

**ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ,
РЕАЛИЗОВАННОГО В КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ
ТАНКА «ОПЛОТ»**

При создании военной техники используются передовые инженерно-технические решения, вследствие чего разработанные на ее базе транспортные средства превосходят свои аналоги по эксплуатационным характеристикам. Отечественная военная техника является одним из лидеров мирового рынка боевых машин [1,2]. Для ее успешного продвижения на мировом рынке вооружения и военной техники необходима модернизация этой техники и создание на ее базе новых машин с повышенными тактико-техническими характеристиками. Одним из направлений модернизации военных машин является установка на них современных автоматизированных систем управления двигателем и трансмиссией [3-5]. Применение указанных систем позволяет значительно улучшить подвижность, управляемость машины и снизить утомляемость водителя [6,7].

В Харьковском конструкторском бюро по машиностроению имени А.А. Морозова (КП ХКБМ) с целью повышения показателей подвижности и управляемости боевых гусеничных машин разработана комплексная система управления движением (КСУД) танка, которая была успешно реализована на новом основном боевом танке «Оплот». Данная система представляет собой цифровую автоматизированную систему управления движением, обеспечивающую автоматизированное управление переключением передач и поворотом гусеничных машин с бортовым типом механизма поворота.

При прямолинейном движении танка КСУД позволяет производить переключение передач снизу-вверх и сверху – вниз в автоматическом режиме, когда бортовой вычислитель сам выбирает момент переключения, основываясь на данных полученных от системы датчиков; полуавтоматическом режиме, при котором водитель нажатием кнопки определяет наилучший момент переключения передач, и в ручном (экстренном) режиме, при котором электронная часть КСУД не участвует в процессе управления. Поворот БГМ обеспечивается за счет импульсного управления фрикционными устройствами (ФУ), что обеспечивает пропорциональное изменение радиуса поворота БГМ в зависимости от угла поворота штурвала.

Внедрение автоматизированной системы управления движением позволило сохранить преимущества механических коробок передач, таких как высокий КПД, надежность, простота обслуживания и относительно низкая производственная стоимость, а также обеспечило плавность поворота, что ранее было характерно только для трансмиссий с гидрообъемными передачами.

Данная разработка обладает всеми признаками перспективности применения ее в составе военной и гражданской гусеничной техники, однако на сегодняшний день существует проблема адаптации КСУД под конструкционные особенности различных транспортных машин. Эта проблема связана с необходимостью проведения комплекса испытаний опытного образца с целью определения оптимальных настроек аппаратуры, входящей в состав системы управления. Одним из решений данной проблемы служит проведение численных экспериментов, основанных на полной динамической математической модели шасси гусеничной машины, учитывающей особенности работы системы КСУД и электрогидромеханической системы управления элементами трансмиссии.

Таким образом, в данной работе представлено решение актуальной научно-технической задачи выбора рациональных характеристик закона управления, реализованного в комплексной системе управления движением танка на базе полной математической модели шасси БГМ, которое было реализовано при разработке танка «Оплот».

Целью исследования являлось определение рациональных характеристик закона управления, реализованного в комплексной системе управления движением танка «Оплот». Для достижения поставленной цели было необходимо: разработать полную динамическую модель шасси танка «Оплот»; провести полный анализ характеристик подвижности и маневренности; дать рекомендации по настройке бортовой аппаратуры системы управления.

При решении поставленных задач использовался авторский метод математического моделирования шасси гусеничных машин [8]. Он был дополнен эмпирической моделью изменения давления масла в бустерах ФУ, разработанной на основе данных стендовых испытаний коробки передач. С целью имитации работы электронной части системы управления, математическая модель также была дополнена алгоритмами закона управления танком в прямолинейном движении и повороте.

БГМ «Оплот» оснащена механической трансмиссией с гидравлическим управлением и автоматизированной системой управления движением. Кинематическая схема трансмиссии (один борт) приведена на рисунке 1.

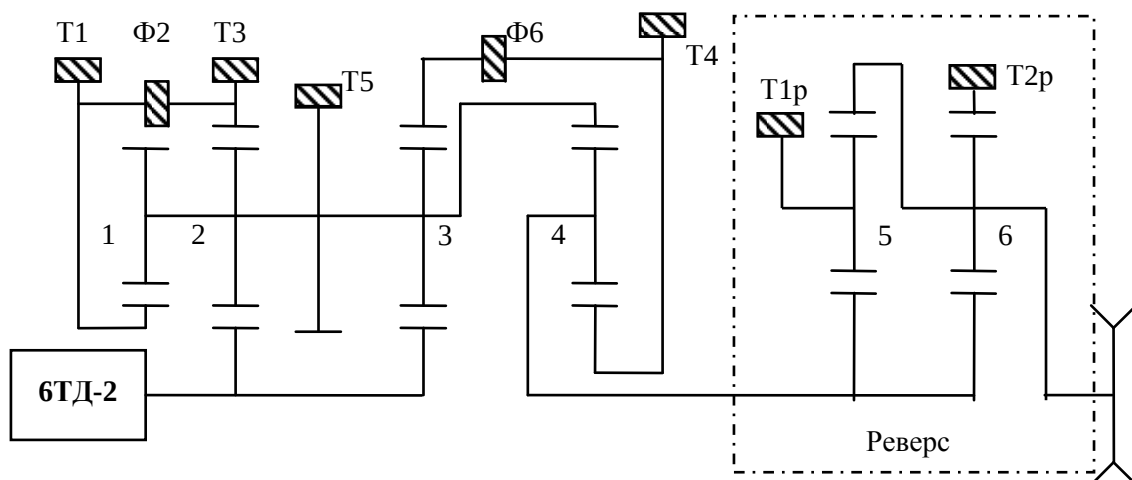


Рисунок 1 – Кинематическая схема трансмиссии
 Т, Ф – фрикционные устройства (тормоза и фрикционы соответственно);
 ОД – основной двигатель (для БГМ «ОПЛОТ» – 6ТД-2);
 Ревёрс – бортовая коробка передач, обеспечивающая прямое и реверсивное движение БГМ;
 1–6 – порядковые номера дифференциальных рядов

В соответствии с кинематической схемой (рис. 1), разработана базовая динамическая модель моторно-трансмиссионной установки танка (рис. 2).

