

---

УДК 629.113:004.021

*В. П. Тарасик, Р. В. Плякин*

## АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧ АВТОМОБИЛЯ С ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ

---

UDC 629.113:004.021

*V. P. Tarasik, R. V. Pliakin*

## ALGORITHMS FOR AUTOMATIC GEAR SHIFTING IN THE AUTOMOBILE WITH HYDROMECHANICAL TRANSMISSION

---

### **Аннотация**

Приведены схемы разработанных алгоритмов автоматического управления гидромеханической передачей. Описаны использованные источники информации о режимах движения автомобиля, процессах функционирования механизмов системы управления переключением передач и воздействиях на органы управления автомобилем. Предложены алгоритмы, исключающие негативное влияние на работу системы управляющих воздействий водителя.

### **Ключевые слова:**

алгоритм автоматического переключения передач, гидромеханическая передача, дизельный двигатель с всережимным регулятором, адаптация алгоритма к условиям эксплуатации, пороговые значения параметров алгоритма.

### **Abstract**

The diagrams of algorithms developed for the automatic control of hydromechanical transmission are given. The paper describes used sources of information on the automobile driving modes, the operation of mechanisms of the gear shift control system and the effects on the automobile controls. The algorithms are offered that eliminate negative effects of the driver's control actions on the system operation.

### **Key words:**

algorithm for automatic gear shifting, hydromechanical transmission, diesel engine with an all-speed governor, adaptation of algorithm to operating conditions, threshold values of the algorithm parameters.

---

Эффективность системы автоматического управления гидромеханической передачей автомобиля в значительной мере определяется алгоритмом ее функционирования. При разработке алгоритма автоматического управления переключением передач решению подлежат две основные задачи: синтез характеристик переключения передач и синтез характеристик управления фрикционными элементами, осуществляющими изменение передаточных чисел коробки передач (КП).

В работе рассматривается первая

задача. В процессе ее решения определяются характеристики переключения передач, отображающие пороговые значения информационных переменных, на основе которых выполняется формирование сигналов управления, осуществляемое микропроцессорным контроллером и реализуемое электрогидравлическими исполнительными механизмами. Сигналы управления несут информацию об оптимальных условиях выполнения программы переключения передач и блокирования гидротрансформатора (ГДТ) автоматической коробки передач.

Характеристики управления переключением передач определяются из условий получения высоких показателей эффективности выполнения транспортной работы автомобилем, обеспечения безопасности и устойчивости движения, создания комфортных условий для водителя и пассажиров. Это достигается повышением средней скорости автомобиля на маршруте движения, снижением путевого расхода топлива, рациональным использованием мощности двигателя, исключением необоснованно частых переключений передач, исключением перегрузок двигателя и трансмиссии, учетом управляющих воздействий водителя, прогнозированием целесообразности переключения передачи в текущей ситуации, адаптацией программы переключения к дорожным условиям. Оценка степени выполнения этих требований осуществляется на основе соответствующей системы критериев.

Эффективность системы управления зависит от рационального использования функциональных свойств объекта автоматизации в режиме его функционирования в реальных условиях. Это возможно при применении множества источников информации о режимах движения автомобиля, работы двигателя и механизмов трансмиссии, управляющих воздействий водителя. На основе выполненных исследований в процессе решения задачи синтеза алгоритма автоматического переключения передач определен состав необходимых источников информации:

- положение педали акселератора  $\gamma_a$ ;
- скорость изменения положения педали акселератора  $d\gamma_a/dt$ ;
- частота вращения коленчатого вала двигателя  $n_d$ ;
- частота вращения турбины гидротрансформатора  $n_T$ ;
- частота вращения выходного вала коробки передач  $n_{в.в}$ ;
- частота вращения промежуточ-

ного вала коробки передач  $n_{пр.в}$ ;

- скорость автомобиля  $v$ ;
- ускорение автомобиля  $a$ ;
- номер включенной передачи  $N_{к.п}$ ;
- положение селектора режимов управления автоматической КП  $\gamma_{сел}$ ;
- состояние механизма блокировки гидротрансформатора  $N_{GDT}$ ;
- дискретный сигнал положения педали рабочего тормоза  $F_T$ ;
- дискретный сигнал положения рычага стояночного тормоза  $F_{т.с}$ ;
- дискретный сигнал положения органа включения тормоза-замедлителя  $F_{т.з}$ ;
- дискретный сигнал положения грузовой платформы самосвала  $F_{пл}$ ;
- уровень загрузки грузовой платформы автомобиля  $K_H$ ;
- температура рабочей жидкости коробки передач  $T_{р.ж}$ ;
- состояние управления двигателем в процессе переключения передач  $N_{DVS}$ ;
- информационный сигнал исправности датчика частоты вращения турбины  $F_{д.т}$ ;
- информационный сигнал исправности датчика частоты вращения выходного вала КП  $F_{д.в.в}$ .

В легковых автомобилях используют также угол поворота рулевого колеса, скорость его поворота, поперечную составляющую ускорения, крен кузова, скольжение ведущих колес и др.

Методика разработки алгоритма автоматического переключения передач изложена в [1], где приведены полученные характеристики и функциональная схема структуры алгоритма переключения передач. В статье приводится описание основных блоков структуры алгоритма: блока обработки информации об управляющих воздействиях водителя и текущем состоянии

управляемых механизмов автоматической коробки передач; блока формирования команд на включение высшей передачи; блока формирования команд на включение низшей передачи. Приведенные в схемах алгоритмов численные значения параметров относятся к гидромеханической передаче карьерного самосвала БелАЗ-7555Е.

