

ЗАВИСИМОСТЬ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЯГОВО-ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ ОТ ПРОГРАММЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ БЛОКИРОВКОЙ ГИДРОТРАНСФОРМАТОРА

С повышением энергонасыщенности тягово-транспортных машин и увеличением средних скоростей их движения возрастает актуальность решения задачи оптимального управления режимами работы двигателя и гидромеханической трансмиссии (ГМТ). Необоснованный выбор характеристик управления приводит к недоиспользованию потенциальных возможностей машин. Решение указанной задачи невозможно без создания системы автоматического управления (САУ) режимами работы двигателя и ГМТ. Первым шагом в этом направлении является создание САУ блокировкой гидротрансформатора (ГТ). Она применяется во многих серийно выпускаемых отечественных машинах.

Одним из классификационных признаков САУ является количество используемых информационных переменных. Соответственно различают одно-, двух- и многомерные САУ. Существующие САУ блокировкой ГТ отличаются большим разнообразием используемых информационных переменных и программ. В автомобилях МАЗ-7310 и ЛАЗ-4202 использованы двухмерные САУ, осуществляющие блокировку ГТ в зависимости от положения педали акселератора γ и угловой скорости вращения турбинного вала ГТ ω_T , в автомобиле БелАЗ-7548 — одномерная с информационной переменной ω_T . Применяют также САУ блокировкой ГТ, в которой информационной переменной является передаточное отношение ГТ $i_{Т.н}$. Для определения $i_{Т.н}$ измеряют угловые скорости вращения насосного и турбинного колес ГТ, которые после блокировки ГТ одинаковы. Таким образом, САУ на режиме блокировки двухмерная, а на режиме разблокировки — одномерная. Иногда вместо $i_{Т.н}$ используют разность давлений на входе и выходе ГТ (МоАЗ-6401).

Чем меньше число информационных переменных, тем проще конструкция САУ. Однако с упрощением САУ может снижаться эффективность автоматизации управления блокировкой ГТ. Поэтому возникает необходимость проведения исследований по оценке эффективности различных программ автоматического управления блокировкой ГТ и используемых при их реализации различных сочетаний информационных переменных.

Исследование проводилось для тягово-транспортной машины полной массой 25 т, удельной мощностью 12 кВт/т, с дизельным двигателем и гидромеханической трансмиссией, в которой переключение передач и блокировка ГТ производятся с помощью фрикционных элементов. Предполагалось, что САУ блокировкой ГТ способна реализовать различные программы. Разработанная имитационная математическая модель машины учитывает характеристики дви-

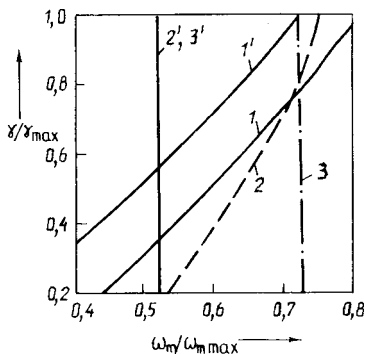


Рис. 1. Программы управления блокировкой ГТ

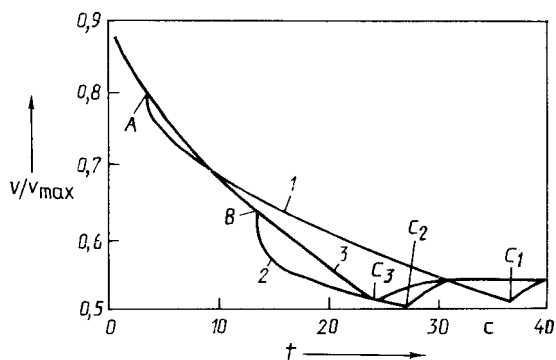
гателя по крутящему моменту и часовому расходу топлива, безразмерные характеристики ГТ, параметры трансмиссии и ходовой части, инерционные свойства динамической системы машины, а также характеристики внешней среды и режимов движения. С помощью математической модели изучались процессы разгона и движения машины в различных дорожных условиях.

Известно, что машины с ГМТ обычно имеют худшие показатели топливной экономичности, чем машины с механическими трансмиссиями. Поэтому положительные свойства ГТ рационально использовать на режиме разгона машины и при движении ее в тяжелых дорожных условиях, а на установившихся режимах в обычных условиях движения ГТ необходимо блокировать. Однако для многих машин на неустановившиеся режимы приходится значительная доля времени их движения.

В процессе разгона машины достигается заданная скорость ее движения. Разгон можно провести с наилучшей динамикой или с максимальной топливной экономичностью. При разгоне с наилучшей динамикой критерием оптимальности является время достижения заданной скорости движения, при разгоне с максимальной топливной экономичностью — расход топлива на пути разгона. Это интегральный критерий, учитывающий как мгновенный расход топлива, так и время разгона.

На рис. 1 законы блокировки ГТ построены в поле информационных переменных γ , $\omega_{гт}$. Линии 1–3 соответствуют условиям блокировки ГТ при разгоне машины, а 1' и 2' — разблокировки ГТ при замедлении. Первая программа управления (линия 1), относящаяся к двумерной САУ, построена расчетным путем с помощью математической модели машины с ГМТ. При этом использованы методы планирования эксперимента. Закон блокировки ГТ, оптимальный по динамическим качествам процесса разгона машины, определен при положении педали, соответствующем $\gamma = (0,9...1,0) \gamma_{max}$, а оптимальный по экономичности разгона — при промежуточных положениях педали акселератора ($\gamma = (0,1...0,8) \gamma_{max}$, где γ_{max} — положение педали акселератора при максимальной скорости вращения вала двигателя). Условие $\gamma = (0,8...0,9) \gamma_{max}$ соответствует зоне перехода от разгона машины, оптимального по экономическим показателям, к оптимальному по динамическим качествам. Закон блокировки в этой зоне найден путем сглаживания обеих оптимальных кривых.

