

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ

УДК 629.42.053

В. В. БУРЧЕНКОВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ГОРОЧНОГО ТЕПЛОВОЗА**

Определены характеристики работы горочного локомотива в режиме тяги и торможения, влияющие на скорость надвига и ролпуска составов. Осуществлены исследования условий работы и определены структурные схемы регулирования для противоразгрузочного аппарата и реостатного тормоза, повышающих эффективность действия системы автоматического управления горочным тепловозом.

Основными элементами полуреяса горочного тепловоза, определяющими эффективность применения переменной скорости ролпуска, является разгон и торможение. Реализация переменной скорости ролпуска обуславливает работу горочных тепловозов на предельных характеристиках по сцеплению. В этих условиях резко возрастают требования к локомотивным системам автоматического регулирования мощности, системам предотвращения и прекращения боксования.

Одним из путей повышения эффективности использования сцепного веса маневровых тепловозов в режиме увеличения скорости движения является оборудование их противоразгрузочными аппаратами (догрузателями), позволяющими уменьшить разброс нагрузки на колесные пары локомотива, возникающий вследствие воздействия опрокидывающего момента в режиме тяги.

Учитывая специфику маневровой и горочной работы, в которой определяющим элементом является замедление, развиваемое тепловозом, весьма актуальной становится задача автоматизации управления реостатным тормозом маневрового тепловоза, что приводит к повышению эффективности реализации тормозной силы при уменьшении скорости движения и устойчивости работы локомотива, а также сокращению расхода топлива и облегчению управления тепловозом.

Выбор закона управления противоразгрузочным аппаратом локомотива. Автоматизация управления противоразгрузочными аппаратами является частью общей задачи автоматизации управления тепловозом по скорости.

Принцип построения устройства автоматического управления противоразгрузочным аппаратом тепловоза основан на оценке силы тяги локомотива по соотношению между его скоростью движения и частотой вращения вала дизеля.

По тяговым характеристикам тепловоза для каждой позиции дизеля можно указать скорость движения, при которой сила тяги тепловоза равна силе сцепления его колес с рельсами. Используя расчетную зависимость тока нагрузки от скорости движения и учитывая как более жесткое условие ток длительного режима вместо ограничения по сцеплению, можно определить область действия догрузателей. Из анализа результатов испытаний, проведенных на тепловозе ТЭМ7, установлено, что при токах нагрузки тягового генератора менее 3200 А боксование не возникает [1]. При такой нагрузке ток одного тягового электродвигателя (ТЭД) будет со-

ставлять 400 А. Расчетная скорость движения тепловоза при таком токе будет составлять свыше 8,3 м/с, а такую скорость боксующие колесные пары развить не могут даже при одновременном боксовании всех колесных пар. Из зависимости тока нагрузки тепловоза ТЭМ7 от скорости движения следует, что при наборе третьей позиции догрузатель должен быть включен до момента достижения тепловозом скорости v_3 , при наборе четвертой позиции – соответственно v_4 и т.д.

Результаты исследования процесса изменения тока нагрузки в период набора позиций и увеличения скорости движения показали, что включение каждой позиции вызывает быстрое увеличение тока нагрузки. Изменение тока тягового генератора при наборе первой, второй, третьей позиций практически линейно в течение 1,0–1,2 с и составляет 1500–2000 А/с. Затем интенсивность изменения тока нагрузки уменьшается по параболической зависимости, достигая нулевого значения при максимальной силе тяги, соответствующей данной позиции. При дальнейшем увеличении скорости движения ток нагрузки уменьшается, изменяясь по гиперболической характеристике, и стабилизируется при достижении равновесной скорости. Таким образом, при наборе каждой позиции контроллера имеет место один полупериод колебаний тягового тока τ_i , составляющий 2–9 с (измеряется при величине тока, равной 0,5 амплитудного значения броска тока), причем длительность полупериода колебания зависит от тока нагрузки и растет с увеличением последнего (рисунок 1).