На рис. 1 приведена подпрограмма анализа текущей информации об управляющих воздействиях водителя и состоянии управляемых механизмов КП. Результатом её работы является разрешение на переход к программе переключения передач вверх  $FunFormPPV$ , если выполняются предусмотренные запреты на переключение.

Для разрешения на переход к подпрограмме переключения передач необходимо выполнение следующих условий: срабатывание таймера задержки переключения передач  $t_3 > t_{3.п.п}(N_{к.п})$  и блокирования ГДТ  $t_3 > t_{3.бл}(N_{к.п})$  (блок 1); исправность обоих датчиков частоты вращения турбины ГДТ и выходного вала КП  $F_{д.т} = 0$  и  $F_{д.в.в} = 0$  (блок 2); равенство нулю дискретного сигнала включения рабочего  $F_T = 0$  и стояночного  $F_{т.с} = 0$  (блок 3) тормозов, а также дискретного сигнала поднятия грузовой платформы  $F_{пл} = 0$  (блок 4); положительное ускорение автомобиля  $a > 0$  (блок 5).

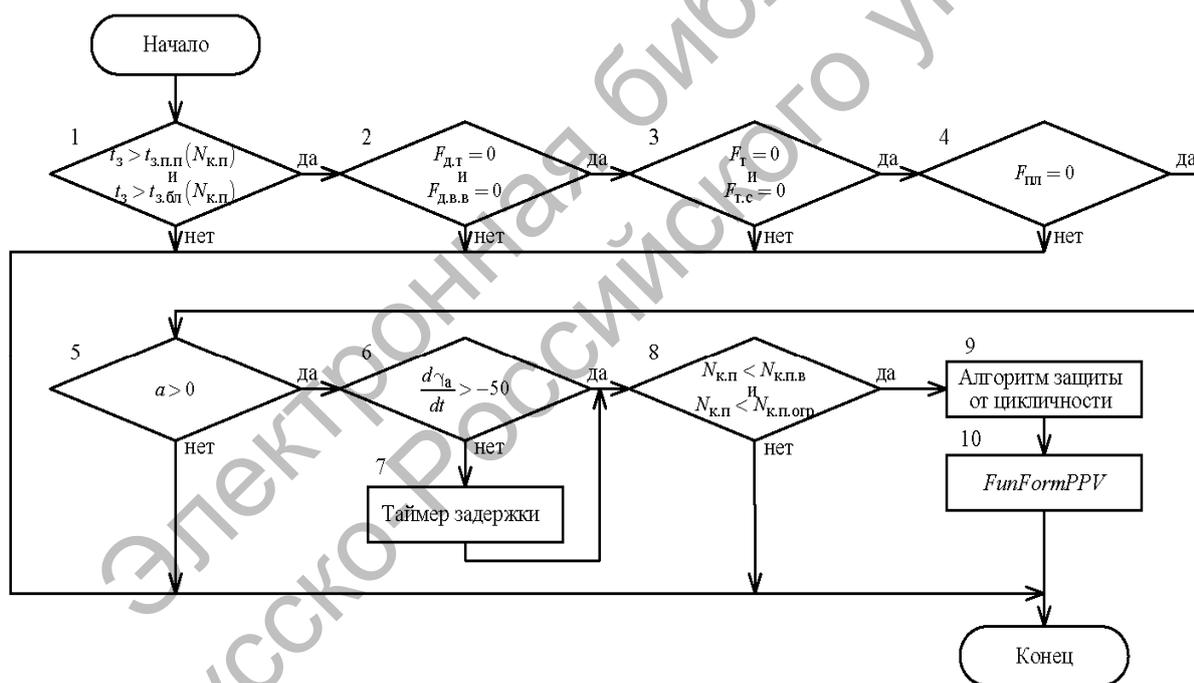


Рис. 1. Схема алгоритма формирования информации о переходе к программе переключения передач

При мгновенном отпуске педали акселератора может произойти необоснованное переключение на высшую передачу, что увеличивает количество переключений и ухудшает комфортность условий работы. Поэтому

вводится контроль скорости изменения координаты положения педали акселератора  $d\gamma_a/dt$ : её значение не должно превышать  $(-50 \text{ \%}/\text{с})$ . При невыполнении этого условия включается таймер задержки перехода к выполнению ос-

тальных проверок (блок 7), предусмотренных в блоках 8 и 9. Выход к программе *FunFormPPV* также запрещается, если включена высшая передача  $N_{к.п.в}$  либо введено водителем ограничение на использование высших передач. Ограничение номера высшей передачи  $N_{к.п.огр}$  осуществляется водителем посредством перевода рычага селектора режимов управления ГМП в положение *L (Low)*. Эти ограничения реализуются в блоке 8.

В тяжёлых дорожных условиях (низкое качество покрытия, холмистая местность и др.) могут происходить чрезмерно частые переключения смежных передач (цикличность переключения). Для исключения цикличности введена подпрограмма, оценивающая интервалы совершаемых переключений (блок 9). Если периодически с интервалами времени меньше заданной величины происходит последовательная смена одних и тех же смежных передач, то это отождествляется с явлением цикличности и подпрограмма блока 9 запрещает дальнейшие переключения передач вверх на заданный период времени поддержки.

На рис. 2 приведена схема алгоритма переключений с низших на высшие передачи. Схема содержит две ветви: левая ветвь отображает алгоритм переключения  $1 \rightarrow 2$  (с первой на вторую передачу), а правая ветвь – переключения на более высокие передачи. Переход к соответствующей ветви происходит в блоке 1. Наличие двух ветвей обусловлено различием характеристик этих переключений.