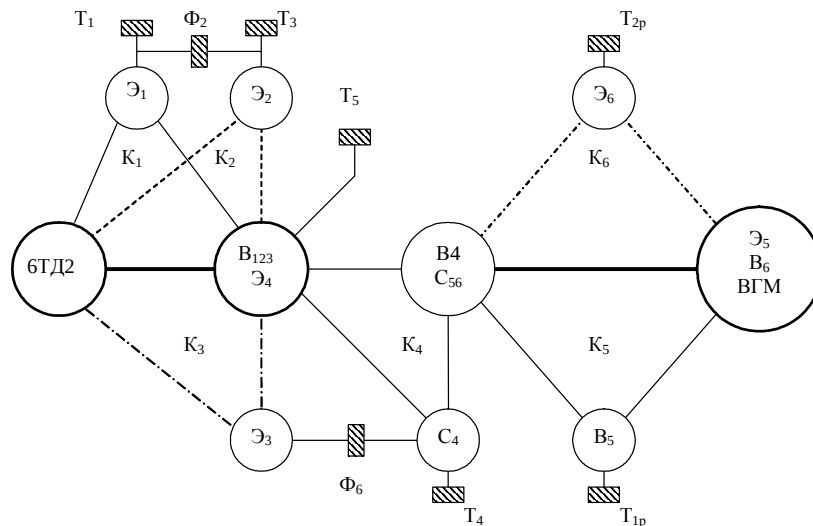


Рисунок 2 – Базовая динамическая модель трансмиссии танка (один борт)

На рис. 2 приведены массы следующих элементов трансмиссии: 6ТД2 – основной двигатель; Θ_1 , Θ_2 , Θ_3 – эпициклы 1, 2 и 3 планетарных рядов соответственно; Θ_4 – сложное водило 1, 2 и 3 планетарных рядов и эпицикл 4 ряда; Θ_5 – водило 4 планетарного ряда и солнца 5 и 6 рядов; Θ_6 – эпицикл 6 ряда; Θ_7 – водило 5 планетарного ряда; Θ_8 – водило 6 ряда и масса БГМ приведенная к ведущему колесу.

Применение современного метода моделирования МТУ [9] позволило обеспечить независимое управление фрикционными устройствами трансмиссии танка. Что, в свою очередь, позволило в полной

мере смоделировать уникальную систему управления движением танком, основанную на преобразовании импульсного сигнала управления в давление в бустерах ФУ трансмиссии танка.

Моделирование процесса изменения давления в бустерах ФУ основано на применении эмпирических функций, полученных путем аппроксимации экспериментальных, полученных в результате стендовых испытаний системы управления (АКТ № 52 от 15.02.07 г. «О снятии частотных характеристик на механизме управления КСУД»). В процессе испытаний были получены наиболее характерные зависимости давления масла в системе управления для всего спектра длительностей сигнала управления τ (таблица 1). При этом было получено, что минимальная величина τ , при которой давление в бустерах ФУ отлично от нуля, составило 34 мс. При $\tau = 85$ мс и более давление достигает максимального значения и не изменяется во времени.

Таблица 1 – Распределение относительного давления в бустере блокировочного ФУ во времени за один такт работы системы управления

Время, с	Индекс набора точек									
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Длительность сигнала управления τ , мс									
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
0.000	0.000	0.006	0.032	0.057	0.140	0.260	0.350	0.550	0.752	0,951
0.005	0.000	0.006	0.032	0.057	0.140	0.260	0.350	0.550	0.843	1.000
0.010	0.000	0.020	0.053	0.079	0.183	0.316	0.415	0.640	0.865	1.000
0.015	0.000	0.028	0.073	0.093	0.334	0.519	0.578	0.730	0.933	1.000
0.020	0.017	0.048	0.135	0.191	0.441	0.593	0.740	0.843	0.955	1.000
0.025	0.042	0.148	0.299	0.302	0.484	0.630	0.838	0.910	0.978	1.000
0.030	0.092	0.304	0.381	0.435	0.570	0.704	0.805	0.933	1.000	1.000
0.035	0.158	0.403	0.422	0.547	0.635	0.704	0.773	0.888	1.000	1.000
0.040	0.275	0.460	0.484	0.636	0.699	0.778	0.773	0.843	1.000	1.000
0.045	0.250	0.546	0.587	0.733	0.785	0.815	0.870	0.865	1.000	1.000
0.050	0.175	0.517	0.722	0.822	0.871	0.908	0.935	0.933	1.000	1.000
0.055	0.117	0.347	0.792	0.903	0.936	0.963	0.968	0.955	1.000	1.000
0.060	0.075	0.204	0.751	0.947	1.000	1.000	1.000	0.978	1.000	1.000
0.065	0.058	0.119	0.443	0.769	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.070	0.033	0.091	0.258	0.413	0.936	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.075	0.017	0.062	0.155	0.257	0.441	0.778	1.000	1.000	1.000	1.000
0.080	0.008	0.034	0.094	0.168	0.312	0.445	0.838	1.000	1.000	1.000
0.085	0.000	0.020	0.065	0.124	0.226	0.371	0.480	0.933	1.000	1.000
0.090	0.000	0.006	0.053	0.079	0.183	0.316	0.415	0.685	0.933	1.000
0.095	0.000	0.006	0.032	0.057	0.162	0.279	0.383	0.573	0,832	1.000
0.100	0.000	0.006	0.032	0.057	0.140	0.260	0.350	0.550	0.752	0,951

* – индекс набора точек определяет количество дискретных приращений величины длительности сигнала управления, при этом при значениях 0 ... 7 (0...35 мс) величины относительного давления принимаются равными 0, а при значениях 18 ... 20 (85 ... 100 мс) – равные максимальному значению.

