

ИТЭ №3, 2014

<i>Сторінка редколегії</i> До 110-річчя з Дня народження О. О. Морозова	3
<i>Анико О. Б., Приймак А. Н., Сиренко С. Н., Илларионов А. Н., Гутниченко Е. А.</i> Экранирование источников инфракрасного излучения диспергированной жидкостью	5
<i>Анико О. Б., Сиренко С. Н.</i> Основные функции и структура информационно-управляющей системы тактического звена	9
<i>Бирюков И. Ю.</i> Расчет средних ошибок, определяемых дополнительной акустической системой разведки наземных целей	12
<i>Бобер А. В., Возгрин Ю. В., Зарянов В. А., Кузьминский В. А., Лазурко А. В.</i> Управление интенсивностью турбулентного потока заборного воздуха над радиаторами	19
<i>Бутылин А. А., Толстоуцкий В. А., Лизунов К. М., Журавлев С. В., Кошман В. А.</i> Перспективная схема трансмиссии для легкобронированной гусеничной машины	25
<i>Власенко Д. В., Жадан В. А., Нефедов А. В., Угненко Д. Н.</i> Анализ конструкций гидропневматических подвесок современных колесных машин. основные тенденции развития	32
<i>Возгрин Ю. В., Зарянов В. А., Золотуха В. Н., Кузьминский В. А., Лазурко А. В.</i> Способы качественного улучшения пусков двигателей танков Т-84 И БМ «ОПЛОТ» в случаях их останова при преодолении брода	36
<i>Глебов В. В., Роленко С. А.</i> Системы обнаружения комплексов активной защиты	43
<i>Дашков Д. Л., Муцинский Ю. М., Толстоуцкий В. А., Афонский П. В., Федоренко Е. В.</i> Исследование возможностей повышения стойкости ЛБТ к минному подрыву	48
<i>Киприч К. К., Ковалив В. И., Малахов В. А.</i> Анализ тенденций изменения оборонных расходов стран Азиатско-Тихоокеанского региона в 2013 г. (на примере Индонезии и Таиланда)	53
<i>Луценко В. И., Луценко И. В., Соболяк А. В.</i> Пассивные акустические системы разведки, дальность их действия и разрешающая способность	60
<i>Магерамов Л. К., Кроленко А. И., Сливар Е. Я., Нефедов А. В., Гулевский Ю. В.</i> Анализ конструктивных особенностей динамических платформ тренажеров	65
<i>Оксенич Н. В., Долженко И. Ю., Комар Ю. Е., Лебедев В. А, Беличенко А. В.</i> Модульный принцип проектирования комплексов вооружения легкой бронетанковой техники	70
<i>Слюсаренко Ю. А.</i> Синтез цифровой автоматизированной электро-гидравлической системы курсовой устойчивости автомобиля категории N <sub>3</sub>	75

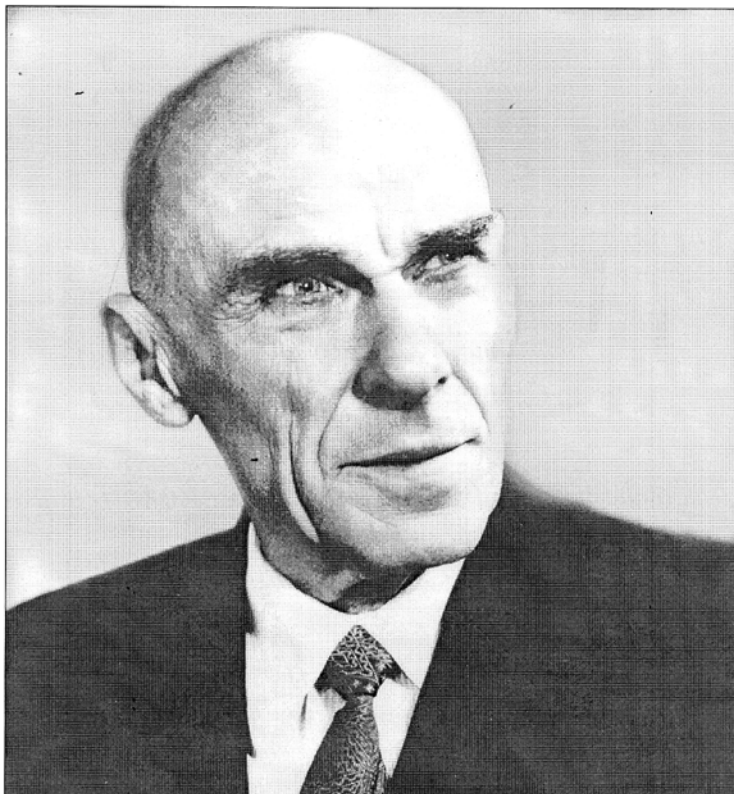
<i>Слюсаренко Ю. А., Шипулин А. А., Гриневич Ю. С., Максимов Р. В.</i> Проблемы и решения локальной вычислительной сети крупного предприятия	84
<i>Стримовский С. В., Слюсаренко Ю. А., Соловьев В. М.</i> Анализ трансмиссий современных легкобронированных колесных военных машин и их влияния на параметры подвижности	97
<i>Токарь С. Е., Дудко В. В., Афонский П. В, Мормило Я. М., Каторгин А. Н.</i> Экспериментальное определение момента сопротивления вращению в поворотной опоре лопасти ВЭУ	108
<i>Токарь С. Е., Каторгин А. Н., Дудко В. В., Сергиенко А. А., Павлов А. Е.</i> Анализ демпфирующих свойств различных материалов под установку миномета калибра 120 мм на шасси бронетранспортера	113
<i>Явников В. А., Клименко И. В., Липовец В. В., Гращенков Г. П.</i> Повышение активной безопасности бронетранспортера «ДОЗОР-Б» за счет оптимизации привода рабочей тормозной системы изделия	118
<i>Климов В. Ф., Магерамов Л. К.-А., Михайлов В. В., Шипулин А. А.</i> К вопросу выбора эжектора системы очистки воздуха танков с двухтактными двигателями	125
<i>Веретенников А. И., Ткачук Н. А., Грабовский А. В., Климов В. Ф.</i> Стратегия обоснования проектных решений на основе исследования физико-механических процессов и состояний бронекорпусов легкобронированных машин	130
<i>Ткачук Н. А., Веретенников А. И., Бруль С. Т., Грабовский А. В., Литвиненко А. В.</i> Ударные резонансы в бронекорпусах военных гусеничных и колесных машин при осуществлении стрельбы	137
<i>Литвиненко А. В., Вакуленко В. В., Ткачук Н. А., Бруль С. Т., Магерамов Л.К.-А.</i> Оценка чувствительности прочностных, жесткостных и динамических характеристик бронекорпусов на варьирование проектно-технологических параметров	145
<i>Бусяк Ю. М., Ткачук Н. Н., Васильев А. Ю., Литвиненко А. В., Мазур И. В., Даньшин Ю. А., Шаталов О. Е.</i> Общие подходы к оценке и обеспечению защищенности бронекорпусов легких по массе машин	154

### Основные принципы «морозовской» школы проектирования

История развития и производства техники знает немало примеров, когда имя отдельного человека становится названием для фирм или товаров. Обычно это происходит тогда, когда результаты деятельности такого человека получают всеобщее признание. История нашей страны у многих наших соотечественников сформировала понятия – синонимы как «танк» и «Т-34».