Рассмотрим схему алгоритма переключения  $1 \rightarrow 2$ , начинающуюся с блока 2. В этом блоке проверяется выполнение требования к температуре рабочей жидкости  $T_{р.ж}$ , предъявляемое к коробкам передач с автоматическим управлением. Переключение на высшие

передачи при температуре ниже  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  не допускается, но разрешается движение автомобиля на первой передаче. Поэтому при  $T_{р.ж} < 40\text{ }^{\circ}\text{C}$  алгоритм завершает свою работу.

При  $T_{р.ж} \geq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$  в блоке 4 или в блоке 5, в зависимости от величины координаты положения педали акселератора  $\gamma_a$  (блок 3), производится вычисление порогового значения частоты вращения выходного вала КП  $n_{п.п.в}$ , соответствующего скорости автомобиля при переключении на вторую передачу. Если  $\gamma_a > 60\text{ }%$ , то значение  $n_{п.п.в}$  вычисляется в блоке 4 на основе выражения

$$n_{п.п.в}(1 \rightarrow 2) = \frac{b_0 + b_1 \gamma_a}{u_{к.п}(1)}, \quad (1)$$

где  $b_0, b_1$  – коэффициенты;  $\gamma_a$  – положение педали акселератора, %;  $u_{к.п}(1)$  – передаточное число первой передачи.

Выражение (1) представляет собой уравнение регрессии, методика получения которого изложена в [1]. При  $\gamma_a \leq 60\text{ }%$  значение  $n_{п.п.в}$  вычисляется из соотношения, приведенного в блоке 5.

В блоке 6 проверяется информация об исправности датчика частоты вращения выходного вала КП, представляемая дискретным сигналом  $F_{д.в.в}$ . При  $F_{д.в.в} = 0$  этот датчик исправен, тогда в блоке 7 производится сравнение частоты вращения выходного вала КП  $n_{в.в}$  с пороговым значением  $n_{п.п.в}$ . Если условие блока 7 выполняется, то происходит переход к блокам 25 и 26, в которых формируется информация, необходимая для осуществления операций управления фрикционными КП и переключением передач, выполняемых в соответствующих модулях программы управления.

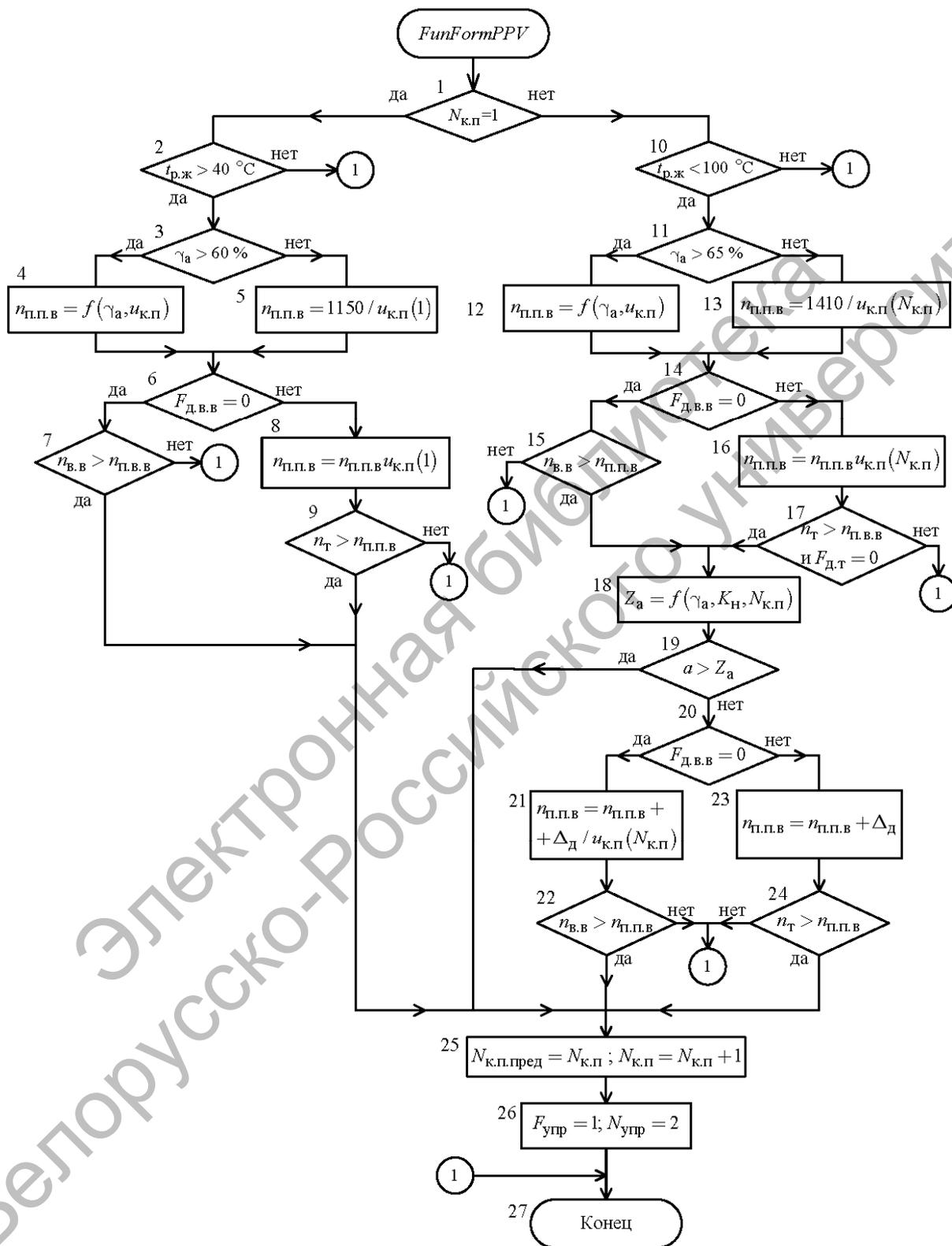


Рис. 2. Схема алгоритма переключений с низших на высшие передачи

Эта информация включает номер предыдущей передачи  $N_{к.п.пред} = N_{к.п}$  (в данном случае первой), номер включаемой передачи  $N_{к.п} = N_{к.п} + 1 = 2$ , сигнал на управление переключением передач  $F_{упр} = 1$  и сигнал вида совершаемого управления  $N_{упр} = 2$ . Обозначение вида управления  $N_{упр} = 2$  означает переключение передач вверх.