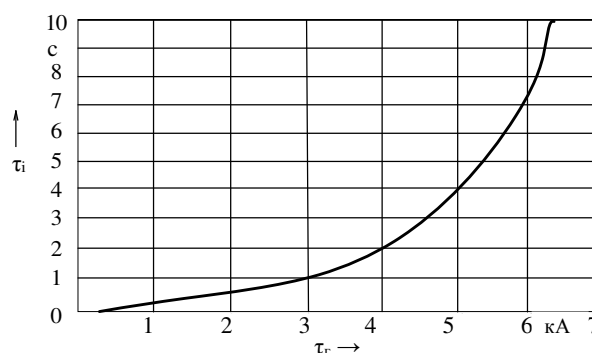


Рисунок 1 – Зависимость полупериода колебаний τ_i от тягового тока i_T

Для исключения вертикальных динамических колебаний кузова тепловоза и повышения устойчивости работы догрузателя управляющее устройство должно иметь интегрирующее звено с постоянной времени T_n , которая определится из неравенства $T_n \geq \tau_i$, при $i_T > 6400$ А.

Силовая часть электрического тормоза образуется путем включения обмоток якорей ТЭД на индивидуальные тормозные резисторы и последовательным соединением обмоток возбуждения всех восьми ТЭД, подключаемым к выпрямительной установке ВУ.

Тормозное усилие на валу ТЭД, работающего в генераторном режиме, определяется из выражения [2]

$$B_T = m i_a \left(\frac{e}{n_{дв}} \right) K_M K_{пер} \frac{n_{a1}}{D_k} \cdot \frac{60}{\pi} \cdot 10^{-3}, \quad (9)$$

а скорость тепловоза

$$v_T = 0,188 \frac{i_a R_T D_k}{\left(\frac{e}{n_{дв}} \right) \eta_{д1}}, \quad (10)$$

где m – количество тяговых электродвигателей; i_a – ток якоря ТЭД; e – электродвижущая сила ТЭД; R_T – суммарное сопротивление цепи якоря; $\eta_{д1}$ – передаточное отношение тягового редуктора; K_M – коэффициент, учитывающий потери момента в двигателе, обычно принимается $K_M = 1,03$; $K_{пер}$ – коэффициент, учитывающий потери момента в редукторе, $K_{пер} = 1,025$.

Приведенные формулы (9), (10) позволяют определить все параметры реостатного тормоза по двум известным параметрам в любой их комбинации. Предельные значения тормозного усилия определяются при известных параметрах, в качестве которых использованы скорость движения тепловоза и ток возбуждения ТЭД. Величина тока якоря ТЭД определяется путем графического решения уравнения (9) и семейства нелинейных зависимостей $e/n = f(AW)$, являющихся нагрузочными характеристиками ТЭД.

Величина каждого индивидуального тормозного сопротивления изменяется ступенчато: 0,3 Ом для первой ступени, 0,2 Ом – для второй, 0,1 Ом – для третьей и равной нулю для четвертой ступени (режима электрического стопорения). Результаты расчета тока ТЭД и тормозного усилия при токе возбуждения, равном 705 А, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета зависимости тормозного усилия от скорости роспуска при токе возбуждения 705 А

v_T , м/с	$R_T = 0,3$		$R_T = 0,2$		$R_T = 0,1$		$R_T = 0$	
	$I_{дв}$, А	B_{T1} , кН	$I_{дв}$, А	B_{T2} , кН	$I_{дв}$, А	B_{T3} , кН	$I_{дв}$, А	B_{T4} , кН
4,0	600	223	900	335	1300	396	–	–
3,5	490	169	790	289	1020	256	–	–
3,0	410	136	680	244	985	334	–	–
2,5	350	113	550	193	900	292	–	–
2,0	270	84	470	162	740	235	–	–
1,5	180	53	300	101	600	157	1300	370
1,0	90	26	180	58	390	118	1220	347
0,5	60	17	100	31	250	98	1080	300

На основании таблицы 2 построены зависимости тормозного усилия от скорости, приведенные на рисунке 3. Кривые 1, 2, 3, 4 соответствуют тормозным усилиям β_{T1} , β_{T2} , β_{T3} и β_{T4} при токе возбуждения, равном 405 А, а кривые 1', 2', 3' и 4' – величинам тормозного усилия при токе возбуждения 705 А. Из анализа

этих зависимостей следует, что тормозное усилие уменьшается по мере уменьшения скорости.