Вот уже 35 лет Государственное предприятие Харьковское конструкторское бюро по машиностроению носит имя выдающегося конструктора отечественных танков Александра Александровича Морозова.

За последние два десятилетия активная совместная деятельность КБ, государственной компании «Укрспецэкспорт» и его дочерних компаний по продвижению украинской бронетехники на международ-



#### **МОРОЗОВ**

**Александр Александрович**

1904–1979

Дважды Герой Социалистического Труда,  
Лауреат Ленинской премии,  
Трижды лауреат Государственной премии СССР,  
Главный конструктор танков

Начав с 15 лет работу чертежником в 1919 году в технической конторе Харьковского паровозостроительного завода (ХПЗ), молодой Морозов прошел начальную «инженерную школу» от переписчика технических документов до младшего чертежника. В это время активно велись работы по проектированию локомотивов, тракторов, судовых дизельных двигателей. После службы в армии Морозов с 1928 года участвовал в работах по проектированию первых танков Т-12 и Т-24.

Результаты разработки этих танков и производство ограниченной партии показали, что наличие на заводе квалифицированных инженерных кадров паровозостроителей, двигателистов и тракторостроителей, без опыта создания бронированных машин, не позволяет в короткие сроки разработать и освоить производство таких изделий. В силу этого обстоятельством правительством страны в то время было принято решение освоить производство зарубежных образцов танков. ХПЗ было поручено заняться крупносерийным изготовлением легких колесно-гусеничных танков БТ-2, а затем и БТ-5.

ных рынках фактически привели к формированию, пусть специально, бренда Морозов (Morozov). Из опыта общения с различными потенциальными заказчиками можно сделать вывод что «Morozov» для них в первую очередь это продолжение лучших традиций советского танкостроения, современная эффективная бронетехника, имеющая высокие боевые и эксплуатационные характеристики и с другой стороны – это инженерная школа проектирования новой техники, основывающаяся на богатом практическом опыте и многолетних традициях.

В этом году, отмечая 110-летний юбилей А.А. Морозова, имеет смысл провести анализ инженерной деятельности этого человека, более 30 лет возглавлявшего танковое конструкторское бюро, и проследить как после его ухода стиль и методы работы этого человека эволюционировали вместе с общим уровнем развития техники, производства и изменением экономических условий. На примере судьбы А.А. Морозова ярко прослеживается история отрасли, прошедшей этапы изобретательства, накопления производственного и эксплуатационного опыта, массового производства и применения бронетехники, создания научной школы проектирования.

Работая в это время в трансмиссионной группе, А.А. Морозов получил опыт решения технических вопросов в условиях серийного производства, наиболее технологически сложных на тот момент узлов танка. Это в дальнейшем позволило ему выполнить задачу усиления конструкции и повышения надежности коробки перемены передач легкого танка БТ-7, притом его предложение было выбрано по результатам конкурса среди работ других конструкторов. В отличие от своих соперников им было предложено усиление КПП за счет уменьшения количества передач с усилением шестерен при сохранении габаритов картера. Такое инженерное решение позволило производить новую КПП на имеющемся станочном оборудовании, не вносить изменений в конструкцию танка, доработать уже изготовленные танки в местах эксплуатации. Этот опыт позволил сформировать принцип проектирования – **новая конструкция должна иметь конструктивную и технологическую преемственность**.

Особой вехой в судьбе отрасли и лично Морозова является разработка танка Т-34 под руководством М.И. Кошкина. Этот танк был создан в первую очередь благодаря гражданской смелости главного конструктора который, не забывая о главном назначении разрабатываемого изделия, вопреки мнению генерального заказчика, отказался от идеи колесно-гусеничного танка и появившиеся резервы конструкции перераспределил в обеспечение повышения броневой защиты и усилению вооружения с сохранением общих характеристик подвижности. Огромные моральные нагрузки и напряженный труд подорвали здоровье М.И. Кошкина, а пришедший ему на смену молодой 36-летний главный конструктор Морозов усвоил очередной принцип конструкторской работы – **новое изделие не может быть простым масштабированием старого и не может быть создано без определенной «инженерной смелости»**.

Начало Великой Отечественной войны, эвакуация заводов на восток, освоение производства танка Т-34 на пяти заводах потребовали концентрации усилий конструкторов-танкистов на решении вопросов унификации конструкции танка по предложениям инженеров различных заводов-изготовителей, упрощению конструкции, повышению надежности и боевых характеристик танка. За три года войны 26 тонная машина с 45 мм броней и 76 мм пушкой приобрела 90 мм броню, 85 мм пушку, в два раза больший межремонтный ресурс и стала в 1,5 раза дешевле.

Это стало возможно благодаря **заложеным при начальном проектировании резервам конструкции и использованию опыта конструкторских групп разных предприятий**.

В 50-е годы прошлого столетия под руководством А.А. Морозова были созданы танки серии Т-54. Базовая конструкция танка принципиально не менялась в течение 30 последующих лет, а повышение боевых и технических характеристик на различных модификациях **достигалось внедрением новых достижений различных областей техники**, как то стабилизаторов вооружения, приборов ночного видения, автоматической системы пожаротушения, коллективной защиты от оружия массового поражения и др.

Созданный в конце этого периода опытный танк «объект 430» с максимально возможным использованием традиционных на тот момент конструкций и технологий проектирования и производства танков был отвергнут главным конструктором, поскольку при выполнении тактико-технического задания не обеспечивал существенного отрыва по боевым и техническим характеристикам от существовавших серийных отечественных танков. Этот не совсем удачный опыт показал, что **новое поколение современных боевых машин может быть создано только в сочетании использования последних прикладных научных достижений, новых конструкций, новых материалов, узлов и систем, работающих на новых технических принципах**.

Таким образом, накопленный опыт харьковских танкостроителей позволил коллективу, возглавляемому А.А. Морозовым, к концу 70-х годов создать танк Т-64, в котором, редчайший случай в истории техники, повышение общих боевых и технических характеристик в два раза достигалось при общем уменьшении веса машины в сравнении отечественными и зарубежными аналогами. Данный танк определил направление развития отечественного и во многом мирового танкостроения до настоящего времени.

