

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРООБЪЕМНОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ И БЛОКИРОВОЧНОГО ФРИКЦИОНА МЕХАНИЗМА ПОВОРОТА БЫСТРОХОДНОЙ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ

*Д.В. Харлапанов*

## RESEARCH OF A JOINT WORK OF AUTOMATIC SYSTEM OF HIDROSTATIC TRANSMISSION AND FRICTION CLUTCH FOR TURNING DRIVE OF HIGH-SPEED CATERPILLAR MACHINE

*D.V. Harlapanov*

Приведены результаты имитационного моделирования переходных и установившихся режимов криволинейного движения быстроходной гусеничной машины с дифференциальным гидрообъемным механизмом поворота и двумя вариантами автоматических систем, работающих на снижение ошибки управления и перегрузки гидрообъемной передачи

*Ключевые слова:* быстроходная гусеничная машина, математическая модель, гидрообъемная передача, механизм поворота, ошибка по управляемости, алгоритм управления.

**Author considers the researching results of curvilinear mobility transient conditions of high-speed caterpillar machine with differential hydrostatic drive and two options of the automatic systems working for decrease in an error of steering and an overload of hydrovolume transfer**

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

Бесступенчатый гидрообъемный механизм поворота, обладая внешней автоматичностью, позволяет реализовать различные алгоритмы применения дополнительных управляющих систем. В данной статье рассмотрены автоматические системы (АС) регулирования наклонной шайбы насоса гидрообъемной передачи (ГОП) [3] и блокировочного фрикциона (БФ) [4]. Выдвинута гипотеза о возможности компенсации утечки ГОП, буксования гусениц и перегрузки ГОП одновременным включением в работу этих двух АС.

Целевой функцией управления принята ошибка по траектории и давление ГОП. На базе имитационного моделирования проведено исследование различных вариантов *дополнительного* регулирования ГОП и включением *дополнительного* БФ при угрозе неуправляемого движения с целью повышения точности управления поворотом и предотвращения перегрузки по давлению. Ошибка управления оценена при входе в поворот и при установившемся движении в повороте:

$$O = \frac{Kr_{ru} - Kr_{real}}{Kr_{ru}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $O$  – ошибка управления,  $Kr_{ru}$  – кривизна траектории, задаваемая штурвалом,  $Kr_{real}$  – кривизна траектории, реализуемой на местности. Кинематическая схема трансмиссии показана на рис. 1.

Количественной оценкой управления является относительная разница кривизны траектории, задаваемой штурвалом и реализуемой на местности. Переход от сравнения частот вращения корпуса, использованного в работах ВА БТВ [1], к сравнению траекторий движения имеет следующие преимущества: 1 – сравнению подвержено положение штурвала как управляющее воздействие водителя и кривизна траектории движения на местности как выходной сигнал; 2 – между

## Расчет и конструирование

управляющим воздействием и выходным сигналом помещаются оба основных искажения (потери ГОП и буксование гусениц) [2].

Алгоритм определения ошибки управления БГМ при совершении криволинейного движения и в установившемся повороте показан на рис. 2.

