

ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ВКЛЮЧЕНИЯ ФРИКЦИОНА БЛОКИРОВКИ ГИДРООБЪЕМНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО МЕХАНИЗМА ПОВОРОТА БЫСТРОХОДНОЙ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ

С.В. Кондаков, Д.В. Харлапанов

CLUTCH ENGAGEMENT ALGORITHM OPTIMIZATION FOR DIFFERENTIAL HYDROSTATIC TURNING DRIVE OF HIGH-SPEED CATERPILLAR MACHINE

S.V. Kondakov, D.V. Harlapanov

Приведены результаты имитационного моделирования переходных режимов криволинейного движения быстроходной гусеничной машины с дифференциальным гидрообъемным механизмом поворота с целью оптимизации включения блокировочного фрикциона ГОП при перегрузке последнего по давлению.

Ключевые слова: быстроходная гусеничная машина, математическая модель, гидрообъемная передача, механизм поворота, фрикционная муфта, алгоритм управления.

Authors considers the researching results of curvilinear mobility transient conditions of high-speed caterpillar machine with differential hydrostatic drive in order to optimization friction clutch while pressure overload hydrostatic drive.

Keywords: high-speed caterpillar machine, the mathematical model, hydrostatic transmission, turning mechanism, clutch, the driving algorithm.

Известно, что при интенсивном маневрировании быстроходной гусеничной машины (БГМ) и при повороте в тяжелых дорожных условиях перегружается по давлению гидрообъемная передача (ГОП) механизма поворота (МП), что приводит к неуправляемому в должной мере повороту в течение нескольких секунд. Существует три основных направления преодоления этого недостатка бесступенчатых МП на базе ГОП. Первое из них – наращивание установочной мощности ГОП, по этому пути идут американские конструкторы танка «Абрамс». Аналогичная задача решается путем установки гидродинамической муфты (ГМ) в МП параллельно ГОП, в немецких конструкциях танка «Леопард-2» и БМП «Мардер» [1]. Блокировка гидрообъемной передачи в случае ее перегрузки блокировочным фрикционом (БФ) – конструктивный прием, реализованный в отечественных машинах.

Разработанная математическая модель быстроходной гусеничной машины [3] позволяет исследовать нагруженность ГОП механизма поворота. Момент фрикциона $M_{БФ}$ попадает дополнительным слагаемым в правые части соответствующих уравнений математической модели, соединяя параллельным потоком мощности насос и мотор ГОП:

$$\frac{d\omega_H}{dT} = \left[M_{дi_1} - M_H - M_{гнi_2} - M_{БФ} \right] \frac{1}{J_1}; \quad (1)$$

$$\frac{d\omega_M}{dT} = \left[M_{гм} + M_{БФ} - \frac{(P_2 - P_1)R_{БК}}{i_{оп}i_5(k+1)} \right] \frac{1}{J_3}. \quad (2)$$

В настоящее время отработано несколько алгоритмов включения в работу блокировочного фрикциона.

1. По положению штурвала. БФ включается, когда штурвал повернут «до конца», передаточное отношение ГОП равно или близко к единице.

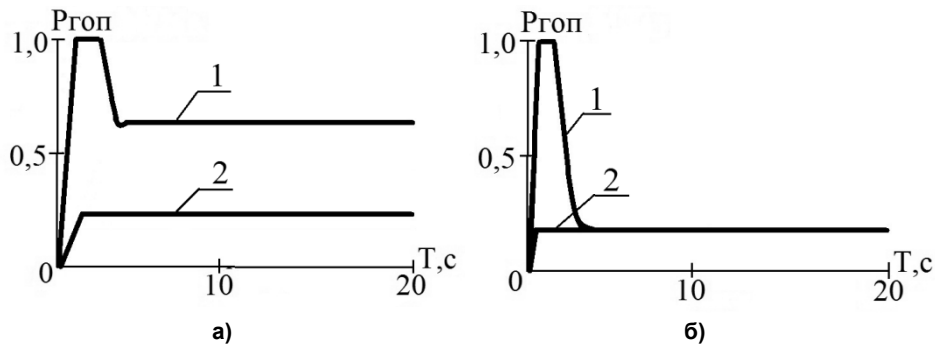


Рис. 1. Зависимости от времени относительного давления ГОП, работающего:
а – самостоятельно; б – совместно с БФ, включаемым «по положению штурвала»;
1 – давление в магистрали нагнетания; 2 – давление в магистрали слива