Танк Т-64 и его модификации стал основой для создания советских танков Т-72 и Т-80. Освоенное производство в конце 80-х годов в Харькове танка Т-80УД стало основой для разработки уже украинских танков Т-84 и БМ «Оплот». Узлы и системы танка Т-84 позволили продлить жизненный цикл путем модернизации танка Т-64 получившем индекс БМ «Булат». В условиях политических и экономических перемен, проходивших в нашей стране данный факт, безусловно, можно отнести к технологическим и промышленным достижениям Украины.

Творческое использование в работе Харьковского конструкторского бюро по машиностроению на протяжении последних десятилетий вышеперечисленных принципов «морозовской» инженерной школы во многом определили и определяют известность бренда «Morozov» и позволяют нашей стране оставаться среди стран производящих современную конкурентоспособную бронетехнику.

Генеральный конструктор –  
начальник ГП «ХКБМ»,  
Лауреат Государственной  
премии Украины, к.т.н.

А.И. Веретенников



УДК 621.397.6

Анипко О.Б., Приймак А.Н., Сиренко С.Н., Илларионов А.Н., Гутниченко Е.А.

**ЭКРАНИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДИСПЕРГИРОВАННОЙ ЖИДКОСТЬЮ**

Способность тел в различной степени поглощать падающее излучение делает их контрастными, что положено в основу инфракрасных приборов наблюдения. Эта контрастность становится еще большей, если имеются источники теплоты. Применительно к объектам военной техники такие эффекты снижают их скрытность в инфракрасном (ИК) диапазоне длин волн, а, следовательно, позволяют обнаруживать их.

Защищенность является комплексным свойством объектов бронетанковой техники (БТТ), которое в первую очередь предполагает обеспечение скрытности от обнаружения [1]. В этой связи практический интерес представляет поиск повышения скрытности от обнаружения в ИК диапазоне. В качестве одного из способов обеспечения скрытности в ИК диапазоне является экранирование волн этого спектра, которое может быть осуществлено в том числе созданием на пути этих волн мелкодисперсной среды, которую создают распыливанием этой жидкости.

Физический эффект такого рода экранирования заключается в том, что тепловой поток излучения встречаясь с каплями многократно переотражается, при этом капли поглощают часть энергии потока и, таким образом, пройдя дисперсный слой, поток излучения обладает уже меньшей энергией. Это, в свою очередь, приводит к меньшей возможности обнаружить источник и идентифицировать его.

С целью получения количественных характеристик описанного эффекта было проведено экспериментальное исследование по экранированию теплового источника диспергированной жидкостью.

Программа эксперимента по экранированию теплового источника диспергированной жидкостьюМатериалы

В качестве источника теплового излучения использовался горящий сухой спирт.

Экранирование осуществлялось диспергированным потоком воды, расход которой определялся объемно-весовым методом.

Измерительные приборы и измеряемые величины

Измеряемыми величинами в процессе проведения эксперимента являются температура над пламенем (пластина) горящего сухого спирта с экранированием и без и расход диспергируемой воды для создания экрана.

Измерение температуры осуществлялось пирометром ОНИМБУС 760 с точностью измерения температуры 0,5 °С.

Расход жидкости определяли объемно-весовым методом.

Порядок проведения эксперимента

1. Установить:

- сухой спирт на подставку;
- закрепить пирометр и лазерной меткой выверить точку измерения температуры над пламенем;
- установить форсунку между пирометром и источником теплового излучения (рисунок 1);

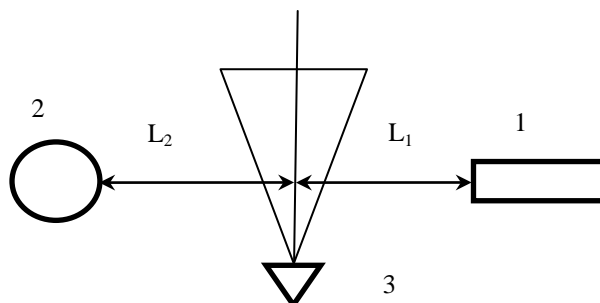


Рисунок 1

1. Пирометр; 2. Источник теплового излучения; 3. Форсунка

$L_1$  и  $L_2$  – расстояния между пирометром и форсункой и форсункой и источником теплового излучения; расстояние от пирометра до источника теплового излучения

$$L = L_1 + L_2 ;$$

2. Инициировать горение топлива источника теплового излучения.
3. Убедиться, что пламя не достигает контрольной точки измеряемой температуры.
4. Измерить температуры до достижения стационарности процесса (температура в контрольной точке не меняется) и занести результат измерения в протокол.
5. Отметить уровень жидкости в емкости и её массу; занести данные в протокол.
6. Одновременно включить секундомер и форсунку.
7. Через 3–5 секунд после включения измерить температуру пирометром и занести в протокол.
8. По истечении жидкости определить время, затраченное на распыление.

#### Обработка результатов

По пунктам 4 и 7 определить эффективность экранирования или разность температур.

По данным п.п. 5, 6 и 8 определить массовый и объемный расходы жидкости при экранировании.

Повторить эксперимент 2, 3 раза. Определить среднее значение эффективности экранирования для фиксированного расхода жидкости.

Провести эксперименты для большего и меньшего расходов жидкости и различной степени диспергирования (Øср капель) воды.

В результате проведенных измерений для 4-х значений  $T_{и}$  в диапазоне температур 210–290 °С были получены значения температуры с экранированием источника. Эти данные в виде графика  $T_{из} = f(T_{и})$  представлены на рис. 2.

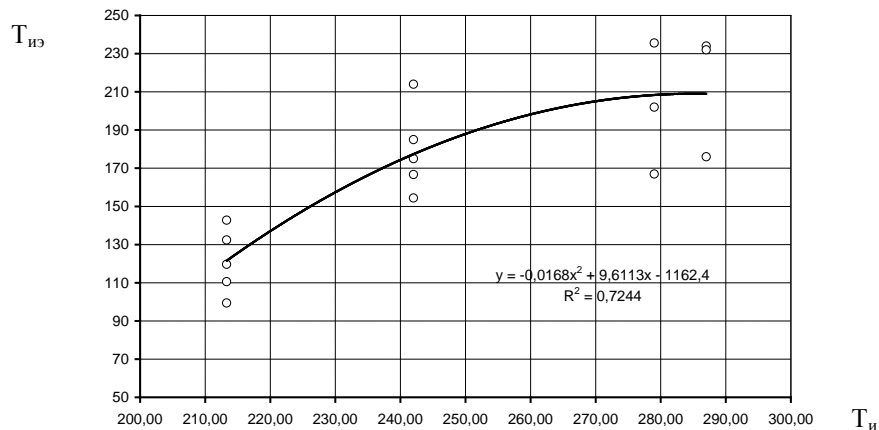


Рисунок 2 – Функция  $T_{из} = f(T_{и})$  при экранировании источника ИК излучения диспергированной жидкостью

Как видно с повышением температуры источника эффект снижения температуры за счет экранирования диспергированной жидкостью практически остается неизменным и лежит в диапазоне от 94 К для  $T_{и} = 212$  °С до 69...77 К для  $T_{и} = 278$  °С и  $T_{и} = 298$  °С соответственно.