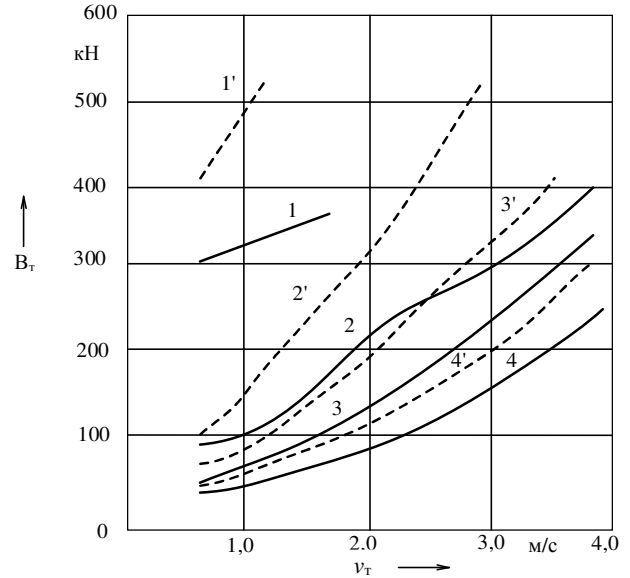


Рисунок 3 – Зависимости тормозной силы B_T от скорости движения v_T

Приведенные характеристики тормозной силы (см. таблицу 2 и рисунок 3) позволяют определить структуру исполнительного устройства реостатного торможения и составить уравнения управляющего устройства. Для остановочного торможения необходимо использование максимальной тормозной силы. Это позволяет существенно упростить алгоритм управления, поскольку точное регулирование силы B_T при уменьшении скорости нецелесообразно [2].

Проведенные исследования позволили сформировать следующие уравнения для управляющего устройства САР реостатного тормоза:

$$U_{2T} = \begin{cases} C_{2T} - K_{2T} K_{IT} i_{вy} & \text{при } \varepsilon_d < C_{1T}; \\ 0 & \text{при } \varepsilon_d > C_{1T}; \end{cases} \quad (11)$$

$$U_{кT} = \begin{cases} C_{3T} & \text{при } U_{2T} < \gamma_1; \\ 0 & \text{при } \gamma_1 < U_{2T} < \gamma_2; \\ C_{4T} & \text{при } U_{2T} > \gamma_2. \end{cases} \quad (12)$$

Структурная схема САР реостатным торможением приведена на рисунке 4. Исполнительное устройство предоставлено операторами: W_{CT} – САР тягового генератора; W_d – САР дизеля; $W_{дв}$ – тяговые электродвигатели; локомотив с составом – передаточной функцией $Ks/(T_c s + 1)$ в соответствии с [3].

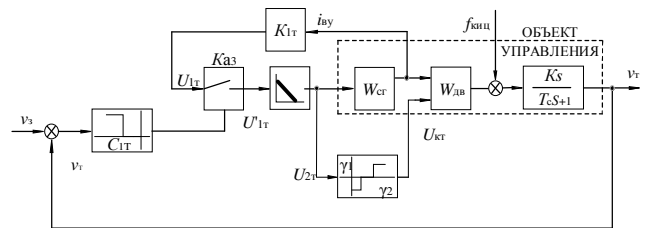


Рисунок 4 – Структурная схема устройства автоматического управления реостатным тормозом

Величины коэффициентов $K_{1т}$ и $K_{2т}$, константы управляющего устройства $C_{1т} - C_{4т}$, $\gamma_{1т}$ и $\gamma_{2т}$ приведены в таблице 3. Константы $C_{вт}$ и $C_{4т}$ определены с учетом особенностей исполнительного устройства управления тормозными контакторами. Выходной сигнал $U_{кт}$ увеличивается на единицу, если $U_{2т} > v_2$, уменьшается на единицу, если $U_{2т} < v_1$, и не изменяется, если $v_1 < U_{2т} < v_2$.

Таблица 3 – Параметры САУ реостатным торможением

$K_{1т}$	$K_{2т}$	$C_{1т}$	$C_{2т}$	$C_{3т}$	$C_{4т}$	γ_1	γ_2
0,007	0,6	0,83	6,0	110	110	0,2	3,0

На основании уравнений (7), (11), (12), а также уравнений САУ дизеля и тягового генератора (12), (13) из [3], разработана структурная схема системы автоматического

управления горочным тепловозом САУ ГТ, включающая в себя контуры управления дизелем, тяговым генератором, догрузателями и реостатным тормозом, приведенная на рисунке 5. Ключи $K_{л1}$, $K_{л2}$ и $K_{л3}$ обеспечивают изменение структуры системы при изменении режима работы локомотива. Ключом $K_{л1}$ замыкается контур дискретного управления дизелем в режиме тяги. Если регулируемая координата v_t находится в пределах допуска $\pm B$, то этот контур разомкнут, и регулирование скорости осуществляется посредством регулирования тока нагрузки тягового генератора СГ. Ключом $K_{л2}$ замыкается контур управления догрузателем при работе локомотива с малыми скоростями и большими величинами тока нагрузки. Ключ $K_{л3}$ замыкается в режиме реостатного торможения.