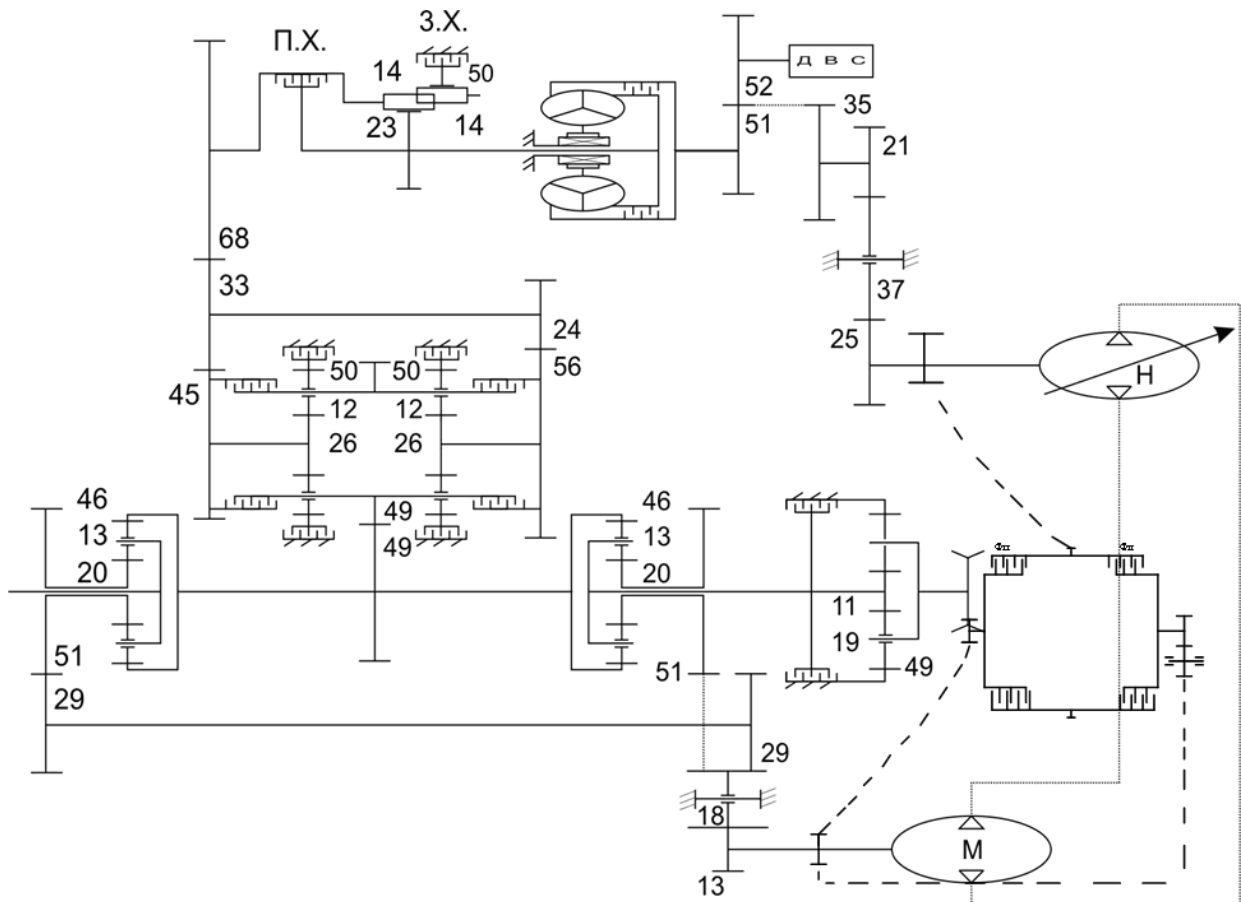


Рис. 1. Кинематическая схема трансмиссии с блокировочным фрикционом

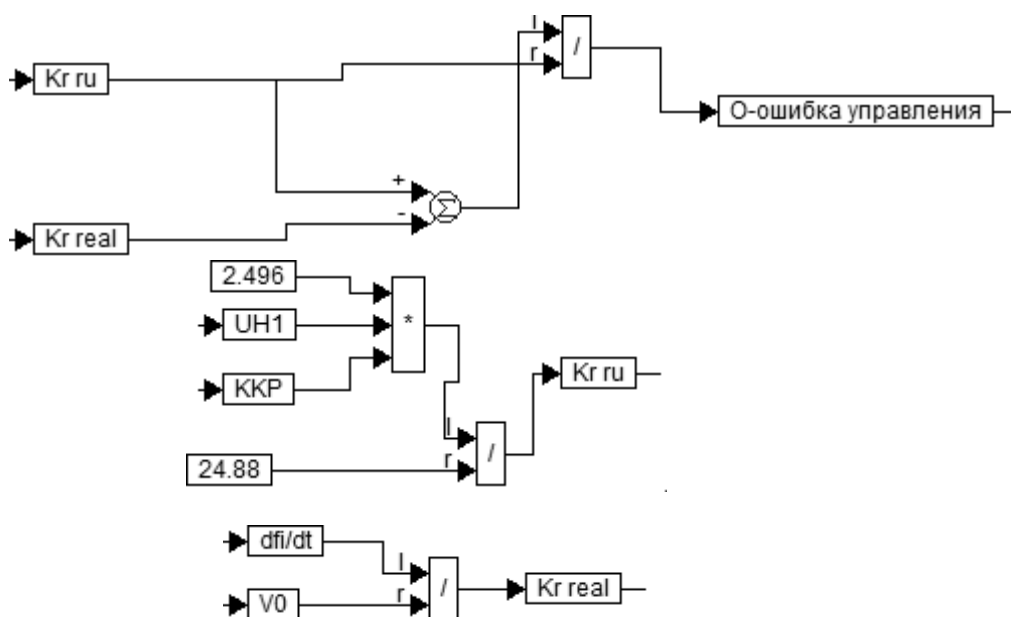


Рис. 2. Блок-схема определения ошибки управления БГМ

Проведен ряд математических экспериментов: 1 – без дополнительных управляющих воздействий; 2 – при дополнительном регулировании наклонной шайбы ГОП; 3 – при включении блокировочного фрикциона механизма поворота и 4 – совместная работа двух АС. Во всех случаях время входа в поворот 0,5 с.

При рассмотрении параметров работы БГМ без помощи АС получены результаты, показанные на рис. 3.

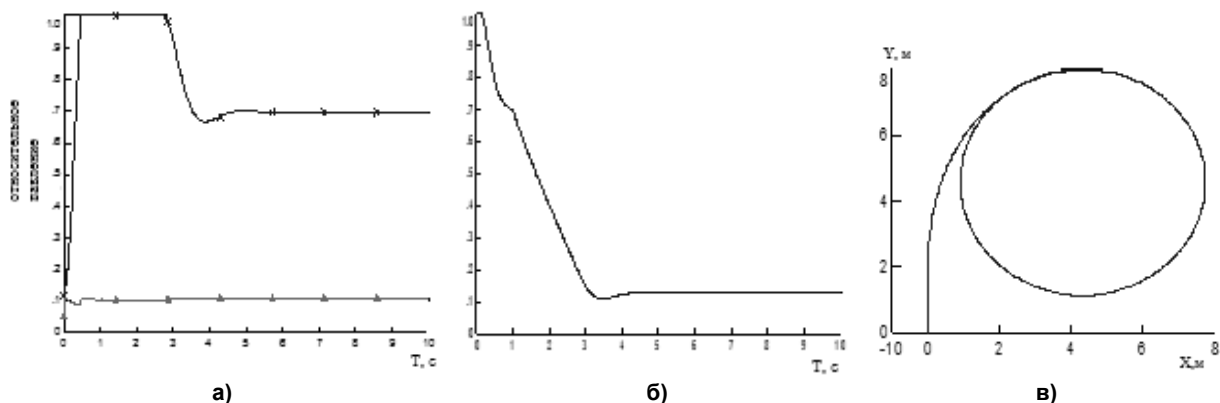


Рис. 3. Параметры работы БГМ без помощи АС:

а – относительное давление ГОП, МПа; б – ошибка управления, %; в – траектория движения без АС, м

ГОП работает на клапане в течение 2,3 с, ошибка управления высока: 79 % при переходном режиме и 12 % в установившемся движении, траектория движения радиусом 3,8 м.