Таблица 2 – Распределение относительного давления в бустере тормозного ФУ во времени за один такт работы системы управления

Время, с	Индекс набора точек									
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Длительность сигнала управления, мс									
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
0.000	0.000	0.006	0.0362	0.057	0.140	0.260	0.350	0.550	0,730	1.000
0.005	0.000	0.006	0.032	0.057	0.140	0.260	0.350	0.550	0.820	1.000

Продолжение таблицы 2

0.010	0.016	0.031	0.070	0.146	0.226	0.501	0.578	0.820	1.000	1.000
0.015	0.040	0.053	0.165	0.324	0.377	0.852	0.935	1.000	1.000	1.000
0.020	0.081	0.101	0.355	0.769	0.850	0.945	1.000	1.000	1.000	1.000
0.025	0.138	0.164	0.640	0.903	0.957	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.030	0.210	0.403	0.754	0.947	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.035	0.275	0.546	0.792	0.947	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.040	0.226	0.546	0.792	0.947	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.045	0.170	0.530	0.792	0.947	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.050	0.113	0.482	0.792	0.947	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.055	0.081	0.403	0.792	0.947	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.060	0.065	0.307	0.659	0.947	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.065	0.049	0.196	0.469	0.680	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.070	0.024	0.133	0.298	0.502	0.871	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.075	0.016	0.101	0.184	0.280	0.570	0.815	1.000	1.000	1.000	1.000
0.080	0.008	0.069	0.108	0.191	0.441	0.649	1.000	1.000	1.000	1.000
0.085	0.000	0.037	0.070	0.124	0.269	0.445	0.935	0.910	1.000	1.000
0.090	0.000	0.021	0.040	0.079	0.183	0.334	0.513	0.730	0.910	1.000
0.095	0.000	0.006	0.032	0.057	0.140	0.279	0.383	0.595	0.850	1.000
0.100	0.000	0.006	0.032	0.057	0.140	0.260	0.350	0.550	0.730	1.000

Таким образом, давление масла в бустерах ФУ определится как:

$$P = p \cdot P_{MAX}, \text{ [МПа]}, \quad (1)$$

где P_{MAX} – максимальное давление в гидравлической части системы управления; p – относительное давление, определяемое как:

$$p = \frac{T_Y - T_i}{0.005} (y_{i+1,j} - y_{i,j}) + y_{i,j}, \quad (2)$$

где $y_{i,j}$ – табличные данные (см. табл. 1.2 и 1.3); i – индекс строки таблицы 1 для блокировочных ФУ или таблицы 2 если ФУ тормозной;

$$i = \text{round} \left(\frac{T_Y}{0.005} - 0.51 \right) + 1, \quad (3)$$

где $\text{round}(x)$ – функция округляющая значение x до ближайшего целого числа; T_Y – текущее время внутри периода управления 0,1 с ($T_Y = 0 \dots 0,1$):

$$T_Y = t - \frac{\text{round}(t \cdot 10 - 0.5)}{10}, \quad (4)$$

где t – текущее (астрономическое) время.

Величина индекса столбца j определяется как:

$$j = \text{round} \left(\frac{T_{i_MAX}}{0.005} - 0.51 \right) + 1, \quad (5)$$

где T_{i_MAX} – длительность основного импульса управления, получаемая от аппаратуры системы КСУД.

Рациональные параметры закона управления, заложенного в аппаратуру комплексной системы управления движением танка, определялись на основании данных, полученных в процессе проведения широ-

кого спектра численних експериментів. Исследование проводилось для образца танка «Оплот», чьи характеристики совпадали с требованиями технического задания (табл. 3).

Таблица 3 – Параметры танка «Оплот»

Наименование	Размерность	Величина
Общемашинные параметры		
Масса	кг	50000
Длина опорной поверхности гусеницы	м	4,8
Ширина колеи	м	2,79
Радиус ведущего колеса	м	0,313
Двигатель 6 ТД 2Е		
Максимальная объектовая мощность	л.с.	998
Максимальная частота вращения вала двигателя	об/мин	2800
Минимальная эксплуатационная частота вращения коленвала двигателя	об/мин	1600

С целью наиболее полно исследовать влияние параметров системы управления на характеристики подвижности и маневренности машины были рассмотрены наиболее характерные режимы движения, такие как:

1. Разгон машины до максимальной скорости на твердом дорожном покрытии.
2. Экстренное торможение машины и торможение двигателем при различных условиях движения.
3. Вход в поворот и движение машины в повороте с фиксированным положением штурвала.

Прямолинейное движение

Исследование процесса разгона выявило, что его интенсивность напрямую зависит от контрольной величины, при которой происходит включение следующей передачи. Наиболее интенсивный разгон был получен при значении контрольной частоты вращения вала двигателя равной 2800 об/мин. Так же было определено, что трогание танка с места на бетонном покрытии необходимо осуществлять при частоте вращения вала двигателя не более 2400 об/мин, что исключает пробуксовку гусениц.

Исследование режимов экстренного торможения показало, что при начальной скорости 70 км/ч (40 км/ч) полная остановка танка происходит менее чем за 7 с (5 с), что удовлетворяет условиям ТЗ. В режиме торможения двигателем алгоритмы системы КСУД обеспечили безопасное переключение передач «сверху – вниз» без значительных скачков частоты вращения вала двигателя.

Движение в повороте

Исследование режимов криволинейного движения танка показало, что отсутствует реакция машины на поворот штурвала в диапазоне 0–30 % от его максимального хода. Кроме того, была выявлена заторможенная реакция танка на управляющее воздействие рис. 3. Данный эффект был вызван продолжительным нарастанием длительности сигнала управления Ti_{max} рис. 4.

В результате проведенного исследования было принято решения о внедрении следующих мероприятий, позволивших повысить качество характеристик управляемости танка (см. рис. 5):

1. Введение начального смещения сигнала управления на 30 мс, что позволило снизить зону нечувствительности штурвала и повысить точность управления.
2. Увеличение постоянной времени фильтра частоты вращения ведущих колес, что позволило дополнительно усилить сигнал управления в процессе входа в поворот.

Предложенные мероприятия позволили в значительной степени повысить качество управляемости танка «Оплот», однако они не обеспечили точного совпадения заданного штурвалом и действительного радиуса поворота. Достичь полого совпадения этих характеристик возможно путем кардинального изменений в аппаратной части системы управления.

Таковыми изменениями могут быть:

1. Значительное уменьшение дискретности формирования сигнала управления ΔTi_{max} .
2. Расширение зоны эффективной импульсной модуляции. Для чего необходимо обеспечить минимальный ток управления равный 30 % от максимального, а уровень тока при полном заполнении периода управления обеспечить равным 80 % от максимального.

Данные мероприятия позволят увеличить количество точек промежуточного давления управления, однако это так же приведет к значительному усложнению аппаратуры КСУД, увеличению ее стоимости, габаритов и, как следствие, снижению надежности.