Функция  $T_{из} = f(T_{и})$  с использованием метода наименьших квадратов стандартной процедуры среды электронных таблиц EXCEL была получена в виде

$$T_{из} = 9,611T_{из} - 0,0168T_{и}^2 - 1162,4, \quad (1)$$

где  $T_{и}$  и  $T_{из}$  – измерение температуры источника без экранирования и с экранированием соответственно, °С.

Если температурный эффект от экранирования диспергированной жидкостью обозначить через  $\Delta T$

$$\Delta T = T_{и} - T_{из}, \quad (2)$$

то с учетом (1) выражение (2) можно переписать в виде:

$$\Delta T = T_{и} - (9,611T_{из} - 0,0168T_{и}^2 - 1162,4) = T_{и} - 9,611T_{из} + 0,0168T_{и}^2 + 1162,4. \quad (3)$$

Выражение (3) позволяет оценить температурный эффект от диспергирования жидкостью в указанном диапазоне температур при фиксированном расходе диспергированной жидкости  $G_b = 310^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{с}}$ . Следует подчеркнуть, что эта оценка будет соответствовать некоторому среднему значению (функция рис. 2).

С учетом методической ошибки и погрешности интерполяции точность оценки  $\Delta T$  составит  $\pm 16\%$ .

При диспергировании  $T_n$  не меняется, прибор фиксирует некоторую температуру, которая искажается из-за изменения пропускной способности атмосферы и поглощения части теплового потока излучением от источника с температурой  $T_n$ . Для условий эксперимента при  $T_n \sim 200^\circ\text{C}$ , как видно эффективная температура составила  $\sim 90...118^\circ\text{C}$ . С использованием соотношений для максимальной дальности обнаружения:

$$D_{\max}^2 = \frac{\tau_{\text{об}} S_{\text{об}} \epsilon_{\text{ц}} T_{\text{ц}}^4 \cos \alpha \sigma S_{\text{ц}} K}{\pi m \sqrt{q_{\text{пдф}} \Phi_{\text{пор}}^* \chi}} \left[ z \left( \frac{\lambda_2}{\lambda_{\text{М}}} \right) - z \left( \frac{\lambda_1}{\lambda_{\text{М}}} \right) \right], \quad (4)$$

где  $K = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_{\lambda} \tau_a d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{M_{e\lambda}}{(M_{e\lambda})_{\max}} d\lambda}$  – коэффициент использования потока излучения;  $\tau_{\text{об}}$ ,  $S_{\text{об}}$  – коэффициент про-

пускания и площадь,  $\text{м}^2$ , объектива передающей камеры;  $S_{\text{ц}}$ ,  $\epsilon_{\text{ц}}$ ,  $T_{\text{ц}}$  – площадь соответственно;  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$  – постоянный коэффициент;  $m$  – допустимое значение отношения сигнал/шум;  $q_{\text{п}}$  – площадь чувствительной площадки ПИ,  $\text{см}^2$ ;  $\Delta f$  – полоса пропускания частот усилителя фототока, Гц;  $\Phi_{\text{пор}}^*$  – удельный порог чувствительности приемника,  $\text{Вт}/(\text{см} \cdot \text{Гц}^{1/2})$ , приводимый в каталогах и измеренный по черному телу с заданной температурой  $T^*$ ,  $\chi$  – коэффициент использования ПИ;  $M_{e\lambda}^*$  – спектральная плотность энергетической светимости абсолютно черного тела с температурой  $T^*$ ,  $\text{Вт}/(\text{см}^2 \cdot \text{мкм})$ ;  $S_{\lambda}$ ,  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  – спектральная чувствительность, коротковолновая и длинноволновая границы чувствительности ПИ соответственно;  $\frac{M_{e\lambda}}{(M_{e\lambda})_{\max}}$  – относительное значение спектральной плотности энергетической

светимости объекта с температурой  $T_{\text{ц}}$ ;  $\tau_a$  – спектральной коэффициент пропускания атмосферы на горизонтальной трассе длиной  $D_{\max}$ ;  $\lambda_{\text{М}}$  – длина волны, соответствующая максимальному значению спектральной плотности энергетической светимости объекта наблюдения, мкм;  $z$  – функции, определяемые по табл.

Можно заключить, что при фиксированном расходе жидкости и дисперсности струи изменение измеряемой температуры на 41 % приводит к уменьшению максимальной дальности на  $\sim 22\%$ .

Обзор и анализ доступных данных о влиянии погодных условий (табл. 1) и параметрический анализ (4) позволяют выявить обобщенную зависимость максимальной дальности обнаружения от параметров атмосферы. При этом выделены три основных состояния атмосферы: влажный воздух, осадки, туман. Каждое из этих состояний количественно характеризуется соответствующими параметрами – влажность воздуха, интенсивность осадков и водность. Эта зависимость в виде графика представлена на рис. 3.

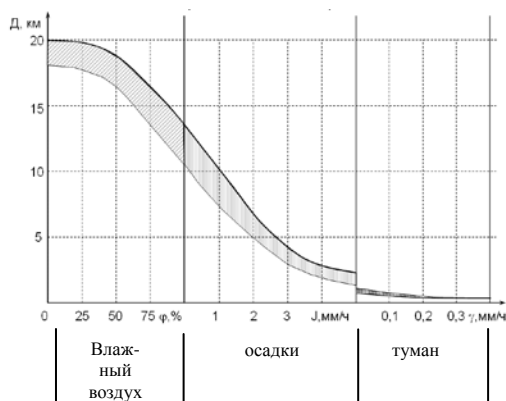


Рисунок 3 – Изменение дальности видения тепловизором в зависимости от прозрачности атмосферы при естественном освещении (где  $\phi$  – относительная влажность,  $j$  – интенсивность осадков,  $\gamma$  – водность тумана)

Как видно из графика состояние атмосферы существенно влияет на дальность обнаружения. Из приведенных данных наименьшая пропускная способность атмосферы наблюдается при тумане. Еще раз подчеркнем, что в рассматриваемом диапазоне температур коэффициент поглощения воды  $\epsilon_t \sim 0,5-0,65$ . Поэтому туман, как гетерогенная система состоящая из газа и капель воды представляет собой наименее проницаемую для ИК излучения среду. Такое свойство тумана может быть использовано для экранирования источников ИК излучения.

