{ср}$ , м/с	Путевой расход топлива $Q_s$ , л/100км	Макс. продол. ускорения $\dot{v}$ , м/с <sup>2</sup>	Количество переключений на 1 км пути	Количество блокировок (разблокировок) на 1 ГДТ на 1 км пути
1. Управление по оптимальным характеристикам без применения ИИ	6,72	379,4	1,23...1,27	8,7	14,7
2. Интеллектуальное управление	6,81	374,3	1,15...1,19	6,7	16,7
Характеристика увеличения параметра	1,013	—	—	—	1,14
Характеристика уменьшения параметра	—	1,014	1,07	1,3	—

Анализ приведенных в таблицах 1 и 2 результатов показывает, что использование ИСУ на АТС является обоснованным и дает неоспоримый эффект практически для всех случаев движения (исключением является режим движения с препятствиями, который приводит к некоторому снижению средней скорости). В целом интеллектуальное управление АТС на карьерном маршруте увеличило среднюю скорость движения автосамосвала на 1,3%, снизило путевой расход топлива на 1,4% и максимальные продольные ускорения на 7%. Отмечено снижение количества переключений передач (в связи с запретами) на 30% и некоторое увеличение количества блокировок/разблокировок ГДТ (на 14%). Невысокий процент улучшения скоростных и топливно-экономических показателей объясняется тем, что, во-первых, сравнение осуществлялось с теоретическими оптимальными, уже и так улучшенными характеристиками, во-вторых, интеллектуальное управление в первую очередь обеспечивало безопасность движения путем осуществления запретов на переключения на высшие передачи на спуске, при торможении и т.д., в-третьих, оценка производилась на маршруте, имеющем сравнительно небольшую протяженность. Снижение максимального продольного ускорения достигнуто, по-видимому, за счет коррекции моментов переключений передач в зависимости от величины ускорения (замедления) машины, а также за счет оперативного контроля за управляющими воздействиями (характеристиками нажатия на педаль акселератора и тормоза).

**Выводы.** Применение интеллектуального управления энергетическими режимами автомобиля позволило выявить следующие эффекты:

осуществлялось автоматическое смещение оптимальных характеристик управления переключениями передач при разгонах и замедлениях автомобиля. В результате средняя скорость увеличилась на 5%, а путевой расход топлива снизился на 6% по сравнению с управлением по оптимальным характеристикам без учета величины ускорения машины;

осуществлялись запреты на переключения на высшие передач в опасных ситуациях (на крутых спусках, при высоких скоростях движения, при нажатии на педаль тормоза);

обеспечено снижение продольных ускорений автомобиля даже без применения процессов управления двигателем при переключениях передач;

повысилась эффективность торможения путем применения торможения двигателем и более раннего переключения на низшие передачи;

повысилась общая безопасность управления автомобилем.

Исследования, проведенные в настоящей статье, могут быть положены в основу создания интеллектуальных систем управления различными автомобилями и разработки эффективных алгоритмов их управления.

**Литература.** Тарасик В.П. Концепция интеллектуальной системы управления гидромеханической трансмиссией АТС / В.П. Тарасик, С.А. Рынкевич // Автомобильная промышленность. — 2000. — №6. — С.12—14. 2. Тарасик В.П. Нечеткие множества как основа синтеза алгоритмов управления ГМТ / В.П. Тарасик, С.А. Рынкевич // Автомобильная промышленность. — 2001. — №1. — С.19—22. 3. Тарасик В.П. Методология синтеза алгоритмов управления гидромеханической трансмиссией автомобиля на основе теории нечетких множеств / В.П. Тарасик, С.А. Рынкевич // Мехатроника. — 2001. — №1. — С.39—46. 4. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем. — Мн.: Дизайн-ПРО, 1997. — 640 с.: ил. 5. Тарасик В.П. Синтез алгоритмов управления гидромеханической трансмиссией карьерного самосвала БелАЗ / В.П. Тарасик, С.А. Рынкевич // Весці НАН РБ, сер. Фіз-тэхн. навук. — 2001. — №2. — С.48—58.

УДК 629.11: 004.89

В.В. Корсаков, Ан.М. Захарик, Ал.М. Захарик, А.Н Кузьмин

## ВЕДУЩИЙ МОСТ С ОПТИМАЛЬНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ СОСТАВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ БОРТОВОЙ ПЕРЕДАЧИ

*Минский автомобильный завод  
Минск, Беларусь*

Для ведущего моста portalного типа транспортного средства построена динамическая модель с учётом кинематического взаимодействия её составляющих звеньев. Анализируя результаты моделирования, можно сделать вывод о существующих резонансных явлениях бортового редуктора в области рабочих частот трансмиссии, которые в значительной степени влияют на надёжность деталей трансмиссии. Однако, изменяя параметры элементов зубчатого зацепления, к которым

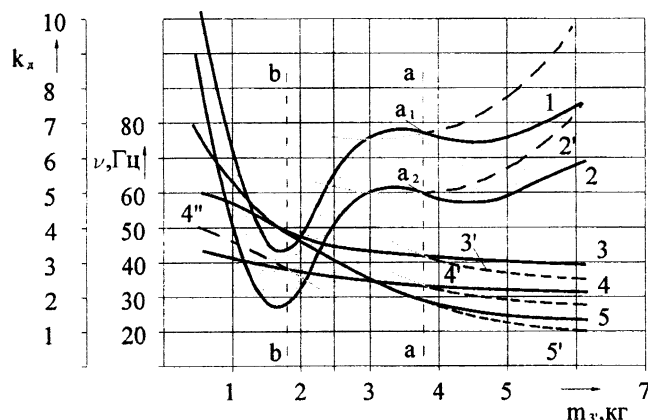


Рис. 1. Зависимость резонансной частоты и коэффициента динамичности от  $m_3$ .