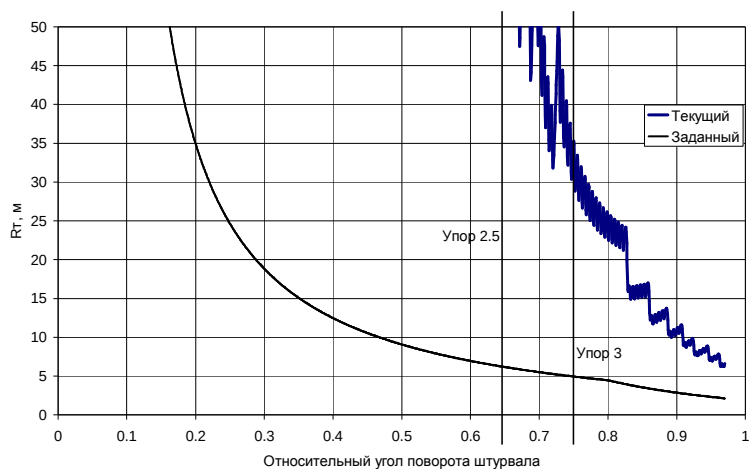


Рисунок 3 – Изменение радиуса поворота изделия при плавном повороте штурвала

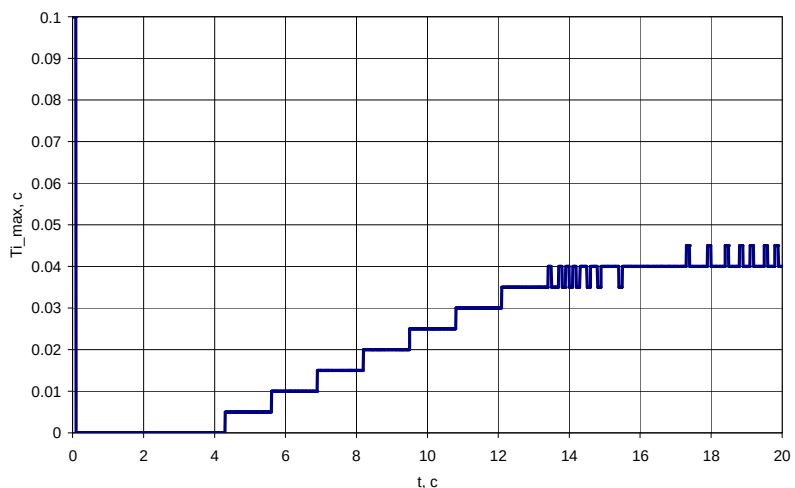


Рисунок 4 – Изменение времени управления (T_{i_max}) в процессе поворота

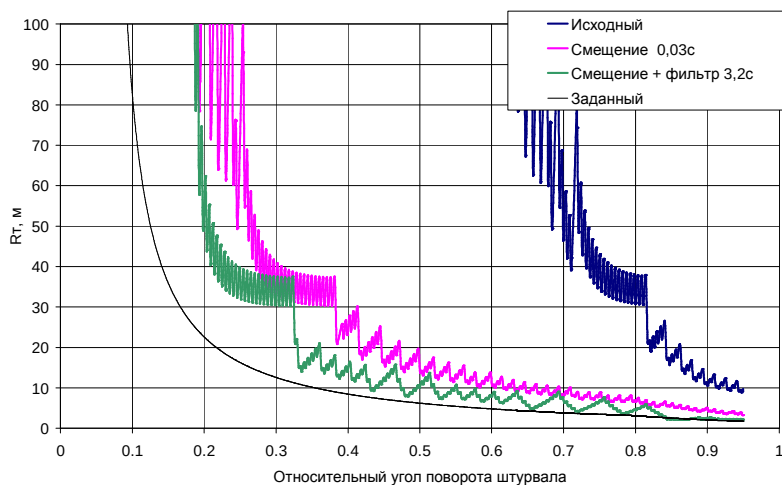


Рисунок 5 – Изменение радиуса поворота

В настоящее время система автоматизированного управления движением танка КСУД установлена на танке «Оплот», который успешно прошел государственные приемосдаточные испытания. Даная система продемонстрировала значительное превосходство в простоте управления над механогидравлическими системами управления, которые применялись ранее.

В процессе данного исследования были определены рациональные параметры закона управления, реализованного в аппаратуре КСУД. Таким образом, дальнейшее совершенствование автоматизированной системы управления не возможно без изменения аппаратной части данной системы. Рассмотренные ранее варианты модификации аппаратуры КСУД были отклонены из-за чрезмерной сложности исполнения, которая была бы не адекватной полученному положительному эффекту. Вследствие чего, авторами предложен ряд мероприятий по совершенствованию аппаратуры КСУД, который не требует значительного усложнения аппаратной части системы.

Предложение основано на анализе данных, полученных в результате математического моделирования, стендовых и ходовых испытаний прототипов танка «Оплот».

Исследование данных стендовых испытаний коробки передач танка «Оплот» в комплекте с системой КСУД показало, что изменение давления в 4-м тормозном фрикционе имеет трапецевидный характер (см. рис. 6 и 7) для длительностей управляющего сигнала более 40 мс.

Изменение давления масла в бустере 4-го ФУ колеблется в пределах от 5 атм до максимального значения (18 атм). Реакция гидравлической системы смещена на 34мс от момента поступления сигнал управления, что говорит о наличии значительной зоны не чувствительности в начале периода управления. При длительности сигнала управления 50 мс насыщение 4-го ФУ ($P_4 = \text{MAX}$) наступает в течении 30 мс. При этом величина тока управления составляет 75 % от максимально возможного значения, что при максимальном токе 0,8 А составит 0,6 А. В соответствии с заводскими характеристиками пропорциональных гидравлических клапанов, использованных в составе КСУД, току 0,6 А соответствует давление $12,5 \pm 1$ атм (при максимальном давлении 22 атм).