При неисправном датчике частоты вращения выходного вала КП его информационный сигнал  $F_{д.в.в} = 1$ . Тогда используется датчик частоты вращения турбины при условии, что его информационный сигнал  $F_{д.т} = 0$ , т. е. датчик исправен. Выполнение условия переключения на вторую передачу в этом случае проверяется в блоке 9 путем сравнения частоты вращения турбины  $n_T$  с ее пороговым значением  $n_{п.п.в}$ , вычисляемым в блоке 8.

При  $N_{к.п} \neq 1$  (блок 1) используется правая ветвь алгоритма. Проверяется выполнение условий, отображенных в блоках 10 и 11. При температуре рабочей жидкости  $T_{р.ж}$ , превышающей  $100^\circ\text{C}$ , переключение на высшие передачи не допускается. Если  $T_{р.ж} < 100^\circ\text{C}$ , то в зависимости от величины координаты  $\gamma_a$  в блоке 12 либо 13 производится вычисление значения  $n_{п.п.в}$ . При  $\gamma_a > 65\%$  (блок 12) используется выражение

$$n_{п.п.в}(i \rightarrow i+1) = \frac{b_0 + b_1\gamma_a + b_2\gamma_a^2}{u_{к.п}(i)}, \quad (2)$$

где  $i$  – номер включенной (предыдущей) передачи;  $u_{к.п}(i)$  – передаточное число  $i$ -й передачи;  $b_0, b_1, b_2$  – коэффициенты уравнения регрессии.

Численные значения коэффициентов  $b_i$  в выражениях (1) и (2) при одних и тех же индексах  $i$  различны.

При  $\gamma_a \leq 65\%$  значение  $n_{п.п.в}$  вычисляется в блоке 13.

В блоках 14–17 выполняются процедуры, аналогичные рассмотренным выше для блоков 6–9 левой ветви схемы алгоритма. Если условие блока 15 или 17 выполняется, осуществляется переход к блоку 18. В противном случае возможность переключения на высшую передачу исключается, и работа алгоритма завершается.

Успешный выход из блока 15 (или 17) представляет собой лишь необходимое условие для переключения на высшую передачу, т. к. скорость автомобиля достигла порогового значения. Однако оно может оказаться недостаточным для устойчивого режима движения на этой передаче. Если ускорение автомобиля на включенной высшей передаче окажется отрицательным, скорость его начнет падать и может произойти обратное переключение. В результате будут происходить частые необоснованные переключения двух смежных передач между собой. Для исключения этого нежелательного явления в блоке 18 вычисляется величина запаса ускорения  $Z_a$  на данной передаче, позволяющая прогнозировать целесообразность переключения на следующую высшую передачу при движении в данных дорожных условиях.

Характеристика запаса ускорения  $Z_a = f(\gamma_a, K_H, N_{к.п})$  определяется по формуле

$$Z_a = b_0 + b_1\gamma_a + b_2K_H + b_3\gamma_a K_H + b_4\gamma_a^2 + b_5K_H^2, \quad (3)$$

где  $b_0, b_1, \dots, b_5$  – коэффициенты регрессии, зависящие от номеров переключаемых передач;  $K_H$  – коэффициент уровня загрузки грузовой платформы автомобиля (при полной загрузке  $K_H = 1$ , для порожнего автомобиля  $K_H = 0$ ).

Методика получения уравнения регрессии (3) изложена в [1].

Если ускорение автомобиля  $a$  при движении в данных дорожных условиях превышает величину  $Z_a$ , переключение на следующую высшую передачу не приведет к замедлению автомобиля и будет вполне обоснованным. Поэтому при выполнении условия блока 19 в блоке 25 запоминается номер предыдущей передачи  $N_{к.п.пред} = N_{к.п}$  и присваивается номер включаемой смежной высшей передачи  $N_{к.п} = N_{к.п} + 1$ , а в блоке 26 формируется сигнал на управление переключением передач  $F_{упр} = 1$  и указывается его вид  $N_{упр} = 2$ , что означает переключение вверх.

Блоки 20–24 введены для возможности учета особенностей характеристики двигателя при всережимном регулировании частоты вращения колчатого вала. Такой способ управления скоростным режимом применяется наиболее часто в дизельных двигателях грузовых автомобилей большой грузоподъемности. При медленном разгоне автомобиля с таким двигателем на данной передаче и постепенном изменении дорожных условий двигатель может выйти на регуляторную ветвь скоростной характеристики. Тогда при превышении порогового значения  $n_{п.п.в}$  на соответствующую величину  $\Delta n_{п.п.в}$  и при положительном ускорении автомобиля  $a > 0$  может также оказаться целесообразным переход на высшую передачу. В блоке 21  $\Delta n_{п.п.в} = \Delta n_{д} / u_{к.п}(N_{к.п})$ , а в блоке 23  $\Delta n_{п.п.в} = \Delta n_{д}$ , где  $\Delta n_{д}$  – приращение частоты вращения вала двигателя при работе на регуляторной ветви характеристики в процессе разгона. Значение  $\Delta n_{д}$  выбирается из условия равенства ускорений на двух смежных передачах, между которыми осуществляется переключение. Тогда в блоке 21 или 23 осу-

ществляется пересчет порогового значения параметра  $n_{п.п.в}$  и при выполнении условий блока 22 или 24 формируется команда на переключение.