Таблица 1 – Неблагоприятные погодные условия

Условия	Осадки, интенсивность	Температура воздуха, °С	Влажность, %	МДВ, км	Ест. осв., лм	Почв.-раст. покров.
1. Лето день, ночь, сумерки	Дождь $J_y = 0,5 - 5 \frac{мм}{ч}$	$+10 \pm 9$	$90 \pm 10$	3 ... 12	$10^{-4} \dots 10^4$	
2. Перех. день, ночь, сумерки						Мокрая трава
3. Туман, день, ночь	Водность тумана $Y_{\psi} = 0,05 \dots 0,25$ $0,1 \dots 0,35 \frac{г}{м^3}$	$+0 \pm 10$ $0 \pm 10$	100 100	0,1 ... 1 0,3 ... 1	$5 \cdot 10^{-2} \dots 10^4$ $10^{-4} \dots 5 \cdot 10^2$	
4. Мокрый снег	С дождем $J_y = 0,2 \dots 5 \frac{мм}{ч}$	$+3 \pm 5$	$90 \pm 10$	1,6 ... 8	$10^{-4} \dots 10^4$	
5. Снегопад	$0,2 \dots 5 \frac{мм}{ч}$	$-10 \pm 5$	$80 \pm 10$	2,5 ... 10	$10^{-4} \dots 10^4$	

Литература

1. Госсорг Инфракрасная термография. Москва. Мир. 1988 г.
2. Gerald C. Holst. Elektro – optical imaging system performance.
3. STANAG No4347
4. Криксунов Л.З., Падалко Г.А. Тепловизоры. Справочник. Москва, 1986 г.

Bibliography (transliterated)

1. Gossorg Infrakrasnaya termografiya. Moskva. Mir. 1988 g.
2. Gerald C. Holst. Elektro-optical imaging system performance.
3. STANAG No4347
4. Kriksusunov L.Z., Padalko G.A. Teplovizoryi. Spravochnik. Moskva, 1986 g.

УДК 621.397.6

Аніпко О.Б., Приймак А.М., Сіренко С.М., Ілларіонов О.М., Гутніченко Є.О.

**ЕКРАНУВАННЯ ДЖЕРЕЛ ІНФРАЧЕРВОНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДИСПЕРГІРОВАНОЮ РІДИНОЮ**

Наведено залежність дальності бачення тепловізорів від вологості повітря.

Anipko O.B., Priimak A.N., Sirenko S. N., Illarionov A.N., Gutnichenko E.A.

**SHIELDING SOURCE OF INFRARED RADIATION SHIELDING DISPERSED LIQUID**

Shows the dependence range of vision of thermal imagers on moisture of air.

Анипко О.Б., Сиренко С.Н.

## ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ И СТРУКТУРА ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ТАКТИЧЕСКОГО ЗВЕНА

Объекты бронетехники являются эргодическими, то есть человекоуправляемыми системами. Эффективность такого управления полностью определяется полнотой потока информации, поступающего к членам экипажа и в первую очередь – командиру. Долгое время основными каналами поступления информации был и остается до настоящего времени визуальный. Технические средства этого канала непрерывно совершенствуются и прошли путь от наблюдательных щелей в бронекорпусе до оптических панорамических приборов, приборов ночного видения и тепловизоров [1,3]. Этапным, с точки зрения повышения командной управляемости, стало повсеместное оснащение бронетехники радиостанциями. Широкое внедрение информационных технологий с одной стороны, и изменение взглядов на формы и методы ведения вооруженной борьбы с другой, привели к формированию новых концепций вооруженных сил в основе которых лежит иерархически построенная информационно управляющая система. В этой связи возникла задача интеграции всех компонентов этой системы, в том числе и бронетехники, в такую систему с единым информационным пространством. Это, в свою очередь, приводит к тому, что объект бронетехники, как человекоуправляемая система еще больше усложняется ввиду того, что между оператором и машиной появляется еще одна система – информационно управляющая, причем пронизывающая все уровни от тактического до стратегического [2]. В этом смысле объект бронетехники представляется как интегрируемый элемент такой системы. Для осуществления интеграции все элементы должны быть увязаны информационно.

Этапной осуществленной разработкой в этом плане является американский танк V1F2 «Abrams» в котором максимально полно внедрены информационные технологии. Подавляющее большинство комплексов и систем этого танка имеют микропроцессорные компоненты, объединение которых в единую систему позволили танку получить много новых качеств. Кроме этого, на зарубежных образцах бронетехники, таких как французский «Leclerc», британский «Challenger 2» также выполнена такая интеграция. Следует особо подчеркнуть, что и на танках отечественной разработки Т-84, БМ «Оплот» установлены отдельные элементы такого рода системы.

В странах НАТО в зависимости от степени автоматизации управленческих процессов принята следующая классификация: Command (командование), Control (управление), Communications (взаимодействие), Computers (компьютеры), Intelligence (интеллект), Surveillance (наблюдение), Reconnaissance (разведка).

Функции, начинающиеся с буквы «С» являются базовыми, а все остальные – дополнительными. Если какая-либо из перечисленных функций автоматизирована в системе в полном объеме, то в аббревиатуре класса этой системы будет присутствовать начальная буква этой функции.

Так, системы управления в которых автоматизированы только две функции, например, Command and Control, будут относиться к классу «СС» или «С2». Если в системе автоматизированы четыре функции (Command, Control, Communications, Computers), то такую систему следует отнести к классу «СССС», или «С4»

При этом следует подчеркнуть, что работы по разработке боевой системы будущего (Future Combat Systems (FCS)) начаты в США в 1996 году и лишь к 2000 году было сформулировано техническое задание на концептуальную разработку. Это тем более важно, поскольку именно концептуальные представления о такой системе позволяют конкретизировать требования к составляющим ее элементам, в том числе и к объектам бронетехники.

Такая боевая информационно управляющая система (БИУС) предназначена для информационного обеспечения принятия решений командиром танка и бронетранспортера в реальном масштабе времени. Назначение БИУС позволяет определить и ее функции, к которым относятся:

- управление вооружением;
- создание информационно – управляющего поля с использованием индикации информации о состоянии машины и тактической обстановки;
- решение задач обработки информации;
- организация взаимодействия для выполнения боевой задачи с помощью мультиплексных каналов обмена.

Перечисленные функции БИУС определяют ее структуру, которая включает следующие модули:

- обзорная система с целеуказанием (система управления огнем (СУО));

- навигационная система;
- бортовая аппаратура командной радиолинии управления;
- аппаратура телекодовой связи между машинами в подразделении и передачи данных в верхнее иерархическое звено.