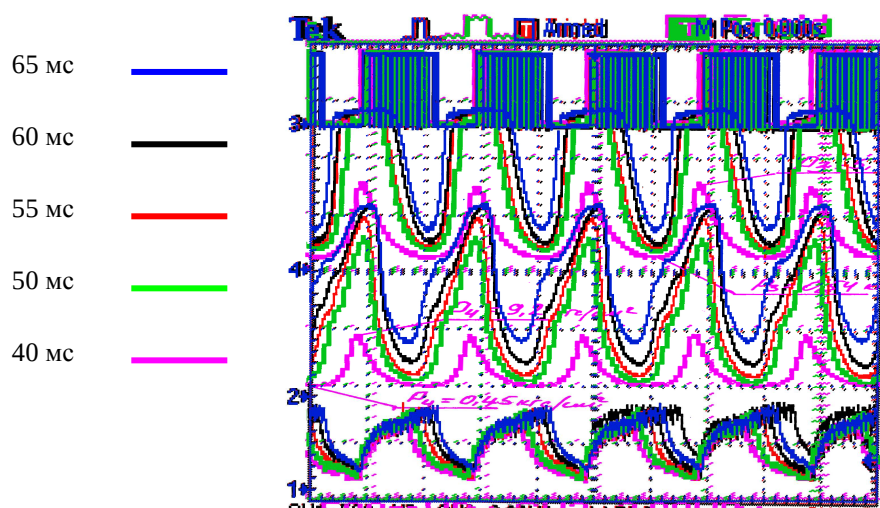


Рисунок 6 – Изменение давления в бустерах КП при различной длительности сигнала управления

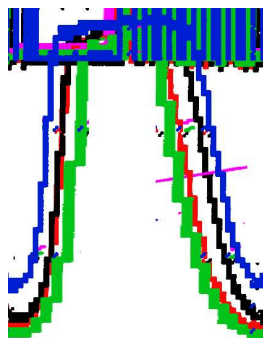


Рисунок 7 – Изменение давления в 4-ом тормозном фрикционе при различной длительности сигнала управления

Характер изменения давления в бустере блокировочного фрикциона 3 имеет аналогичный характер, однако за счет утечек масла в гидросистеме, свойственным блокировочным фрикционам, имеет плавный фронт нарастания давления.

Сравнительный анализ кривых для различных длительностей сигнала управления показал близкий к релейному характер изменения давления в бустерах фрикционных устройств КП. Кроме того, за счет инерционности гидроэлектрической системы, нарастание и спад давления оказалось растянутым во времени, что не позволяет давлению снизиться до 0 и соответственно разомкнуть фрикционные диски.

Таким образом, диапазон изменения сигнала управления, в котором наблюдается адекватная реакция гидравлической системы, находится в пределах 35–75 мс, что, принимая во внимание дискретность шага изменения сигнала управления 5 мс, обеспечивает 8 точек условно постоянного давления в бустерах КП (табл. 4).

Таблица 4 – Данные стендовых испытаний ФУ

Скважность, %	P3 мин	P3 макс	P4 мин	P4 макс
0	0.0	0.0	0.0	0.0
32	0.0	0.0	0.0	0.0
35	0.3	1.2	0.0	2.3
40	0.6	5.7	0.0	7.5
45	0.6	10.5	0.0	13.7
50	1.2	17.2	0.7	17.8
55	2.1	18.3	2.1	19.2
60	4.3	19.1	3.4	19.9
65	7.1	19.4	4.8	19.9
70	11.4	19.4	6.9	20.6
75	14.7	19.4	9.3	19.5
80	18.4	19.4	13.0	19.2
85	19.0	19.0	19.0	19.0
100	19.0	19.0	19.0	19.0

Подобный характер поведения гидроэлектрической системы приводит к тому, что электронной системе управления поворотом с обратной связью приходится компенсировать ее недостатки за счет аperiodических колебаний длительности сигнала управления (рис. 8 и 9). Что в свою очередь приводит к ограничению возможности точного управления изделием и незначительным колебаниям корпуса изделия с частотой 1–2 Гц (рис. 10).

Как показано ранее проведенное исследование (п. 2) при идеальных дорожных условиях (по условиям моделирования) добиться совпадения заданного радиуса поворота с действительным является невозможным.

Таким образом, наиболее перспективным направлением улучшения характеристик КСУД является увеличение количества точек условно постоянного давления масла в системе управления, что позволит уменьшить амплитуду колебания величины давления за счет более точного управления пропорциональными клапанами, а также позволит увеличить точность отработки машиной заданного водителем маневра.

С целью увеличения количества точек условно постоянного давления авторами рекомендуется внедрение модифицированного принципа формирования сигнала управления. Сущность данной модификации заключается в применение комбинированного метода управления с применением амплитудно-широотно импульсной модуляции (АШИМ) сигнала управления, что обеспечит расширение диапазона изменения сигнала управления, в котором наблюдается адекватная реакция гидравлической системы, а также позволит построить более гибкую самонастраивающуюся систему управления.

С этой целью предлагается ввести в аппаратуру управления возможность ступенчатого наращивания амплитуды импульсов управления с фиксацией нулевого уровня.

На рисунке 11 приведен основной принцип формирования сигнала управления, который заключается в следующем:

1. Формируется нулевой сигнал, который соответствует электрическому сопротивлению R_1 и обеспечивает ток на катушке пропорционального клапана равный максимально возможному току, при котором

давление масла на выходе клапана равно нулю. Нулевой уровень позволит компенсировать зону нечувствительности клапана по току.

2. На время соответствующее длительности сигнала управления, которое определяется в соответствии с алгоритмами системы управления, электрическое сопротивление цепи изменяется на значение R_2 , соответствующее максимальному току на катушке пропорционального клапана. Сопротивление R_2 может устанавливаться на промежуточный уровень, исключая диапазон токов, при котором давление на выходе клапана равно максимальному давлению в системе управления.