На рис. 1 видим, что ГОП меньше время работает на клапане. Но ФМ никогда не отключается и выполняет роль МП (с фиксированным радиусом) без участия ГОП. Нет бесступенчатого поворота. Если же поворачивать штурвал не до конца, то ФМ не включается вовсе (рис. 2). Хотя график на рис. 2, а явно указывает на то, что ГОП перегружен достаточно долго, несмотря на «неполный» поворот штурвала. Только при повороте штурвала до 0,3 от максимума перегрузка не наступает (рис. 2, б). Желательно включать БФ и при неполном повороте штурвала, если того требует интенсивность маневрирования и дорожные условия при повороте.

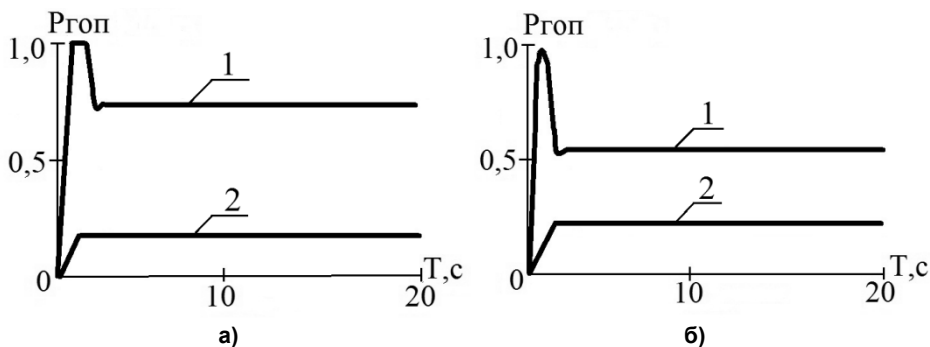


Рис. 2. Зависимость от времени давления ГОП при повороте штурвала:
до $UH = 0,8$ (а) перегрузка сохраняется; при $UH = 0,3$ (б) периода перегрузки нет;
1 – давление в магистрали нагнетания; 2 – давление в магистрали слива

2. По перегрузке ГОП. Блокировочный фрикцион включается при достижении максимального давления ГОП. В этом случае БФ работает с существенным запаздыванием, и поэтому он не может эффективно разгрузить ГОП или работает в звонковом режиме. Желательно включать БФ в работу заблаговременно, но для этого недостаточно информации только от датчика давления в магистрали нагнетания ГОП.

3. Постоянно буксующий фрикцион, момент которого пропорционален давлению в ГОП МП. Основной недостаток этого алгоритма – большая мощность буксования как при входе в поворот, так и при установившемся повороте. БФ не отключается в установившемся повороте, хотя в этих условиях вполне хватает возможностей ГОП для удержания машины на заданной траектории. В установившемся повороте ГОП и БФ работают параллельно, но с существенно разным КПД; КПД ГОП гораздо больше КПД фрикциона.

4. По комплексному показателю, учитывающему скорость перемещения штурвала управления поворотом и давления в магистралях ГОП.

Авторами разработан новый алгоритм работы БФ, работающего параллельно ГОП в дифференциальном МП. Он имеет особенности по сравнению с перечисленными выше алгоритмами и опубликованным ранее алгоритмом работы фрикциона в независимом МП [4], где фрикцион выполняет роль не блокировочного для ГОП, а соединительного звена между мотором ГОП и солнечной шестерней суммирующего планетарного механизма, то есть работает не параллельно ГОП, а последовательно. Эти особенности отражены на рис. 3.