Рис. 2. Замедление машины в тяжелых дорожных условиях ($\psi = 0,15$)



Во второй программе в качестве информационной переменной используется $i_{Т.Н}$. Блокировка ГТ осуществляется в момент перехода его в режим работы гидромuffты, так как преобразования крутящего момента при этом не происходит (для исключения потерь мощности в ГТ его необходимо заблокировать). Для исследуемого ГТ это соответствует передаточному отношению $i_{Т.Н} = 0,8$ (линия 2 на рис. 1).

В третьей программе управления за информационную переменную принята ω_T , пороговое значение которой соответствует условию равенства крутящих моментов на турбинном валу при разблокированном и заблокированном ГТ (при работе двигателя на внешней скоростной характеристике). Для исследуемого ГТ $\omega_T = 0,72\omega_{Tmax}$, где ω_{Tmax} — максимальная частота вращения турбинного вала ГТ (линия 3 на рис. 1). Поэтому при частных скоростных режимах двигателя ($\gamma/\gamma_{max} \leq 0,7$) и тяговом режиме ГТ он не может быть заблокирован.

Для оценки эффективности применения различных программ управления блокировкой ГТ проведены расчеты для различных дорожных условий и положений педали акселератора. Результаты расчета показывают, что при динамическом разгоне машины первые две программы равнозначны. При блокировке ГТ по третьей программе время разгона увеличивается на 5–12%. Когда $\gamma = 0,75$, все программы равнозначны, что объясняется совпадением моментов блокировки ГТ по всем из них. При разгоне машины с $\gamma = 0,5$ и работе по первой программе расход топлива меньше на 4–8%, чем при работе по второй программе, и на 6–12%, — чем по третьей (меньшие числа соответствуют более тяжелым условиям разгона).

Очевидно, что двухмерная САУ блокировкой ГТ, работающая по более сложному алгоритму (первая и вторая программы), повышает эффективность разгона тягово-транспортных машин с ГМТ.

При движении машины в тяжелых дорожных условиях ГТ необходимо разблокировать. В первой программе управления для устранения цикличности работы САУ блокировкой ГТ закон разблокировки соответствует линии 1' на рис. 1. При заблокированном ГТ понятие передаточного отношения ГТ во второй программе управления теряет смысл (САУ становится одномерной). Разблокировка ГТ в этом случае, как и при управлении по третьей программе, происходит по достижении пороговой частоты вращения турбинного

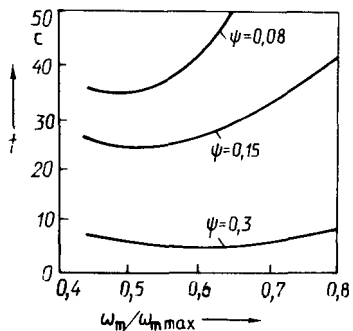


Рис. 3. Время движения машины на высшей передаче в зависимости от относительного изменения угловой скорости вращения турбинного колеса, при котором происходит разблокировка ГТ

вала ГТ, которая соответствует максимальному крутящему моменту на валу двигателя (линии 2' и 3' на рис.1 совпадают). Если используется первая программа управления, разблокировка ГТ имеет место при падении скорости машины на 2–10 км/ч за порог блокировки. Управление по второй и третьей программам обуславливает необходимость снижения скорости машины в 1,3–1,6 раза. В этом случае может быть включена низшая ступень в коробке передач до разблокировки ГТ, поэтому положительные свойства последнего не используются.

Рассмотрим графики изменения скорости машины при замедленном ее движении в тяжелых дорожных условиях до переключения на низшую передачу (рис. 2). Во всех исследуемых программах управления блокировкой ГТ предполагается, что низшую передачу включают при определенной скорости машины $v = 0,52v_{\max}$, где v_{\max} — максимальная скорость движения на предыдущей высшей передаче. Педаль акселератора находится в положении, соответствующем максимальной подаче топлива. Линия 1 — первая программа управления, 2 — вторая и третья, линия 3 — замедление машины с заблокированным ГТ. Точки А и В соответствуют моментам разблокировки ГТ, а точки C_1, C_2, C_3 — моментам включения низшей передачи.

Очевидно, что чем раньше происходит разблокировка ГТ, тем менее интенсивно снижается скорость машины. Замедление машины в момент разблокировки ГТ обусловлено затратами энергии на разгон коленчатого вала двигателя и связанных с ним масс. Чем позже происходит разблокировка ГТ, тем большая энергия затрачивается на разгон вала двигателя и тем более резко снижается скорость машины (линия 2 на рис. 2).

Кривые на рис. 3 соответствуют различным коэффициентам суммарного дорожного сопротивления ψ . При $\psi = 0,3$ период времени до переключения на низшую передачу практически не зависит от момента разблокировки ГТ. С уменьшением ψ до 0,15 и при более ранней разблокировке ГТ время движения машины на высшей передаче увеличивается в 1,5–1,8 раза, а средняя скорость движения на 6–8 %. Если $\psi \approx 0,08$, целесообразно движение на высшей передаче с разблокированным ГТ. Поздняя разблокировка ГТ в этом случае приводит к снижению скорости машины и необходимости переключения на низшую передачу (средняя скорость движения уменьшается на 3–5 %).

Исследования показывают, что наиболее рационально применение двухмерной САУ: эффективность разгона тягово-транспортных машин повышается на 5–12 %, расход топлива за время разгона уменьшается на 4–8 %.