Целью исследования является предотвращение отрицательных эффектов, заключающихся в перегрузке ГОП и значительной ошибке управляемости.

Для этого были применены выработанные ранее законы дополнительного автоматического регулирования гидрообъемного механизма поворота, которые позволяют компенсировать утечки гидрообъемного привода и буксование гусениц, что обеспечивает движение машины по траектории, соответствующей повороту штурвала. В ряде случаев дополнительное регулирование гидрообъемного механизма поворота позволяет избежать заноса за счет снижения подачи насоса ГОП и таким образом обеспечивает управляемость поворота и БФ, работающего параллельно ГОП.

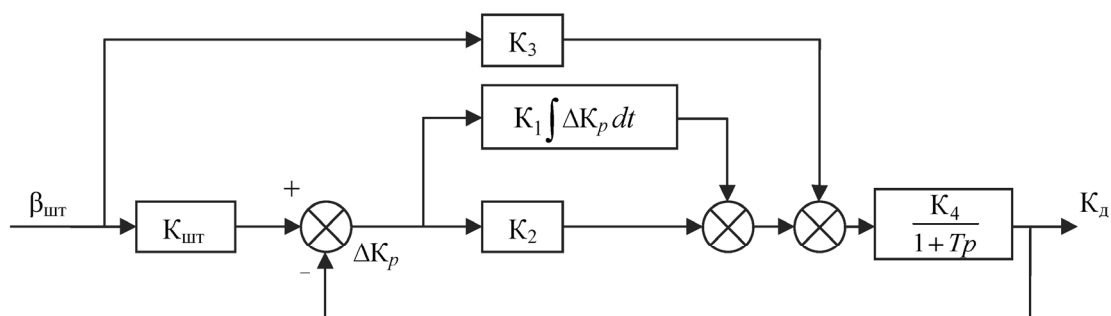


Рис. 4. Блок-схема по дополнительному регулированию наклонной шайбы ГОП

В связи с этим следующим математическим экспериментом было применение АС по управлению наклонной шайбы ГОП. Блок-схема АС приведена на рис. 4. Вследствие такого моделирования наблюдается положительное влияние АС на показатели БГМ, приведенные на рис. 5.