По типу информации в БИУС отображается:

- техническое состояние машины;
- тактическая обстановка;
- управляющие команды;
- результаты решения расчетных задач, моделей и алгоритмов.

По форме представления это визуализированная информация на планшете с выборочным голосовым дублированием.

На основе перечисленных данных формируется перечень показателей, баз и банков данных, обеспечивающих работу БИУС. Поэтому очевидно, что в соответствии с разработанным перечнем объекты бронетехники необходимо оборудовать комплексом датчиков и сенсорных устройств:

- оптических, тепловизионных для автоматического обнаружения и сопровождения наземных целей;
- внешних условий, а именно – химического и радиационного зондов, контроля климатических условий, предупреждения о лазерной подсветке, ракетной атаке;
- внутреннего состояния – технического состояния машины и вооружения, физическое состояние экипажа.

Функционирование такой системы предполагает наличие причинной и обратной связи, причем как по вертикали, так и по горизонтали, что может быть осуществлено на основе интерфейса со специальным программным обеспечением и структурой, приведенной выше в данной статье. Укрупненная логико-структурная схема разработки такой системы представлена на рис. 1

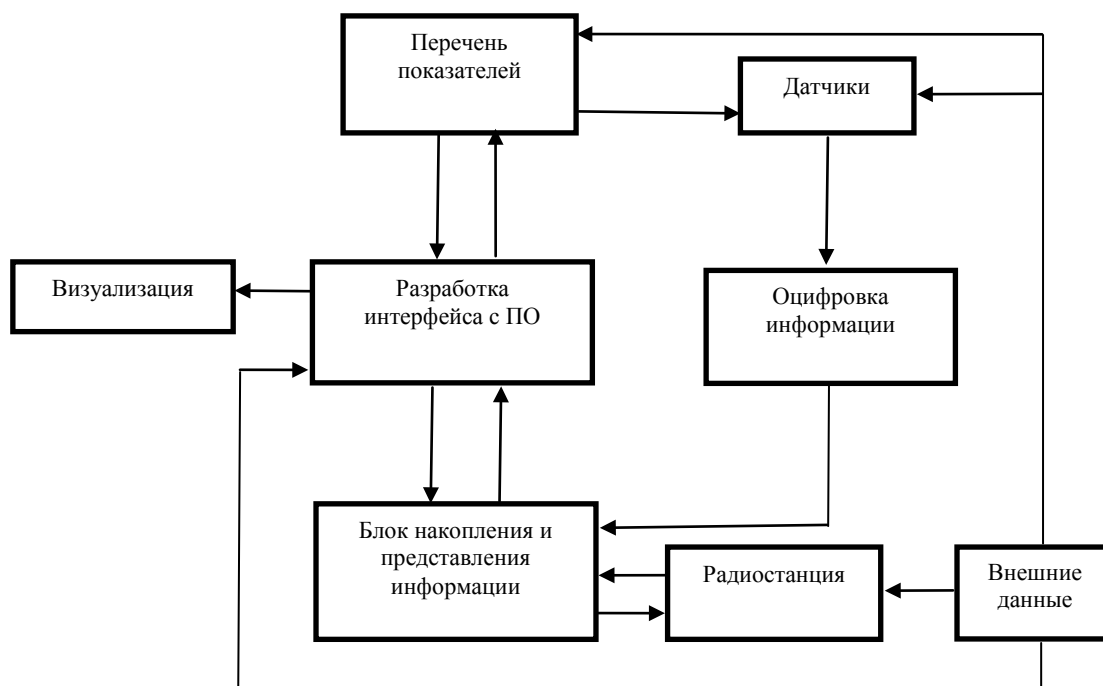


Рисунок 1 – Логико-структурная схема разработки БИУС

Следует особо подчеркнуть важность оценки необходимой точности датчиков, поскольку это, с одной стороны, определяет достоверность информации, а с другой стороны, стоимость системы. В этой связи весьма привлекательным представляется применение простых индикаторов, где это возможно.

В целом создание точной системы предполагает не только рациональное использование вооружения, но и изменение подхода к защищенности. Кроме этого, не последняя роль в такой системе должна отводиться автоматическим и роботизированным комплексам.

В заключение подчеркнем, что отечественные образцы бронетехники на современном этапе содержат лишь отдельные компоненты, но еще не интегрированную в боевую информационно-управляющую систему. По-видимому, это связано с отсутствием концептуального видения такой системы.

Нет в отечественных машинах и бортового диагностического информационного комплекса, позволяющего в полной мере использовать технические возможности, заложенные при различных условиях ее функционирования.

Особо актуальной на современном этапе представляется проблема разработки боевой информационно-управляющей системы подразделений тактического звена, как базового элемента из набора которых может быть составлена система более высокого уровня. Без решения этих задач существует постоянно повышающийся риск потери заказчиков и покупателей к отечественной бронетехники, поскольку она будет олицетворять предыдущий уровень бронетанкового вооружения.

#### Литература

1. Антонов А.С., Мигидович Е.И., Артамонов Б.А. под редакцией Коробкова Б.М. Танк. – Москва, Военное издательство, 1947, – 387 с.
2. Анипко О.Б., Борисюк М.Д., Бусяк Ю.М. Концептуальное проектирование бронетанковой техники. Харьков, НТУ «ХПИ», 2008, – 196 с.
3. Глущенко А.Р., Гордиенко В.И., Бурак А.В., Денисенко А.Ю. Танковые ночные системы и приборы наблюдения. Черкассы, Чабоненко Ю.А., 2007, – 442 с.

#### Bibliography (transliterated)

1. Antonov A.S., Migidovich E.I., Artamonov B.A. pod redaktsiey Korobkova B.M. Tank. – Moskva, Voennoe izdatelstvo, 1947, – 387 p.
2. Anipko O.B., Borisyuk M.D., Busyak Yu.M. Kontseptualnoe proektirovanie bronetankovoy tehniky. Narkov, NTU «HPI», 2008, – 196 p.
3. Gluschenko A.R., Gordienko V.I., Burak A.V., Denisenko A.Yu. Tankovyye nochnyye sistemy i pribory nablyudeniya. Cherkassy, Chabonenko Yu.A., 2007, – 442 p.

УДК 629.1.032

Анипко О.Б., Сіренко С.М.

#### **ОСНОВНІ ФУНКЦІЇ І СТРУКТУРА ІНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛЯЮЧОЇ СИСТЕМИ ТАКТИЧНОЇ ЛАНКИ**

На основі аналізу існуючої в НАТО автоматизованої системи управління розглянуті основні напрямки побудови інформаційно-управляючої системи тактичної ланки.