Схема алгоритма переключений с высших на низшие передачи представлена на рис. 3. Структура этого алгоритма аналогична структуре алгоритма переключений с низших на высшие передачи. Левая ветвь алгоритма отображает процедуры алгоритма переключения со второй на первую передачу, а правая ветвь – аналогичных переключений более высоких передач.

Пороговое значение частоты вращения выходного вала КП  $n_{п.п.н}$  при переключении  $2 \rightarrow 1$  (блок 3) вычисляется по формуле

$$n_{п.п.в}(2 \rightarrow 1) = \frac{b_0 + b_1 \gamma_a - \Delta n_T}{u_{к.п}(1)}, \quad (4)$$

а при переключениях на более высоких передачах (блок 10) – по формуле

$$n_{п.п.в}(i \rightarrow i-1) = \frac{b_0 + b_1 \gamma_a + b_2 \gamma_a^2 - \Delta n_T}{u_{к.п}(i-1)}, \quad (5)$$

где  $b_0, b_1, b_2$  – коэффициенты уравнений регрессий;  $\Delta n_T$  – величина гистерезиса характеристик переключения с низших на высшие передачи по отношению к характеристикам обратных переключений, приведенная к валу турбины, об/мин;  $i$  – номер включенной передачи;  $u_{к.п}(i-1)$  – передаточное число включаемой передачи с номером  $(i-1)$ .

Значения коэффициентов  $b_0, b_1$  в выражении (4) такие же, как в формуле (1), а коэффициенты  $b_0, b_1, b_2$  выражения (5) совпадают с коэффициентами формулы (2). У двигателей с всережимным регулированием эти коэффициенты постоянны, но различаются для каждой конкретной модели двигателя. Для двигателей с управлением подачей топлива непосредственно педалью акселератора (т. е. водителем) зависимости  $n_{п.п.в} = f(\gamma_a)$

гораздо сложнее, поэтому обычно используется информация о работе дви-

гателя в виде многомерного массива данных.