$$\beta_{шайбы} = K_2 \beta_{шт} + K_1 \int (K_{шт} - K_д) dt + K_3 (K_{шт} - K_д), \quad (2)$$

где  $\beta_{шайбы}$  – относительный угол поворота шайбы насоса ГОП;  $\beta_{шт}$  – относительный угол поворота

## Расчет и конструирование

штурвала управления поворотом;  $K_{шт}$  – кривизна траектории по штурвалу;  $K_d$  – действительная кривизна траектории центра масс на местности;  $K_1, K_2, K_3$  – постоянные коэффициенты.

Применение АС дополнительного подкручивания наклонной шайбы ГОП кардинальным образом изменяет траекторию движения БГМ. Радиус поворота становится меньше, чем был без АС. На рис. 5, в показана траектория движения БГМ при применении АС. Радиус снизился до 3,4 м, что соответствует ошибке управления 5 %.

При этом наблюдается перегрузка ГОП по давлению, что неблагоприятно сказывается на динамических свойствах БГМ в течение 2,4 с, но с меньшей ошибкой управления в установившемся повороте, равной 5 %. На рис. 5, б можно наблюдать, что ошибка составляет около 56 % при переходном режиме. Меньшая ошибка управляемости в установившемся повороте – это положительный эффект по улучшению устойчивости БГМ по сравнению с предыдущими условиями. Средняя скорость движения сохранилась при росте точности управления.