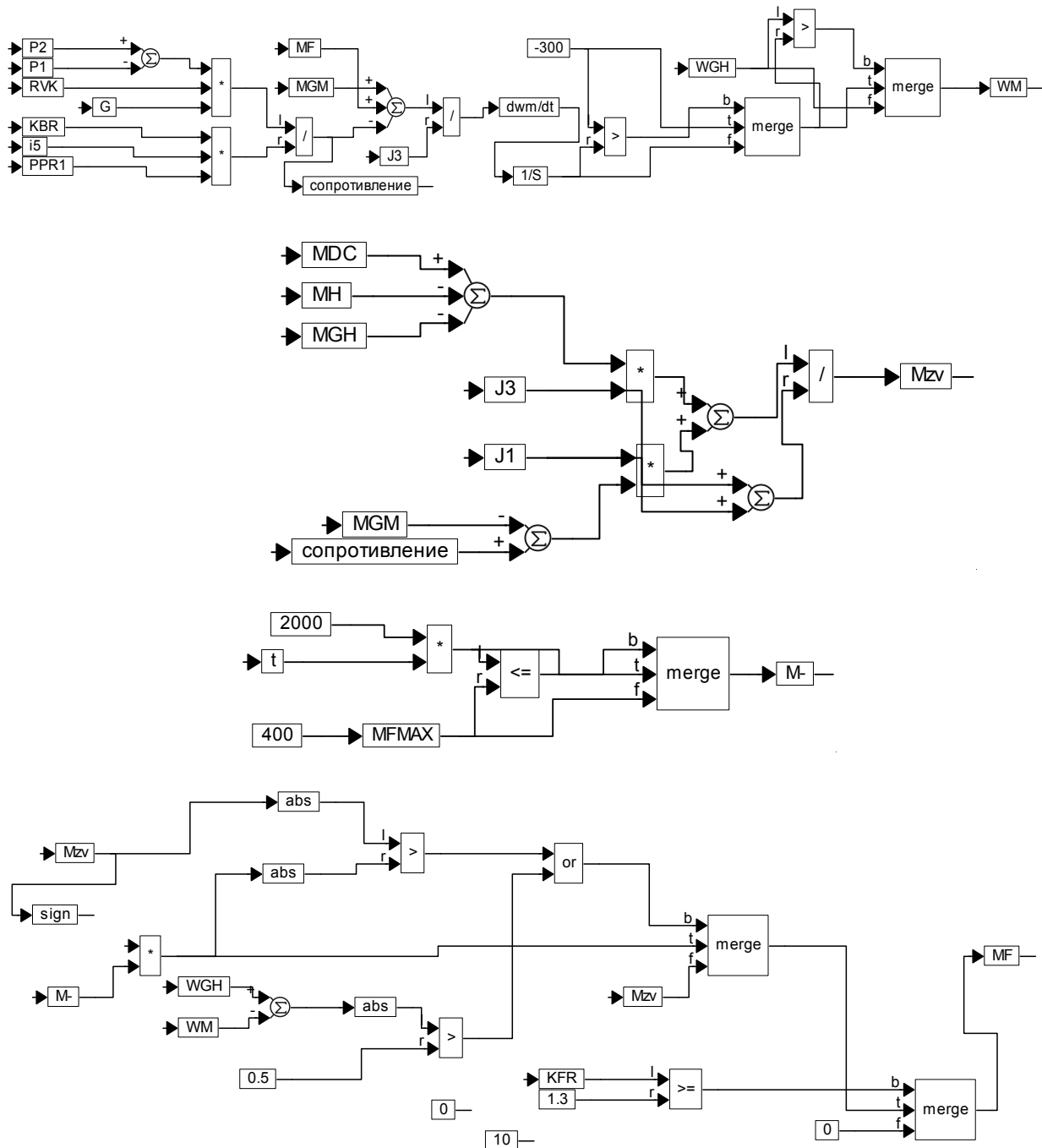


Рис. 3. Блок-схема работы БФ в дифференциальном механизме поворота

В публикациях кафедры КТМ ЮУрГУ первой половины 90-х годов [5–7] показаны результаты исследования нагруженности ГОП МП. Исследования последних лет показали, что снижение силовых нагрузок в ГОП механизма поворота способствует также и улучшению управляемости БГМ.

На основе имитационного моделирования движения БГМ в повороте изменен алгоритм управления блокировочным фрикционом БФ ГОП механизма поворота.