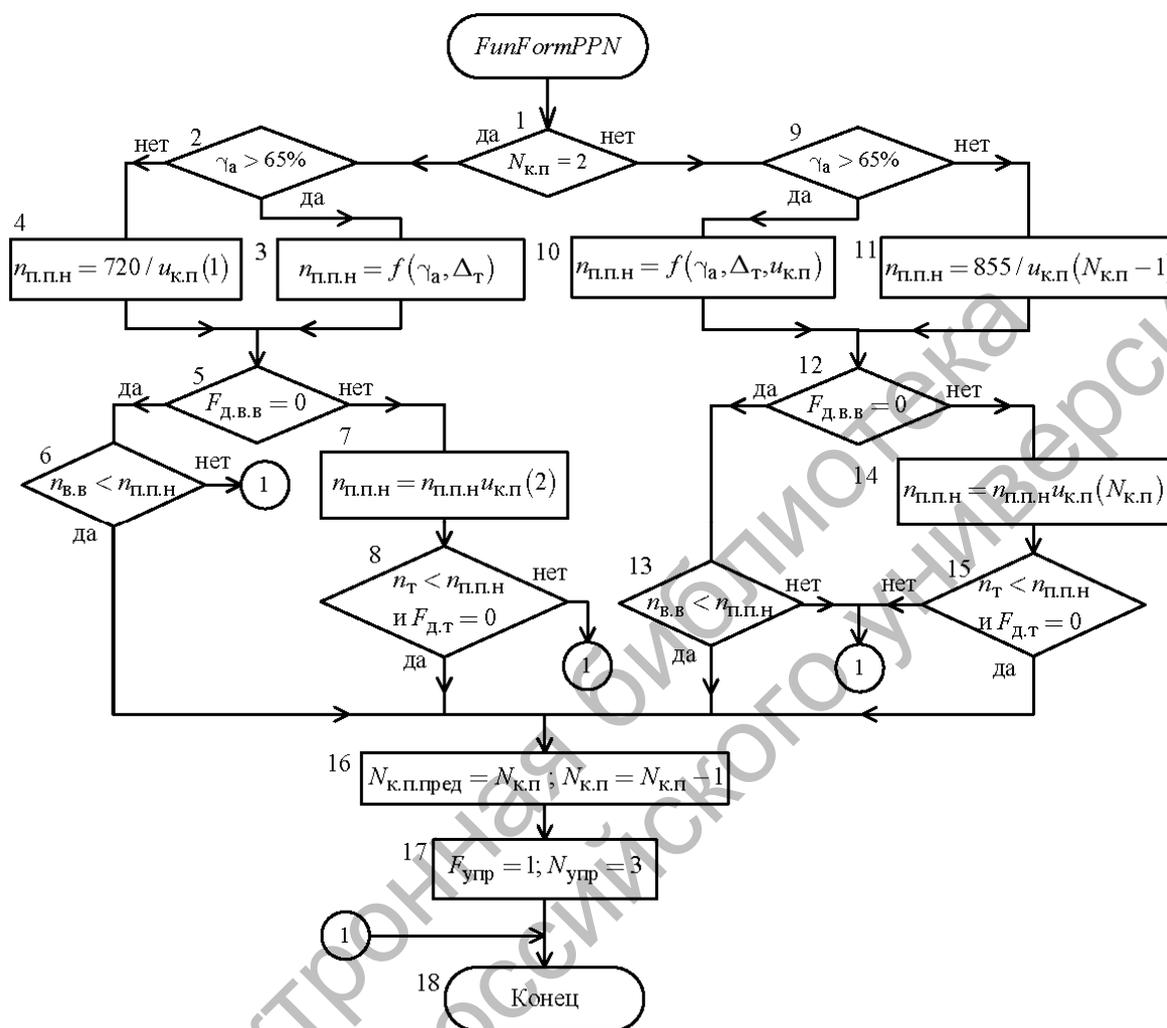


Рис. 3. Схема алгоритма переключений с высших на низшие передачи

При торможении автомобиля дискретный сигнал включения рабочего тормоза принимает значение  $F_T = 1$ . Тогда, согласно схеме алгоритма на рис. 1, переключение передач запрещается. После отпущения педали тормоза происходит смена сигнала с  $F_T = 1$  на  $F_T = 0$ , в результате запускается программа сравнения скорости движения автомобиля со значениями скоростей, характерными для соответствующих передач, т. е. с пороговыми значениями. Схема алгоритма этой программы пока-

зана на рис. 4. Она позволяет включить необходимую передачу после прекращения торможения автомобиля.

Пороговые значения частоты вращения выходного вала КП  $n_{п.п.в}(i \rightarrow i+1)$  переключения с  $i$ -й на  $(i+1)$ -ю передачу вычисляются по уравнениям регрессий (1), (2), (4), (5) при нулевой координате положения педали акселератора  $\gamma_a = 0$ . В блоках 2, 5, 8, 11, 14 частота вращения выходного вала КП  $n_{в.в}$  сравнивается с пороговыми значениями, и происходит выбор необ-

ходимой передачи  $N_{к.п}$ . В блоках 3, 6, 9, 12, 15 номер включённой передачи  $N_{к.п}$ , при которой осуществлялось торможение, сравнивается с выбранным номером. Если они не совпадают, то

формируются информационные сигналы  $N_{к.п}$  и  $N_{упр}$  на включение соответствующей передачи.

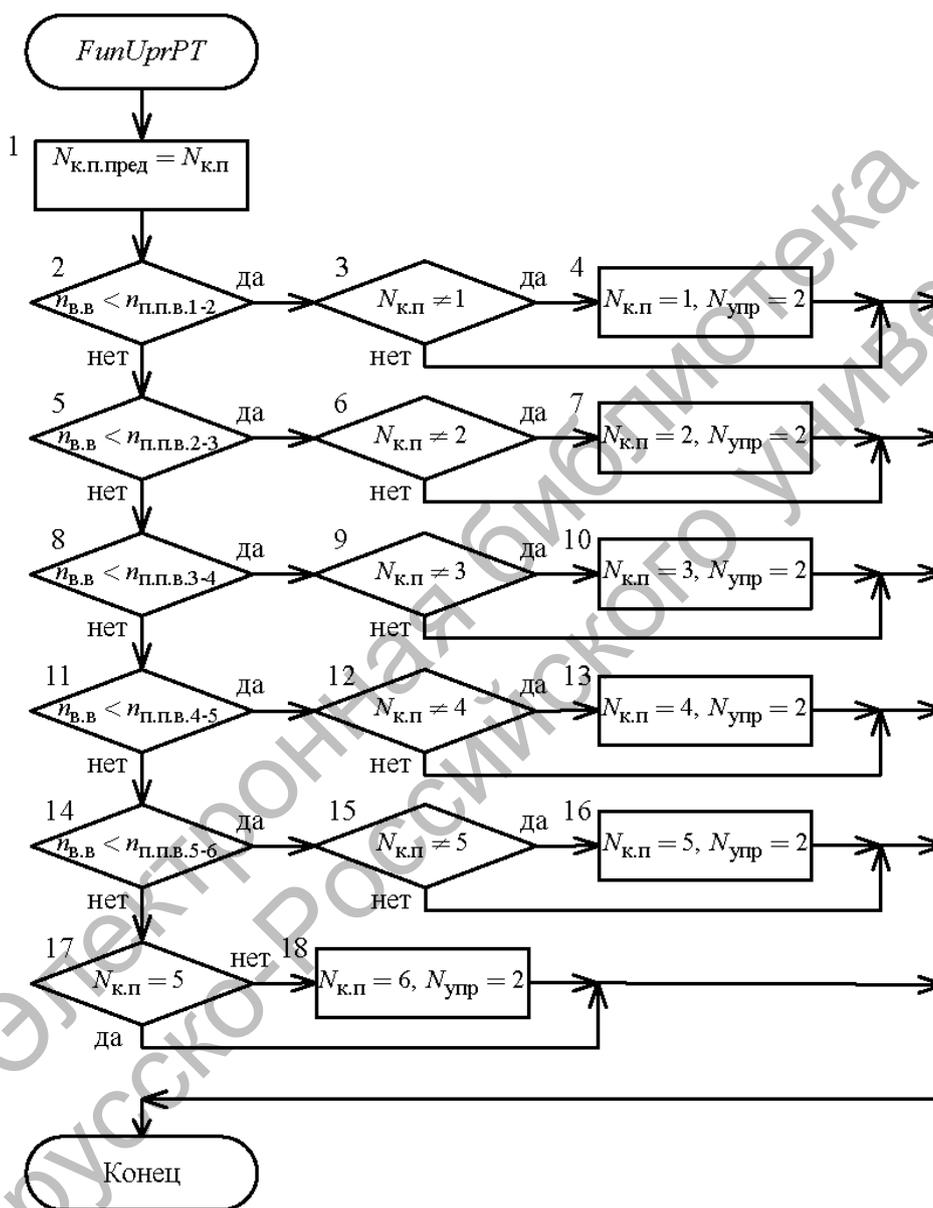


Рис. 4. Схема алгоритма включения передачи после торможения автомобиля

Для оценки влияния характеристик автоматического управления на функционирование механизмов коробки передач проведено моделирование процесса разгона автомобиля. Разгон осу-

ществляли на участке дороги с твердым покрытием длиной 1 км. Варьировали величину продольного уклона  $h$ , коэффициента нагрузки  $K_n$  и порогового значения частоты вращения турбины

гидротрансформатора при переключении на высшие передачи  $n_{п.п.в}$ . Разгон осуществлялся при полной подаче топлива в двигатель, т. е. при  $\gamma_a = 100\%$ . Использовалась математическая модель системы двигатель–трансмиссия–ведущие колеса–дорога, приведенная в [2–4].