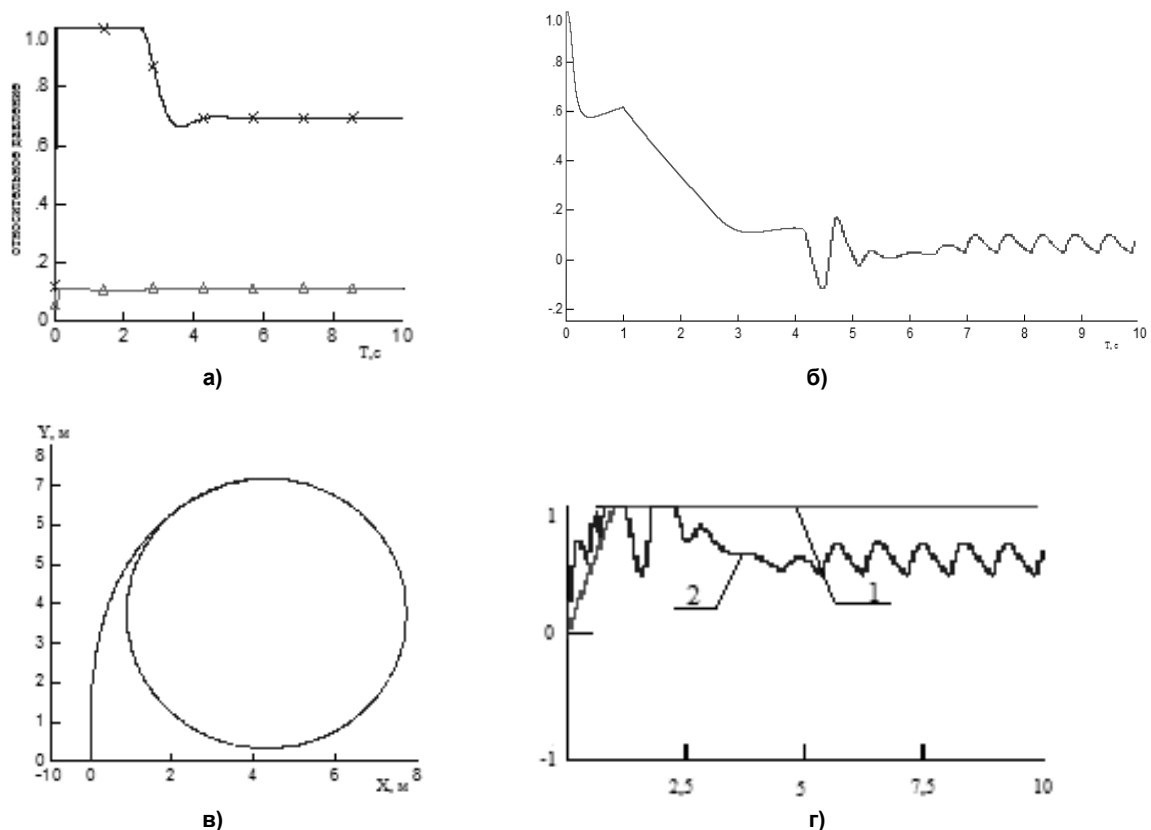


Рис. 5. Показатели БГМ при помощи АС управления наклонной шайбой: а – относительное давление ГОП, МПа; б – ошибка управления, %; в – траектория движения с АС по управлению наклонной шайбой ГОП, м; г – относительный поворот штурвала 1 и наклонной шайбы ГОП 2

Как избежать перегрузки ГОП не теряя качества управления?

Для снижения времени работы ГОП на клапане был применен ранее разработанный алгоритм управления БФ механизма поворота. С помощью которого были получены следующие результаты, показанные на рис. 6.

Способ работы АС заключается в том, что при повороте параллельно ГОП включают устройство блокировки, отличающееся тем, что измеряют скорость перемещения штурвала управления поворотом, скорости изменения давления в гидролиниях ГОП и угловое ускорение машины, суммируют произведения измеряемых величин на выбранные коэффициенты пропорциональности, а устройство блокировки включают при условии превышения полученной суммой заданного уровня [4].

При относительно быстром перемещении штурвала происходит включение БФ, который увеличивает передаваемый им момент от минимального до максимального в течение доли

секунд. При этом происходит увеличение угловой скорости корпуса. Одновременно нарастает давление в ГОП, причем БФ предотвращает перегрузку ГОП. Под действием суммарного момента, создаваемого БФ и мотором ГОП, БГМ получает интенсивное угловое ускорение. ГОП перегружается меньшее количество времени, БФ отключается при достижении установившегося поворота.

При анализе графиков (рис. 6) видно, что удалось разгрузить ГОП, уменьшить время работы на клапане до 0,2 с, снизить ошибку управления по сравнению с вариантом без АС до 67 % при переходном режиме и сохранить 12 % в установившемся повороте с радиусом поворота 3,8 м. БГМ быстрее реализует задаваемую траекторию. Благодаря совместному действию ГОП и БФ с самого начала перемещения штурвала и исключению сброса жидкости ГОП через предохранительный клапан достигается повышение интенсивности процесса входа БГМ в поворот.