В качестве аналога исследован способ управления гидрообъемным механизмом поворота БГМ [2], при котором водитель воздействует на штурвал управления поворотом, а скорость перемещения наклонной шайбы насоса ГОП зависит не только от скорости перемещения штурвала управления гидрообъемным механизмом поворота, но и от давления в магистралях ГОП. Такой способ управления способствует снижению действующих на ГОП нагрузок. Недостатком ука-

занного способа управления является невозможность получения необходимой для БГМ интенсивности процесса входа в поворот ввиду ограниченных возможностей ГОП по давлению.

В качестве прототипа исследован способ управления гидрообъемным механизмом поворота БГМ [1, с. 47–51 и 51–54], при котором скорость перемещения шайбы насоса ГОП зависит как от скорости перемещения водителем штурвала управления гидрообъемным механизмом поворота, так и от давления в гидролиниях, а при малых радиусах поворота и достаточно больших давлениях в гидролиниях ГОП автоматически включают устройство блокировки валов насоса и мотора ГОП. Это позволяет снизить нагрузки, действующие на ГОП, так как устройство блокировки часть нагрузки берет на себя, и интенсифицировать процесс входа БГМ в поворот, так как суммарная мощность гидрообъемного механизма поворота с устройством блокировки больше, чем при работе только гидрообъемной передачи.

Теоретически в качестве устройства блокировки может быть использован не только БФ, но также гидродинамическая или электромагнитная муфта.

Недостатком указанного способа управления, как указывалось выше, является недостаточная эффективность использования БФ, поскольку начало включения и тем более его полное включение происходит с большим запаздыванием по отношению к росту давления в ГОП. Это не позволяет влиять на интенсивность процесса входа в поворот и нагруженность ГОП в начальной стадии этого процесса, когда динамические составляющие сил сопротивления повороту особенно велики. Указанный способ управления практически не учитывает скорости перемещения штурвала, оказывающей определяющее влияние на давление в гидрообъемной передаче. Кроме того, такой способ управления совершенно не использует возможности БФ по снижению давления в ГОП и интенсификации процесса входа в поворот при частичных (промежуточных) перемещениях штурвала.

Целью исследования является повышение интенсивности изменения кривизны траектории движения и предотвращение перегрузок ГОП. Предлагаемый для реализации этой цели способ управления гидрообъемным механизмом поворота БГМ заключается в том, что при крутых поворотах параллельно ГОП включают устройство блокировки, при этом измеряют скорость перемещения штурвала управления поворотом, скорости изменения давлений в гидролиниях ГОП и угловое ускорение корпуса машины, суммируют произведения измеряемых величин на выбранные коэффициенты пропорциональности, а устройство блокировки включают при условии превышения полученной суммой заданного уровня.

Существенным отличием предлагаемого способа управления гидрообъемным механизмом поворота от известных является введение нового условия на включение (выключение) блокировочного фрикциона, а также введение новых элементов, анализирующих состояние механизма поворота и быстроходной гусеничной машины в целом для выработки сигнала на управление блокировочным фрикционом.

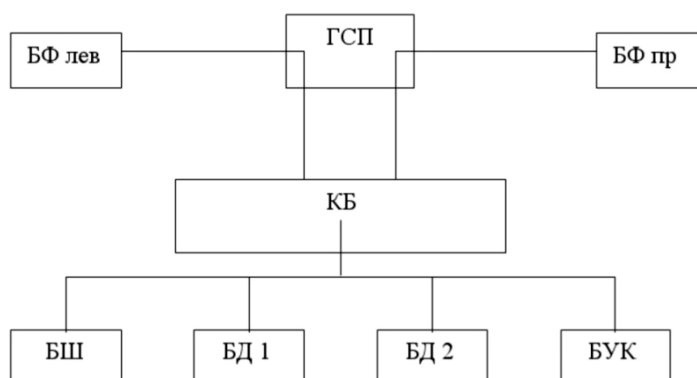


Рис. 4. Блок-схема устройства управления блокировочным фрикционом

На рис. 4 приведена блок-схема предлагаемого устройства, обеспечивающая включение и отключение БФ. Устройство содержит блок для измерения скорости перемещения штурвала БШ, блоки измерения скоростей изменения давлений в гидролиниях ГОП БД1 и БД2 и блок измерения угловых ускорений корпуса БУК. Измерительные блоки БШ, БД1, БД2 и БУК вырабатывают