Anipko O. B., Sirenko S. N.

#### **MAIN FUNCTIONS AND STRUCTURE OF THE INFORMATION AND CONTROL SYSTEM OF TACTICAL ELEMENT**

Basic directions of building of information and control system of the tactical element have been studied on the basis of the current in NATO automatic control system analysis.



Бирюков И.Ю.

## РАСЧЕТ СРЕДНИХ ОШИБОК, ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ РАЗВЕДКИ НАЗЕМНЫХ ЦЕЛЕЙ

Современный этап развития объектов бронетехники характеризуется несоответствием дальности обнаружения наземных типовых целей с помощью устанавливаемых оптических и инфракрасных приборов и дальности стрельбы соответствующего вооружения [1–3].

Увеличение дальности обнаружения цели вскрывает противоречие между последней и дальностью эффективной стрельбы. Это приводит к необходимости усовершенствования вооружения, а также поиска и разведки целей [4–8].

Как правило, наземная разведка [9] ведется невооруженным глазом с использованием оптических и инфракрасных средств, фотографированием, радиолокационными и звукометрическими станциями на ближних расстояниях. Воздушная разведка ведется с вертолетов, самолетов, БПЛА [10], обычно с малых высот, только визуальным наблюдением, фотографированием, с помощью радиолокационных станций и инфракрасных средств [2].

Несмотря на маскировку целей [2,10], главным фактором их обнаружения остается статическое или динамическое состояние. Подвижные и малоподвижные цели обнаружить гораздо легче, чем неподвижные. Более того, нужно отметить тот факт, что пока цель не начнет движение обнаружить ее проблематично, несмотря на такие демаскирующие ее свойства как акустические возмущения и тепловое излучение [2–3, 9–10].

В процессе функционирования танкового вооружения основным является разведка и обнаружение целей. Приведенная в статье [11] циклограмма подготовки стрельбы из танка не учитывала определенные факторы. Поэтому в работе [12] была предложена аналитическая марковская модель функционирования вооружения танка и приведена пооперационная последовательность при стрельбе и модель, которая позволяет получать численные результаты. Непосредственно в работах [13,14] смоделировано функционирование комплекса бронетанкового вооружения с применением аппарата дискретных цепей Маркова, совместно с положениями теории массового обслуживания.

Следует подчеркнуть, что приведенная модель может быть отнесена к начальному уровню с последующим ее развитием и насыщением информации о подсистемах. Кроме того, могут быть использованы и дополнительные, так называемые вложенные модели, которые более детально рассматривают функционирование отдельных подсистем. В данной работе это будет показано при расчете ошибок в координатах целей, определяемых перспективным комплексом разведки БТТ дополнительной оптико-акустической подсистемой выявления наземных неподвижных целей.

В статье [15] представлен способ расчета точности определения координат артиллерийских орудий и минометов, разрывов соответствующих боеприпасов, с использованием автоматизированного звукометрического комплекса разведки (АЗКР) П-2, который состоит из трех звуковых баз, расположенных по фронту разведки. Авторы решают задачу № 1 расчета случайных ошибок при определении координат звучащей цели. Во время работы АЗКР определялись пеленги В1, В2 из центров баз П1 и П2 на источник звука Р (рис. 1).

Однако эти расчеты сопровождаются определенными погрешностями:

- в измерении дирекционных углов на цель;
- топографической привязки центров директрис звуковых баз;
- определения длины акустических баз;
- определения разности времени прихода звука к постам соответствующей акустической базы;
- в учете изменения метеорологических условий (ветра, температуры воздуха) со временем.

В результате решения этой задачи определены срединные ошибки координат цели в полосе разведки АЗКР (по дальности и по направлению), которые по их мнению, позволяют в дальнейшем определить способ поражения разведанной цели [15].

Однако необходимо заметить, что артиллерийские боеприпасы и мины имеют инерционное движение по траектории, точность попадания которых зависят от рассеивания самих боеприпасов.

С другой стороны необходимо учитывать требования к прибору, потому что чем больше дальность до цели, тем будет больше абсолютная ошибка определения дальности. Для акустической компоненты разведки наземных подвижных цели необходимо не только обнаружить ее координаты с какой-то точностью, а принципиально обнаружить цель (шумящий объект) и идентифицировать ее до визуального обнаружения.

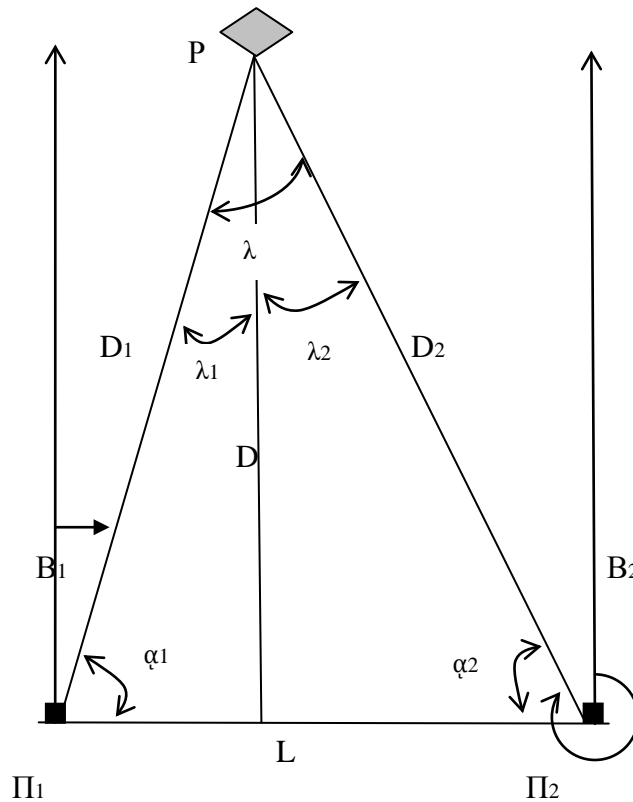


Рисунок 1 – Схема определения углов засечки

Тем не менее задача точности существует при определении дальности до шумящего объекта [16], что представляет задачу № 2, которая в свою очередь состоит из двух составляющих:

1. Решение первой тривиальной задачи – определение координат цели.
2. Решение второй задачи – обнаружение шумящего объекта, как цели, с использованием типовых портретов [3], с последующими выводами: ее подвижности, не подвижности, удаляющаяся или приближающаяся, с последующим обнаружением ее оптическими приборами наблюдения.

Эта задача может быть решена и с помощью одного решения, с одновременным определением пеленга на цель. Эту задачу необходимо решить дважды для определения скорости ее движения (рис. 2).