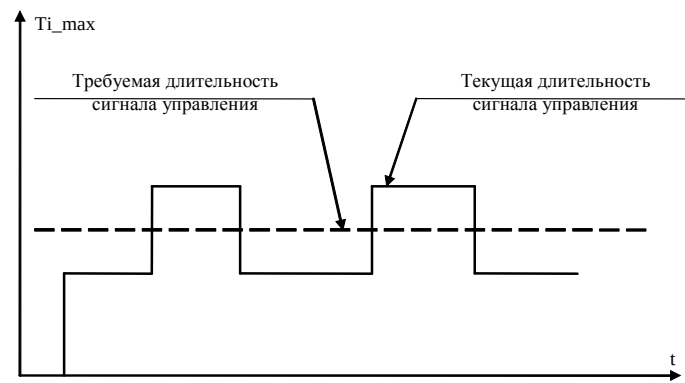


Рисунок 8 – Изменения длительности сигнала управления

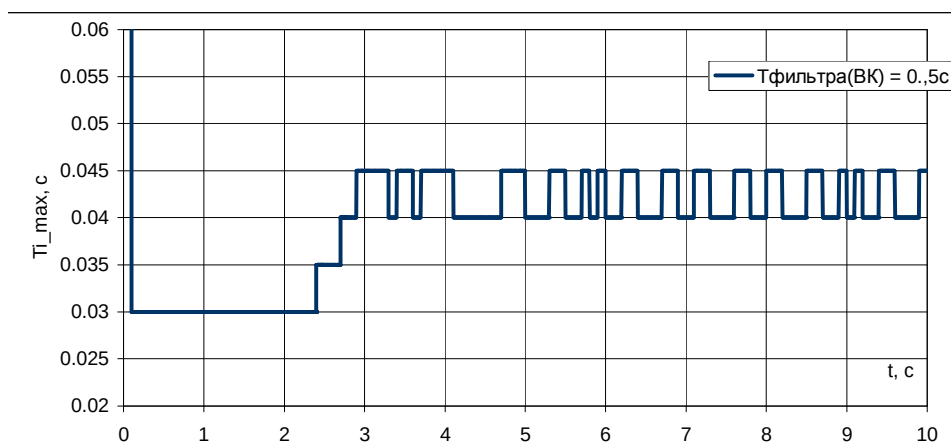


Рисунок 9 – Изменения длительности сигнала управления (по данным математического моделирования)

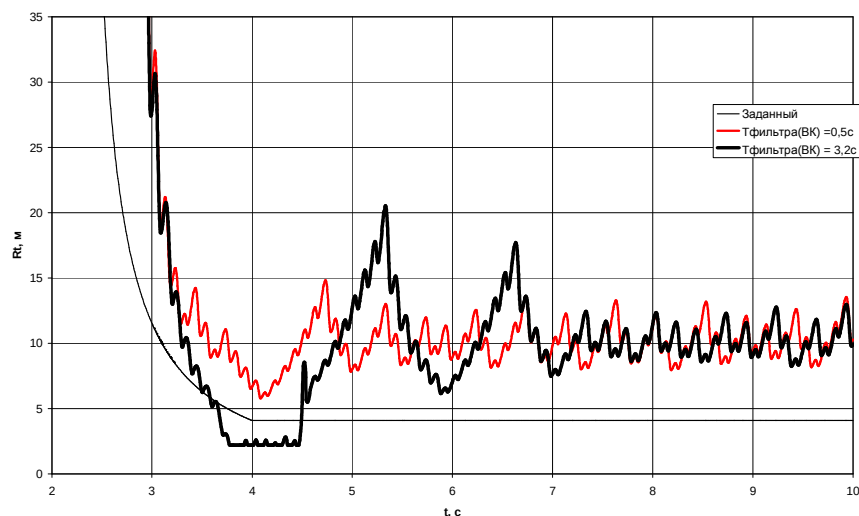


Рисунок 10 – Радиус поворота изделия при различных значениях коэффициента фильтрации частоты вращения ВК

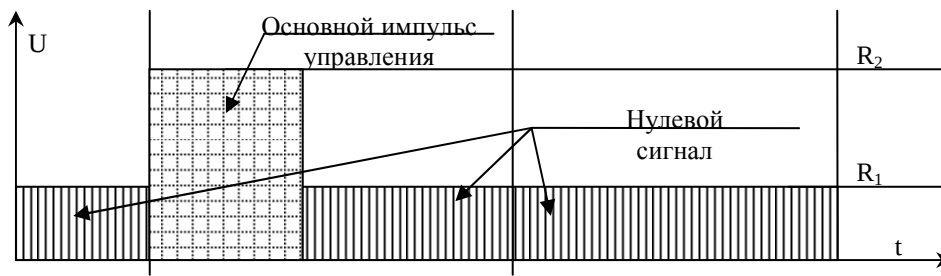


Рисунок 11 – Принцип АШИМ

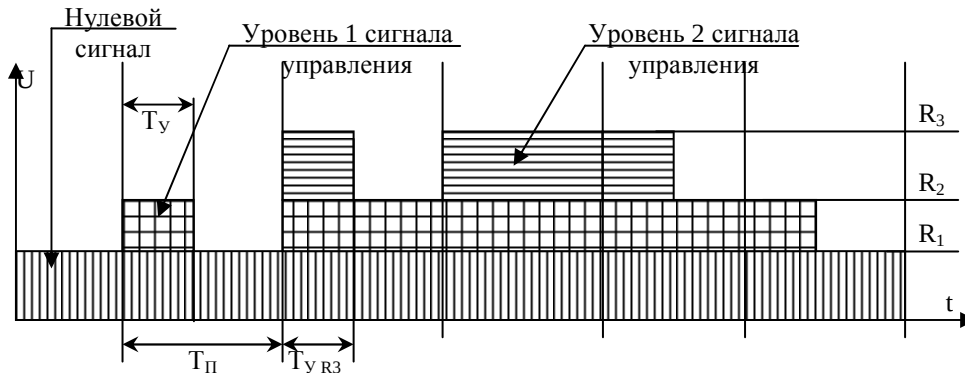


Рисунок 12 – Принцип многоступенчатого АШИМ

Для системы КСУД, входящей в состав танка «Оплот», предпочтителен будет вариант многоступенчатого изменения амплитуды сигнала управления. На рисунке 12 приведен принцип формирования сигнала управления с 3-х ступенчатым изменением амплитуды. Данный принцип может быть распространен на большее число ступеней, однако, принимая во внимание, большую инерционность танка «Оплот» увеличение количества ступеней до 4 и более нецелесообразно.

Алгоритм формирования многоступенчатого АШИМ импульса управления заключается в следующем:

1. Формируется нулевой сигнал.
2. На время соответствующее длительности сигнала управления (T_y), которое определяется в соответствии с алгоритмами системы управления, электрическое сопротивление цепи изменяется на значение R_2 .
3. В случае если величина T_y равна периоду выдачи управляющего сигнала T_{Π} , уровень R_2 принимается нулевым сигналом, при этом формируется сигнал управления с уровнем электрического сопротивления R_3 . При этом длительность сигнала управления определяется как $T_{yR3} = (T_y - T_{\Pi})$.
4. Уменьшение амплитуды сигнала управления производится в обратном порядке.