Расчет и конструирование

сигналы, пропорциональные измеряемым величинам. Причем блок БД2 настроен на выработку сигнала обратной полярности сигналу блока БД1, поскольку подключен к противоположной гидрролинии ГОП. Вырабатываемые измерительными блоками сигналы алгебраически суммируются на входе командного блока КБ. При превышении результирующим сигналом измерительных блоков порога срабатывания КБ последний включает гидросервопривод (ГСП) БФ левого или правого борта машины, помогающий ГОП преодолевать динамические нагрузки при входе в поворот. Коэффициенты усиления каждого из измерительных блоков для опытных образцов устройства должны регулироваться. Первичные преобразователи измерительных блоков могут регистрировать изменения перемещения штурвала, изменения давлений жидкости в ГОП и ускорение углового перемещения корпуса известными средствами электроники, например, в БШ – потенциометрическим датчиком, в БД1 и БД2 – индуктивным датчиком, а в блоке БУК – аксельрометром. В качестве КБ может быть использовано, в частности, поляризованное реле, включающее ту или иную цепь в зависимости от величины и полярности сигнала. На рис. 5 приведен алгоритм работы командного блока для БМП-3.

Предлагаемое устройство работает следующим образом. При относительно быстром перемещении штурвала блок БШ вырабатывает сигнал, достаточный для включения командного блока КБ и, соответственно, нужного БФ, который увеличивает передаваемый им момент от нуля до максимума в течение около 0,1 с. При этом происходит интенсивное увеличение угловой скорости корпуса. Одновременно нарастает давление в ГОП, причем блокировочный фрикцион предотвращает перегрузку ГОП. Сигнал от блока БД1 суммируется с сигналом блока БШ и устойчиво поддерживает блок КБ во включенном состоянии. Под действием суммарного момента, создаваемого БФ и мотором ГОП, БГМ получает интенсивное угловое ускорение. В результате сигнал от блока БУК поддерживает блок КБ и БФ во включенном состоянии, когда перемещение штурвала и давление в ГОП достигли своих максимальных значений и сигналы БШ и БД1 обнулились. По мере входа в установившийся поворот сначала давление в ГОП, а затем и угловое ускорение корпуса машины быстро уменьшаются. Поэтому блок БД1 вырабатывает сигнал обратной полярности, который, складываясь со стремящимся к нулю сигналом блока БУК, приводит к отключению блока КБ и БФ с некоторой растяжкой по времени, определяемой сопротивлением сливной магистрали гидросервопривода. Аналогично происходит выход из поворота и вход в поворот противоположного направления: при резком падении давления в ГОП блок БД1 вырабатывает пропорционально большой по абсолютной величине сигнал, что ускоряет отключение БФ. Если по условиям движения возможен переход гидрообъемной передачи в генераторный режим, то есть под действием блокировочного фрикциона давление возникает уже в противоположной магистрали, то блок БД2 также при нарастании этого давления вырабатывает сигнал на отключение блокировочного фрикциона.

Предлагаемое устройство отключает блокировочный фрикцион при достижении установившегося поворота. Это позволяет использовать его не только при максимально возможных перемещениях штурвала, когда выполняется условие равенства передаточных отношений БФ и ГОП, но и при любых промежуточных углах поворота штурвала.

Зависимости изменения давления в нагнетательной магистрали ГОП, момента блокировочного фрикциона и угловой скорости поворота корпуса гусеничной машины при неполном повороте штурвала приведены на рис. 4–7. Графики показывают, что использование предложенного устройства управления блокировочным фрикционом позволяет существенно разгрузить ГОП в условиях неполного, но резкого поворота штурвала, чего невозможно было достичь при использовании устройства-прототипа.