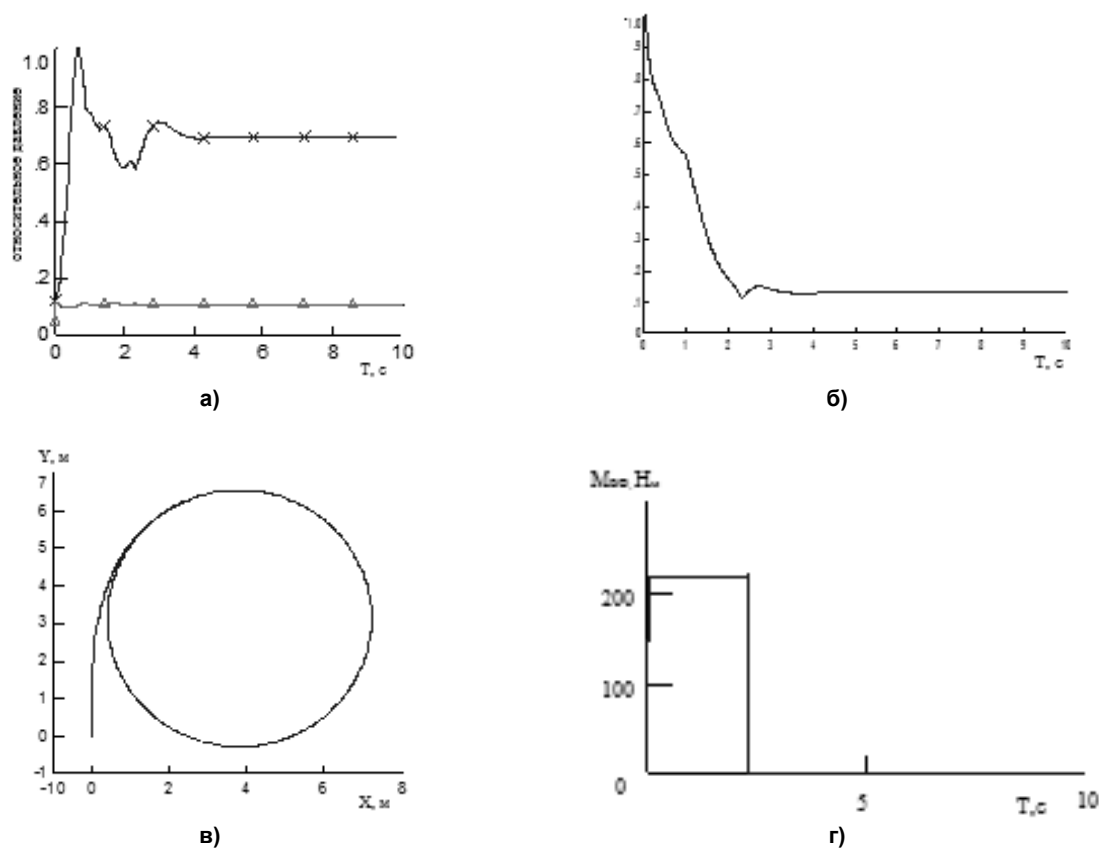


Рис. 6. Показатели БГМ при работе БФ: а – относительное давление ГОП, МПа; б – ошибка управления, %; в – траектория движения с АС по управлению наклонной шайбой ГОП, м; г – передаваемый момент БФ, Нм

Главной целью исследования является возможность совместной реализации двух АС – наклонной шайбы ГОП и БФ.

Результаты совместной работы двух АС показаны на рис. 7.

При совместной работе обеих АС наблюдается положительный эффект, заключающийся в снижении времени работы ГОП на клапане до 0,3 с, а в некоторых случаях полной разгрузки ГОП. Траектория движения более соответствует заданной штурвалом за счет снижения ошибки управления до 41 % в переходном режиме и 5 % в установившемся повороте. Соответственно БГМ быстрее входит в поворот, сохраняя максимальную среднюю скорость движения, при установившемся радиусе поворота, равном 3,4 м.

Имитационное моделирование движение БГМ позволило отработать различные алгоритмы управления МП при входе в поворот и движении по кругу.