Данный способ формирования сигнала управления позволит в 2 раза увеличить диапазон изменения сигнала управления, в котором наблюдается адекватная реакция гидравлической системы, что значительно увеличит точность управления. Кроме того, подобная модификация не потребует значительного усложнения аппаратуры КСУД.

Выводы

1. Разработанная математическая модель шасси, электронной и гидромеханической систем управления танка позволяет анализировать характеристики подвижности и маневренности данной машины, что позволяет значительно сократить объем натурных испытаний.
2. Применение предложенного метода определения рациональных характеристик закона управления позволило произвести предварительную настройку параметров КСУД установленной на танке «Оплот» и обеспечить наилучшие характеристики подвижности и маневренности данной машины.
3. Предложенные мероприятия по совершенствованию аппаратуры КСУД позволят повысить точность выполнения маневров при незначительных изменениях аппаратуры.

Литература

1. Харьковское конструкторское бюро по машиностроению им. А.А. Морозова / [Веретенников А.И., Рассказов И.И., Сидоров К.В., Решетило Е.И.]. – Харьков: КП ХКБМ, 2007. – 188 с.
2. Александров Е.Е. Быстроходные гусеничные и армейские колёсные машины: Краткая история развития. / Е.Е. Александров, В.В. Епифанов – Харьков: НТУ "ХПИ", 2001. – 375 с.
3. Смоляков В.А. Выбор и обоснование направлений создания микропроцессорных систем управления составными частями шасси легкобронированных колесных машин украинского производства / В.А. Смоляков, Ю.М. Гужва, А.А. Бадекин, А.А. Безлепкин, С.В. Стримовский // *Механіка та машинобудування*. – 2011. – №2. – С. 193–35.
4. Слюсаренко Ю.О., Галушка Ю.В. Решение задачи плавного управления поворотом боевой гусеничной машины, оборудованной ступенчатой реверсивной трансмиссией, путём синтеза и разработки цифровой электронной системы автоматизированного управления поворотом БГМ // *Механіка та машинобудування*. – 2003. – №2. – С. 123–138.
5. Слюсаренко Ю.О. Решение задачи пропорционального управления поворотом боевой легкобронированной гусеничной машины, оборудованной ступенчатой планетарной трансмиссией с дифференциальным приводом поворота, путём синтеза цифровой электронной системы автоматизированного управления поворотом // *Механіка та машинобудування*. – 2004. – №1. – С. 195–204.
6. Слюсаренко Ю.О., Александров Е.С., Смоляков В.А. Математическое моделирование криволинейного движения боевой гусеничной машины (БГМ), оборудованной системой автоматизированного управления поворотом // *Зб. наукових праць 12-ї міжнародної науково-методичної конференції «Технології XXI века»*. – Алушта, 2005. – С. 18–25.
7. Борисюк М.Д. Дослідження характеристик рухливості легкоброньованої колісної військової машини з гідромеханічною трансмісією / М.Д. Борисюк, В.О. Толстолуцький, С.В. Стримовський, В.М. Соловйов // *Інтегровані технології та енергозбереження*. – 2010. – №4. – С. 102–108.
8. Толстолуцький В.О. Аналіз і параметричний синтез механічних трансмісій сучасних швидкохідних гусеничних машин: Дис. канд. техн. наук: 05.22.02. – Харків, 2007., – 134 с.
9. Толстолуцький В.А. Анализ процесса переключения передач «сверху – вниз» и выбор необходимых параметров блокировки переключения передач гусеничных машин специального назначения // *Праці / Таврійська державна агротехнічна академія – Вип. 7, том 1 – Мелітополь: ТДАТА, 2007. – С. 134–139.*

Literatura

1. Harkovskoe konstruktorskoe byuro po mashinostroeniyu im. A.A. Morozova / [Veretennikov A.I., Rasskazov I.I., Sidorov K.V., Reshetilo E.I.]. –Harkov: KP HKBM, 2007. – 188 s.
2. Aleksandrov E.E. Byistrohodnyie gusenichnyie i armeyskie kolYosnyie mashinyi: Kratkaya istoriya raz-vitiya. / E.E. Aleksandrov, V.V. Epifanov –Harkov: NTU "HPI", 2001. – 375 s.
3. Smolyakov V.A. Vyibor i obosnovanie napravleniy sozdaniya mikroprotsessornyih sistem upravle-niya sostavnyimi chastyami shassi legkobronirovannyih kolesnyih mashin ukrainskogo proizvodstva / V.A. Smolyakov, Yu.M. Guzhva, A.A. Badekin, A.A. Bezlepkyn, S.V. Strimovskiy // *Mehanika ta mashinobudu-vannya*. – 2011. – #2. – S. 193–35.
4. Slyusarenko Yu.O., Galushka Yu.V. Reshenie zadachi pлавного upravleniya povorotom boevoy guse-nichnoy mashinyi, oborudovannoy stupenchatoy reversivnoy transmissiyei, putYom sinteza i razrabotki tsifrovoy elektronnoy sistemyi avtomatizirovannogo upravleniya povorotom BGM // *Mehanika ta mashi-nobuduvannya*. – 2003. – #2. – S. 123–138.
5. Slyusarenko Yu.O. Reshenie zadachi proportsiionalnogo upravleniya povorotom boevoy legkobroni-rovannoy gusenichnoy mashinyi, oborudovannoy stupenchatoy planetarnoy transmissiyei s differentsi-alnyim privodom povorota, putYom sinteza tsifrovoy elektronnoy sistemyi avtomatizirovannogo uprav-leniya povorotom // *Mehanika ta mashinobuduvannya*. – 2004. – #1. – S. 195–204.
6. Slyusarenko Yu.O., Aleksandrov E.E., Smolyakov V.A. Matematicheskoe modelirovanie krivoliney-nogo dvizheniya boevoy gusenichnoy mashinyi (BGM), oborudovannoy sistemoy avtomatizirovannogo upravleniya povorotom // *Zb. naukovih prats 12-Yi mIzhnarodnoYi naukovometodichnoYi konferentsiYi «Tehno-logii XXI veka»*. – Alushta, 2005. – S. 18–25.
7. Borisyuk M.D. Doslidzhennya harakteristik ruhливosti legkobronovanoYi kolIsnoYi vIyskovoYi mashi-ni z gIdromehanIchnoyu transmiSIeyu / M.D. Borisyuk, V.O. Tolstolutskiy, S.V. StrImovskiy, V.M. Solov-yov // *IntegrovanI tehnologIYi ta energozberezhennya*. – 2010. – #4. – S. 102–108.
8. Tolstolutskiy V.O. AnalIz I parametrichniy sintez mehanIchnih transmiSIy suchasnih

shvidkohidnih gusenichnih mashin: Dis. kand. tehn. nauk: 05.22.02. – Harkiv, 2007., – 134 s.