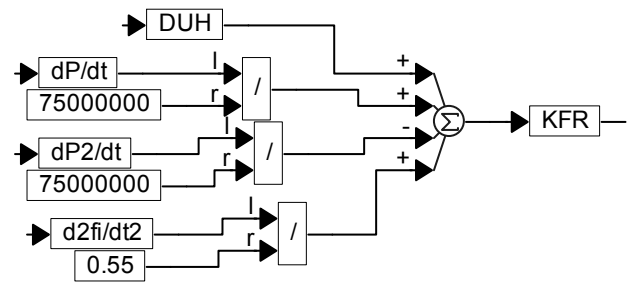


Рис. 5. Алгоритм работы командного блока

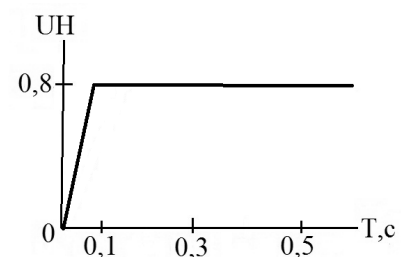


Рис. 6. Зависимость относительного угла поворота штурвала от времени

Графики на рис. 7 и 8 показывают эффективность работы блокировочного фрикциона при алгоритме управления, предложенном в заявке на изобретение с участием авторов [5]. Блокировочный фрикцион включается в работу с самого начала интенсивного маневрирования, не дожидаясь достижения штурвалом определенного положения, как сделано в прототипе. В то же время при входе машины в установившийся поворот устройство управления блокировочным фрикционом (см. рис. 4) своевременно отключает его, что исключает возможность перехода ГОП в генераторный режим.

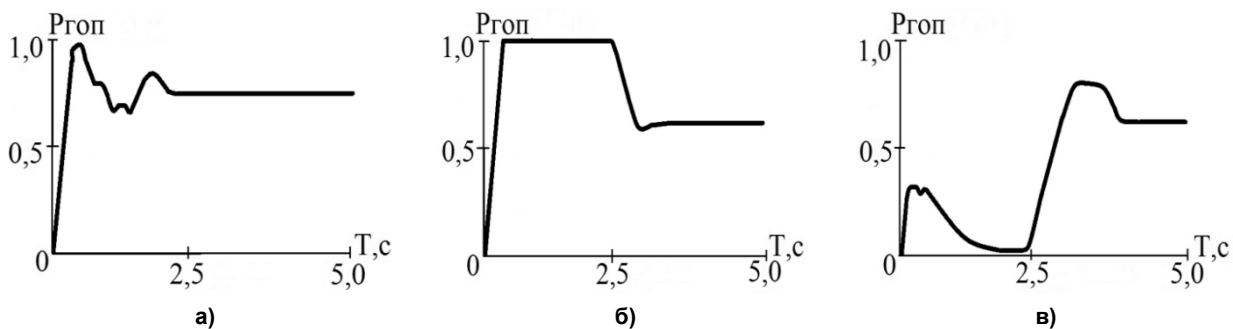


Рис. 7. Графики зависимости давления в ГОП от времени при различных максимальных моментах БФ: а – 220 Н·м; б – без БФ (0 Н·м); в – 500 Н·м

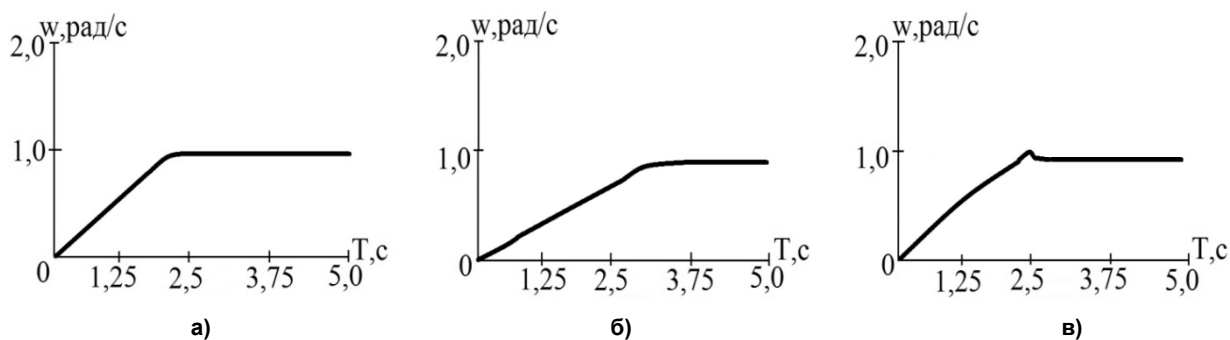


Рис. 8. Графики зависимости угловой скорости поворота корпуса БГМ от времени для различных вариантов максимального момента БФ: а – 220 Н·м; б – без БФ (0 Н·м); в – 500 Н·м