Исследовалось влияние параметров  $n_{п.п.в}$ ,  $K_H$  и  $h$  на удельную работу

буксования фрикционов  $W_{уд}$ , осуществляющих переключение передач, на максимальные значения вращающего момента карданного вала  $M_{к.мах}$ , частоты вращения турбины  $n_{т.мах}$  и ускорения автомобиля  $a_{мах}$  в процессе переключения передачи. На рис. 5 приведены графики изменения исследуемых параметров при переключении 3 → 4 (с третьей на четвертую передачу).

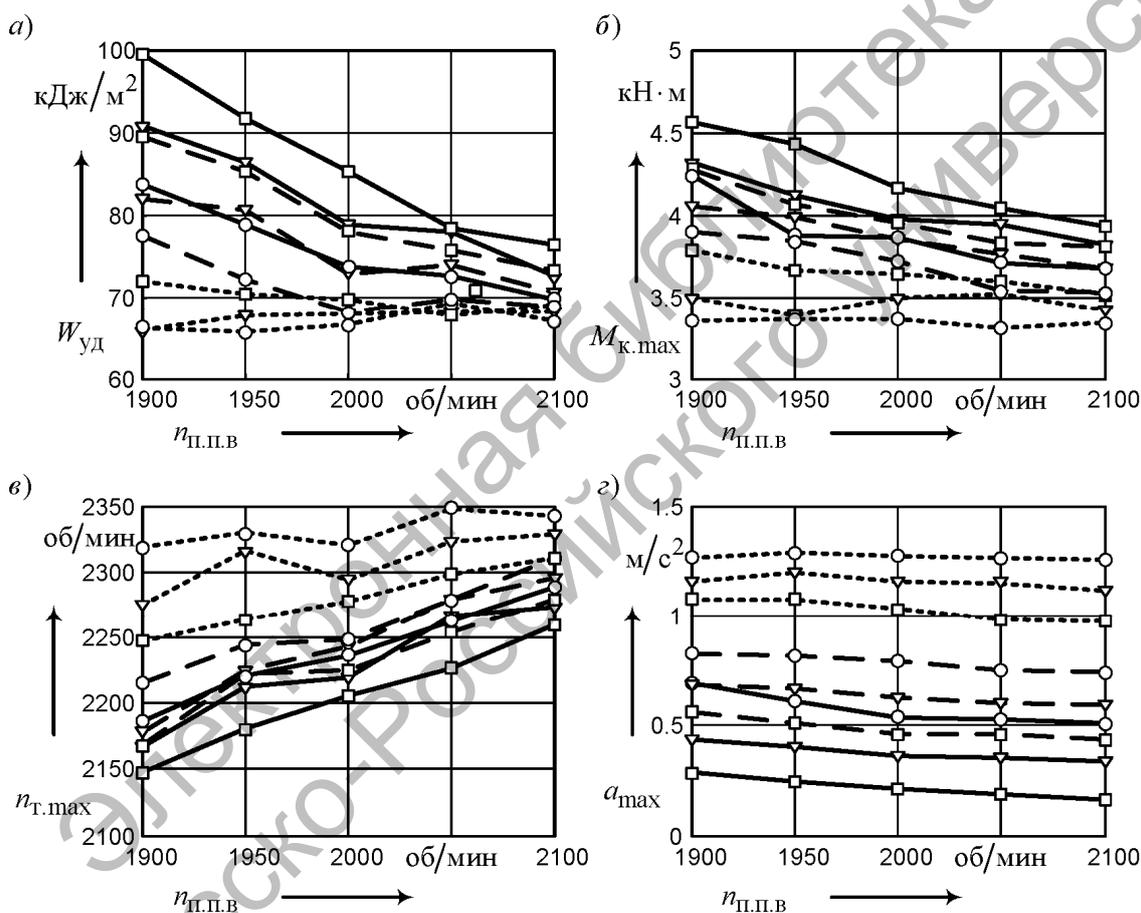


Рис. 5. Графики зависимостей параметров  $W_{уд}$ ,  $M_{к.мах}$ ,  $n_{т.мах}$  и  $a_{мах}$  от параметра управления  $n_{п.п.в}$  при переключении передач 3 → 4: сплошные линии – при  $K_H = 1$ ; штриховые – при  $K_H = 0,5$ ; точечные – при  $K_H = 0$ ;  $\circ$  –  $h = 0\%$ ;  $\nabla$  –  $h = 2\%$ ;  $\square$  –  $h = 4\%$

Удельная работа буксования  $W_{уд}$  характеризует тепловую напряженность и износ фрикционных дисков элементов управления, а вращающий момент

$M_{к.мах}$  – механические нагрузки на механизмы трансмиссии. Следовательно, они определяют надежность и долговечность автоматической коробки пере-

дач. Ускорение  $a_{\max}$  отображает комфортность условий, создаваемых для водителя и пассажиров. Значение  $n_{T,\max}$  характеризует величину заброса угловой скорости турбины относительно  $n_{п.п.в}$  во время переключения передачи. Чем выше  $n_{T,\max}$ , тем больше начальная относительная скорость скольжения дисков включаемого фрикциона. Для повышения надежности автоматической коробки передач необходимо стремиться к уменьшению всех рассматриваемых параметров.