9. Tolstolutskiy V.A. Analiz protsessa pereklyucheniya peredach «sverhu – vniz» i vyibor neobhodimiyh parametrov blokirovki pereklyucheniya peredach gusenichnyih mashin spetsialnogo naznacheniya // Pratsi / Tavriyska derzhavna agrotehnichna akademiya – Vip. 7, tom 1 – Melitopol: TDATA, 2007. – S. 134–139.

Bibliography (transliterated)

1. Harkovskoe konstruktorskoe byuro po mashinostroeniyyu im. A.A. Morozova [Veretennikov A.I., Rasskazov I.I., Sidorov K.V., Reshetilo E.I.]. –Harkov: KP HKBM, 2007. – 188 p.

2. Aleksandrov E.E. Byistrohodnyie gusenichnyie i armeyskie koizosnyie mashiny: Kratkaya istoriya razvitiya. E.E. Aleksandrov, V.V. Epifanov –Harkov: NTU "HPI", 2001. – 375 p.

3. Smolyakov V.A. Vyibor i obosnovanie napravleniy sozdaniya mikroprotsessornyih sistem upravleniya sostavnyimi chastyami shassi legkobronirovannyih kolesnyih mashin ukrainskogo proizvodstva V.A. Smolyakov, Yu.M. Guzhva, A.A. Badekin, A.A. Bezlepin, S.V. Strimovskiy Mehanika ta mashinobudu-vannya. – 2011. – #2. – p. 193–35.

4. Slyusarenko Yu.O., Galushka Yu.V. Reshenie zadachi plavnogo upravleniya povorotom boevoy gusenichnoy mashiny, oborudovannoy stupenchatoy reversivnoy transmissiyei, putyom sinteza i razrabotki tsifrovoy elektronnoy sistemyi avtomatizirovannogo upravleniya povorotom BGM Mehanika ta mashinobuduvannya.– 2003.– #2. – p. 123–138.

5. Slyusarenko Yu.O. Reshenie zadachi proporsionalnogo upravleniya povorotom boevoy legkobronirovannoy gusenichnoy mashiny, oborudovannoy stupenchatoy planetarnoy transmissiyei s differentsi-alnym privodom povorota, putyom sinteza tsifrovoy elektronnoy sistemyi avtomatizirovannogo upravleniya povorotom Mehanika ta mashinobuduvannya. – 2004. – #1. – p. 195–204.

6. Slyusarenko Yu.O., Aleksandrov E.E., Smolyakov V.A. Matematicheskoe modelirovanie krivolineynogo dvizheniya boevoy gusenichnoy mashiny (BGM), oborudovannoy sistemoy avtomatizirovannogo upravleniya povorotom Zb. naukovih prats 12-yi mizhnarodnoyi naukovometodichnoyi konferentsiyi «Tehnologii XXI veka». – Alushta, 2005. – p. 18–25.

7. Borisyyuk M.D. Doslidzhennya harakteristik ruhливosti legkobronovanoyi kolisnoyi viyskovoyi mashini z gidromehanichnoyu transmisieyu M.D. Borisyyuk, V.O. Tolstolutskiy, S.V. Strimovskiy, V.M. Solovyov Integrovani tehnologii ta energozberezhennya. – 2010. – #4. – p. 102–108.

8. Tolstolutskiy V.O. Analiz i parametrichniy sintez mehanichnih transmisii suchasnih shvidkohidnih gusenichnih mashin: Dis. kand. tehn. nauk: 05.22.02. – Harkiv, 2007., – 134 p.

9. Tolstolutskiy V.A. Analiz protsessa pereklyucheniya peredach «sverhu – vniz» i vyibor neobhodimiyh parametrov blokirovki pereklyucheniya peredach gusenichnyih mashin spetsialnogo naznacheniya Pratsi Tavriyska derzhavna agrotehnichna akademiya – Vip. 7, tom 1 – Melitopol: TDATA, 2007. – p. 134–139.

УДК 621.83

Толстолицкий В.О., Стримовский С.В.

ВИБІР РАЦІОНАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАКОНУ КЕРУВАННЯ, РЕАЛІЗОВАНОГО В КОМПЛЕКСНІЙ СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ РУХОМ ТАНКА «ОПЛОТ»

Розроблено математичну модель шасі, електронної та гідромеханічної систем керування танка «Оплот», що дозволяє аналізувати характеристики рухливості та маневреності даної машини. Запропоновано метод визначення раціональних характеристик закону керування, що дозволило зробити попереднє настроювання параметрів КСУД установленної на танку «Оплот» і забезпечити найкращі характеристики рухливості й маневреності даної машини. Запропоновано заходи щодо вдосконалювання апаратур КСУД, які дозволять підвищити точність виконання маневрів при не значних змінах апаратур.

Tolstolutsky V.A., Strimovskyy S.V.

RATIONAL FEATURES SELECTION OF THE CONTROL ALGORITHM, THAT WAS REALIZED AT COMPLEX MOVEMENT CONTROL SYSTEM OF THE TANK "OPLOT"

Mathematical model of the carriage, electronic and hydromechanic control system of tank "Oplot" was designed. It made it possible to analyse the features to mobility and maneuverability of given vehicle. Rational features determination method for the algorithms of control system was offered. It allowed to produce preliminary tuning of initial parameters of KSUD system installed on tank "Oplot", that provide the best features of mobility and maneuverability to given vehicle. Improvement actions were offered for KSUD equipment, that will allow to raise accuracy of the manoeuvre with not significant changes of the electronic equipment.