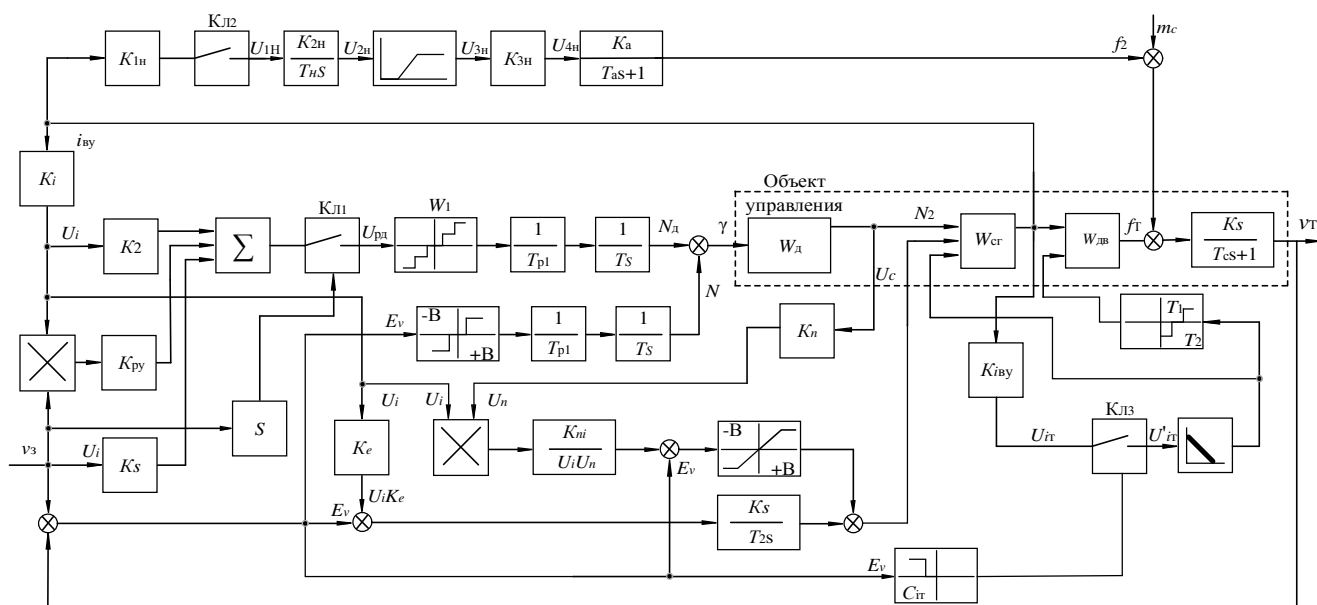


Рисунок 5 – Структурная схема САУ ГТ

Выводы. Использование предложенного устройства автоматического управления догрузателем позволяет дополнительно реализовать до 45 кН силы тяги, развиваемой локомотивом. Система автоматического управления реостатным тормозом обеспечивает регулировочное подтормаживание для перехода с более высокой скорости движения на более низкую, а также остановочное торможение по предельным характеристикам. Эти усовершенствования позволяют реализовать системой САУГТ ускорения 0,05–0,07 м/с², что повышает эффективность реализации переменных скоростей роспуска составов на сортировочных горках.

Получено 07.05.2018

V. V. Burchankou. Improvement of the characteristics of the automatics regulation system of the locomotives speed.

The characteristics of the operation of a mountain locomotive in the regime of traction and braking, affecting the speed of thrust and dissolution of the train have been determined. The research of operating conditions has been carried out and the structural regulating schemes for the anti-handling device and the rheostat brake have been determined, which increase the efficiency of the automatic control system of a diesel locomotive.

Список литературы

- 1 Бурченков, В. В. Автоматизация управления противоразгрузочным аппаратом тепловоза ТЭМ7 // Локомотивы и локомотивное хозяйство. Научно-технический реферативный сборник. – М. : ЦНИИ ТЭИ, 1982. – Вып. 1. – С. 27–30.
- 2 Колесник, И. К. Электропередачи тепловозов на переменном-постоянном токе // И. К. Колесник. – М. : Транспорт, 1978. – 149 с.
- 3 Бурченков, В. В. Оптимизация параметров регулятора скорости горочного тепловоза / В. В. Бурченков // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2017. – С. 24–26.