Как видно из приведенных на рис. 5 графиков, наибольшее влияние на  $W_{уд}$ ,  $M_{к,\max}$ ,  $n_{T,\max}$  и  $a_{\max}$  оказывают уровень загрузки автомобиля  $K_H$  и уклон дороги  $h$ , т. е. эксплуатационные условия. Но их значения существенно зависят также от параметра управления  $n_{п.п.в}$ . Опыт эксплуатации карьерных самосвалов БелАЗ с ручной (командной) системой управления показывает, что водители часто осуществляют переключение на высшие передачи при сравнительно низкой частоте вращения

вала двигателя  $n_d$ , обычно в пределах 1900...2000 об/мин. Однако, как следует из полученных результатов моделирования, при этом возрастают значения  $W_{уд}$  и  $M_{к,\max}$ . Очевидно, что оптимальное пороговое значение частоты вращения турбины  $n_{п.п.в}$  находится в пределах 2050...2100 об/мин, что и реализовано в предложенном алгоритме автоматического переключения передач. Значение  $a_{\max}$  почти не зависит от  $n_{п.п.в}$  (рис. 5, з).

На рис. 6, а и б представлены графики зависимостей времени  $t_M$  преодоления участка разгона длиной 1 км и расхода топлива  $Q_M$  автомобилем БелАЗ-7555Е с автоматической КП. Очевидно, что значения  $t_M$  и  $Q_M$  существенно зависят от загрузки автомобиля и дорожных условий, т. е. от параметров  $K_H$  и  $h$ , но, вместе с тем, почти не зависят от параметра управления  $n_{п.п.в}$  в исследованном диапазоне его изменений 1900...2100 об/мин.

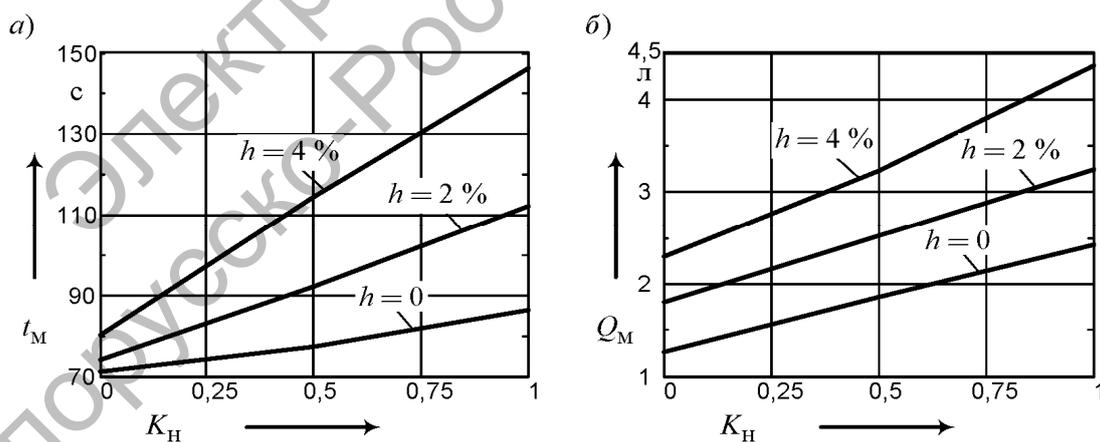


Рис. 6. Графики зависимостей  $t_M$  и  $Q_M$  от коэффициента загрузки  $K_H$  и уклона дороги  $h$  при разгоне автомобиля на контрольном участке пути

Разработанные алгоритмы использованы в созданной кафедрой «Автомобили» Белорусско-Российского университета мехатронной системе автоматизи-

зации системы управления автомобилем на контрольном участке пути.

ческого управления и диагностирования гидромеханической передачи для модернизированного карьерного самосвала БелАЗ-7555Е. Проведенные эксплуатационные испытания в условиях карьер-

ера «Гранит» (г. п. Микашевичи, Брестская обл.) показали высокую эффективность предложенных алгоритмов и надежность функционирования системы управления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Тарасик, В. П.** Синтез алгоритма автоматического переключения передач автомобиля с гидромеханической трансмиссией / В. П. Тарасик // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2013. – № 1. – С. 46–58.
2. **Горбатенко, Н. Н.** Диагностирование гидромеханических передач : монография / Н. Н. Горбатенко, А. Н. Егоров, В. В. Региня ; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. В. П. Тарасика. – Могилёв : Белорус.-Рос. ун-т, 2010. – 511 с.
3. **Тарасик, В. П.** Моделирование процесса нагрева многодисковых фрикционов гидромеханической передачи / В. П. Тарасик, Ю. С. Романович, В. С. Савицкий // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. 2012. – № 1. – С. 107–117.
4. Прогнозирование нагруженности механизмов гидромеханической трансмиссии карьерного самосвала на основе математического моделирования / В. П. Тарасик [и др.] // Грузовик. – 2013. – № 6. – С. 24–36.

*Статья сдана в редакцию 30 декабря 2014 года*

**Владимир Петрович Тарасик**, д-р техн. наук, проф., Белорусско-Российский университет.  
E-mail: avto@bru.mogilev.by.

**Роман Владимирович Плякин**, ст. преподаватель, Белорусско-Российский университет.  
E-mail: romanp@tut.by.

**Vladimir Petrovich Tarasik**, DSc (Engineering), Prof., Belarusian-Russian University.  
E-mail: avto@bru.mogilev.by.

**Roman Vladimirovich Pliakin**, senior lecturer, Belarusian-Russian University. E-mail: romanp@tut.by.