Величина максимального момента БФ явно влияет на характер протекания процессов нагружения МП, состоящего из ГОП и БФ. Отсутствие БФ (рис. 7, б) приводит к перегрузке ГОП, которая неприятна как сама по себе, так как влияет на долговечность ГОП, так и следствием – в виде ухудшения управляемости БГМ. Из рисунка видно, что около 2 с протекает предохранительный клапан, часть жидкости не достигает мотора ГОП и, следовательно, БГМ не входит в поворот с желаемой интенсивностью (рис. 8). Наличие достаточно мощного БФ (500 Н·м), способного заблокировать насос и мотор ГОП, приводит к полной разгрузке последнего, закручивает БГМ в повороте чуть больше требуемых по кинематике ГОП 0,95 рад/с, что приводит к увеличению общего времени установившегося поворота.

Для оптимизации БФ проведена энергетическая оценка различных БФ в МП в сравнении с базовым вариантом без БФ вообще. На рис. 9 приведены графики мощности потерь в МП (в совокупности в ГОП и БФ). Дело в том, что без расчетов невозможно достоверно ответить на вопрос «в каких долях желательно пропускать мощность через ГОП и БФ». С одной стороны, ГОП имеет КПД гораздо больше, чем буксующий фрикцион, с другой стороны, заблокированный фрикцион, имея КПД 100 %, во-первых, нарушает принцип бесступенчатого регулирования поворота, во-вторых, делает ГОП при входе в поворот бесполезно возимым грузом, выбросить который нельзя, так как он ответственен за бесступенчатый установившийся поворот.

Графики на рис. 9 выявляют новые вопросы о процессе входа в поворот. Оказывается, что мощность энергетических потерь в ГОП, работающего в одиночку, достаточно ощутима и составляет на протяжении почти секунды 100 кВт (рис. 9, б). При мощном БФ (500 Н·м), несмотря на заметный период работы в заблокированном состоянии, пиковая мощность еще больше –

Расчет и конструирование

150 кВт, и только при оптимальном БФ (220 Н·м) пиковая мощность меньше 100 кВт. Окончательное решение в пользу БФ с максимальным моментом 220 Н·м дает сравнение по времени достижения установившегося поворота БГМ со скоростью 0,95 рад/с, общих затрат энергии на вход в поворот, суммарных потерь в ГОП и БФ в абсолютном и относительном виде, приведенных в таблице.

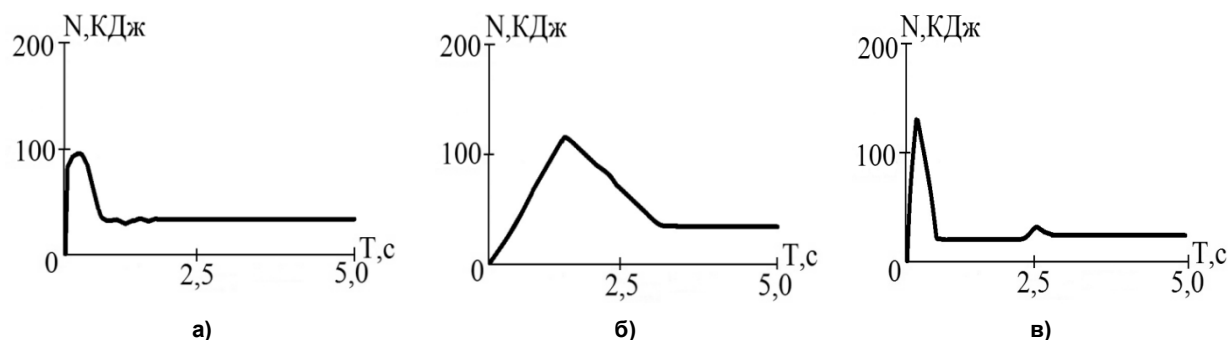


Рис. 9. Зависимости мощности потерь от времени при различных максимальных моментах БФ: а – 220 Н·м; б – без БФ (0 Н·м); в – 500 Н·м