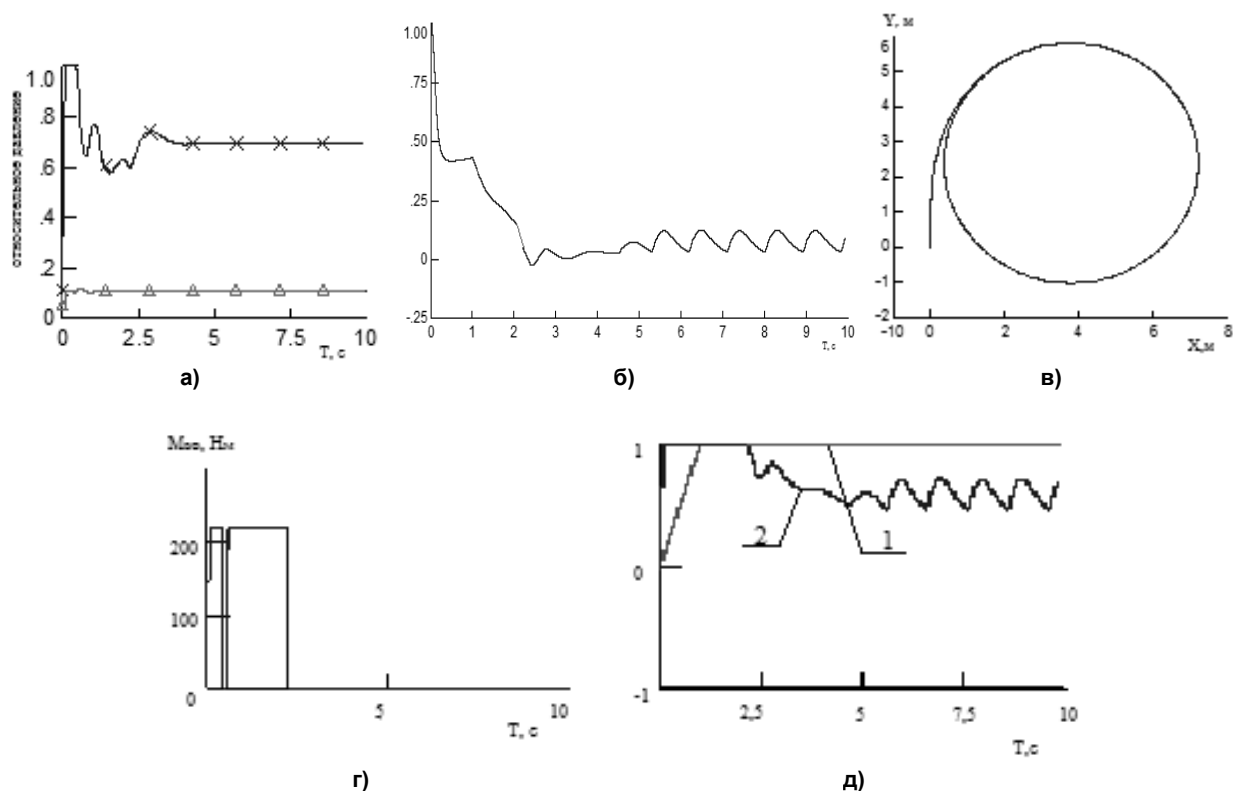


Рис. 7. Результаты совместной работы двух АС: а – относительное давление ГОП, МПа; б – ошибка управления, %; в – траектория движения с АС по управлению наклонной шайбой ГОП, м; г – передаваемый момент БФ, Н·м; д – относительный поворот штурвала 1 и наклонной шайбы ГОП 2

### Выводы

1. Доказана целесообразность использования двух АС, управляющих ГОП и БФ одновременно.
2. При движении БГМ без помощи АС ошибка управления составила в переходном режиме 79 % и в установившемся повороте 12 %.
3. Под действием АС управления наклонной шайбой эта ошибка снизилась до 56 % при входе в поворот и установившемся повороте до 5 %.
4. Применение БФ позволило не только снизить время перегрузки ГОП по давлению с 2,3 до 0,2 с, но и ошибку управления в переходном режиме до 67 % при сохранении в установившемся повороте 12 %.
5. При совместной работе АС по управлению наклонной шайбой ГОП и БФ ошибка управления составила в переходном режиме 41 % и в установившемся повороте 5 %, а время перегрузки ГОП – 0,3 с.

### Литература

1. Пат. 2158682 Российская Федерация, В 60 К 41/00. Автоматическая система управления поворотом гусеничной машины / А.А. Дмитриев, С.А. Бекетов, В.Ф. Язубов, Л.А. Масленников; патентообладатель Военная академия бронетанковых войск. – № 99105097/28; заявл. 11.03.1999; опубл. 10.11.2000.
2. Вонг, Д.Я. Теория наземных транспортных средств / Д.Я. Вонг; пер. с англ. А.И. Аксенов. – М.: Машиностроение, 1982. – 284 с.
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. Оптимизация алгоритма включения фрикциона блокировки гидробъемной передачи дифференциального механизма поворота быстроходной гусеничной машины /

С.В. Кондаков, Д.В. Харлапанов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2011. – Вып. 18. – № 31 (248). – С. 68–76.

5. Шапкин, А.Н. Методика управляемости гусеничных машин / А.Н. Шапкин // Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовки кадров: материалы 77-й междунар. науч.-техн. конф. ААИ, 27–28 марта 2012 г. – М.: МГТУ «МАМИ», 2012. – С. 243–252.

*Поступила в редакцию 30 августа 2012г.*

**Харлапанов Дмитрий Васильевич.** Аспирант кафедры «Колесные и гусеничные машины», Южно-Уральский государственный университет. Область научных интересов – механизмы поворота, управляемость криволинейного движения быстроходных гусеничных машин. E-mail: harla1@mail.ru

**Dmitriy V. Harlapanov.** Graduate of the Wheel and Caterpillar Machine Department, South Urals State University. Professional interests – turning mechanism, driving of curvilinear movement of the high-speed caterpillar machines. E-mail: harla1@mail.ru