Сравнительные показатели трех вариантов МП: без БФ, с БФ 220 Н·м и БФ 500 Н·м

Вариант	Время достижения установившегося поворота со скоростью 0,95 рад/с, с	Общие затраты энергии на вход в поворот, КДж	Потери в ГОП+БФ, КДж	Потери мощности за время вхождения машины в установившийся поворот, %
Без БФ	3,5	507	203	40
С БФ 220 Н·м	2,5	409	103	24
БФ 500 Н·м	2,5	551	132	25

Вывод

Предложенные в статье устройство и алгоритм управления позволяют эффективно использовать блокировочный фрикцион для предотвращения перегрузок ГОП при входе в поворот. При установившемся повороте с фиксированным или любым промежуточным радиусом нагрузки на ГОП значительно ниже, чем в динамике (в процессе входа в поворот), и БФ отключен. Благодаря совместному действию ГОП и БФ с самого начала перемещения штурвала и исключению сброса жидкости ГОП через предохранительный клапан, достигается повышение интенсивности процесса входа БМП-3 в поворот. На основе имитационного моделирования переходного процесса входа БГМ в поворот оптимизирован основной показатель БФ – максимальный передаваемый крутящий момент, равный 220 Н·м.

Литература

1. Военные гусеничные машины: учебник. В 4 т. Т. 1: Устройство / под ред. В.С. Старовойтова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1990. – Кн. 2. – 336 с.
2. А.с. 330449 СССР. Способ и механизм бесступенчатого поворота гусеничной машины / Р.Н. Болдырев, Н.В. Филичкин, С.В. Кондаков. – 1991.
3. Кондаков, С.В. Повышение подвижности быстроходной гусеничной машины путем автоматизации системы управления криволинейным движением: моногр. / С.В. Кондаков. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2009. – 108 с.
4. Кондаков, С.В. К вопросу оптимизации алгоритма управления независимым гидрообъемным механизмом поворота быстроходной гусеничной машины / С.В. Кондаков, Е.И. Вансович // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2011. – Вып. 17. – № 11 (228). – С. 12–20.
5. Способ и устройство для управления гидрообъемным механизмом поворота быстроходной гусеничной машины: а.с. Положительное решение № 998 от 10.04.1992 / И.Б. Щербаков, Б.Л. Диковский, М.И. Злотник, С.В. Кондаков. – № 45450447/02668; заявл. 22.03.1991.
6. Исследование нагруженности гидрообъемной передачи в механизме поворота танка

с центральной гидромеханической коробкой передач / Б.Л. Диковский, М.И. Злотник, Л.Н. Игнатов, С.В. Кондаков // Вестник бронетанковой техники. – 1992. – № 4. – С. 45–47.

7. Снижение динамических нагрузок на гидрообъемную передачу в механизме поворота танка / И.Б. Щербakov, Б.Л. Диковский, М.И. Злотник, С.В. Кондаков и др. // Вестник бронетанковой техники. – 1994. – № 1. – С. 49–51.

Поступила в редакцию 9 июня 2011 г.

Кондаков Сергей Владимирович. Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Колесные и гусеничные машины», Южно-Уральский государственный университет. Область научных интересов – теория движения, бесступенчатые передачи, механизмы поворота, управляемость криволинейного движения быстроходных гусеничных машин.

Kondakov Sergey Vladimirovich. Doct. Sc. (Engineering), Associate Professor, Professor of the Weal and Caterpillar Machine Department of the South Urals state university. Professional interests: theory of movement, continuous variable transmissions, turning mechanism, driving of curvilinear movement of the high-speed caterpillar machines.

Харлапанов Дмитрий Васильевич. Аспирант кафедры «Колесные и гусеничные машины», Южно-Уральский государственный университет. Область научных интересов – механизмы поворота, управляемость криволинейного движения быстроходных гусеничных машин.

Harlapanov Dmitriy Vasilevich. Graduate of the Weal and Caterpillar Machine Department of the South Urals state university. Professional interests: turning mechanism, driving of curvilinear movement of the high-speed caterpillar machines.