Одинокий шумящий объект характеризуется интенсивностью излучаемого звука или приведенным акустическим давлением  $P_0$ , создаваемым им на расстоянии 1 м, на частоте 1 кГц в полосе 1 Гц. Частота 1 кГц и полоса 1 Гц берутся в случае, если задача будет решаться для множества обнаружителей (приемников) с различными параметрами. Если же один и тот же приемник звука один с достаточно узкой полосой, от  $f_B$  верхней до  $f_H$  нижней частот, то необходимо знать приведенное значение акустического давления (на расстоянии 1 м) в полосе обнаружителя  $\Delta f = f_B - f_H$ . Центральная частота полосы пропускания определяется как среднее геометрическое верхней и нижней частот, т.е.  $f_0 = (f_B \cdot f_H)^{1/2}$ . Затухание звука во всей полосе рассматриваемых частот происходит из-за звукопоглощения атмосферой, определяется степенной зависимостью  $10^{-0,1 \cdot \alpha \cdot D}$ , где  $\alpha$  – коэффициент затухания звука на частоте  $f_0$ , а  $D$  – расстояние от источника шума до рассматриваемой точки в 1 км [17–20].

Кроме того, приемник шума характеризуется определенным уровнем помех, которые постоянно присутствуют в полосе принимаемых шумов –  $P_{П}$ , и определенной направленностью, определяемой коэффициентом направленного действия –  $j$ .

Условие решения составления – это выделение полезного сигнала (шума от определенного источника) на фоне помех, присутствующих в полосе обнаружения в полосе обнаружителя, т.е.

$$I_C \geq \delta^2 I_{П} \quad \text{или} \quad P_C^2 \geq \delta^2 P_{П}^2, \quad (1)$$

где  $I_C$ ,  $I_{П}$  – интенсивность полезного сигнала и помехи, определяемая соответствующими квадратами давления  $P_C$ ,  $P_{П}$ ;  $\delta$  – коэффициент распознавания, минимальное отношение сигнала и помех, которое

может регистрироваться приемным устройством при заданных значениях вероятностей правильного обнаружения и ложной тревоги.

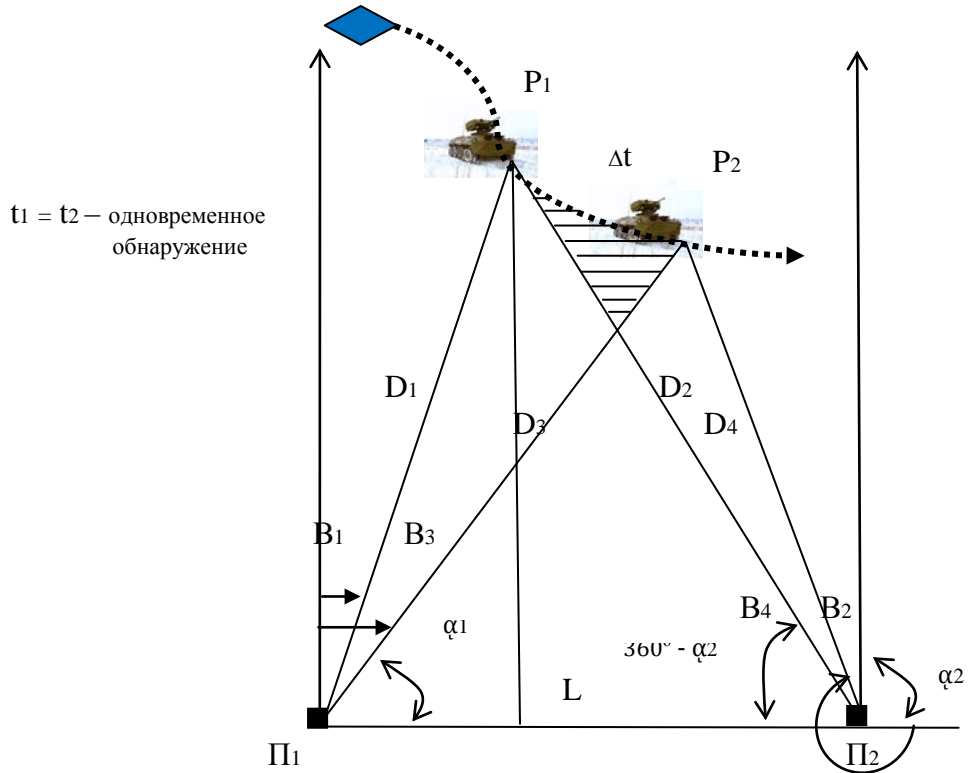


Рисунок 2 – Схема к задаче № 2

Таким образом, условием решения задачи является выделение полезного сигнала на фоне помех приемного устройства от акустической сферической волны, затухающей по стеной зависимости, излученной одиночной точечным шумящим источником, характеризующегося значением излучаемого акустического давления на расстоянии 1 м от него, приведенного к полосе приемного устройства [16].

*Аналитическое решение задачи*

Решение задачи определяется выражением (1). Соответственно квадрат давления полезного сигнала  $P_C^2$  будет полностью определяться значением излучаемого сигнала на расстоянии одного метра, приведенного к полосе приемного устройства –  $P_0^2$ . По мере удаления от источника шума величина этого давления будет уменьшаться вследствие расширения фронта сферической волны на величину, обратно пропорциональную квадрату расстояния между шумящим объектом и устройством для его обнаружения, то есть  $1/4\pi D^2$ . Кроме этого, квадрат давления распространяющейся сферической волны будет уменьшаться вследствие поглощения атмосферой звука по степенной зависимости, или, говоря другими словами, интенсивность сферической волны будет постоянно уменьшаться на величину  $10^{-0,1 \cdot \alpha \cdot D_{км}}$ .

В то же время, за счет направленного действия приемного устройства, интенсивность принимаемого полезного сигнала будет увеличиваться на величину, равную значению коэффициента направленного действия обнаружителя шума.

С учетом вышеперечисленного условие обнаружения полезного сигнала примет вид

$$\frac{P_0^2 \cdot j \cdot 10^{-0,1 \cdot \alpha \cdot D_{км}}}{4\pi D^2} \geq \delta^2 P_{П}^2 \tag{2}$$

Произведем последовательно логарифмирование и умножение обеих частей неравенства (2) на десять, после чего произведем перенос ряда членов из левой части неравенства в правую. В итоге получим выражение (3)

$$-[20\lg D + \alpha \cdot D_{\text{км}} + 10\lg(4\pi)] \geq 20\lg \delta + 20\lg P_{\Pi} - 20\lg P_0 - 10\lg j. \quad (3)$$

С учетом того, что  $10\lg(4\pi) = 10,992 \approx 11$  дБ может быть записано в виде

$$-[20\lg D + \alpha \cdot D_{\text{км}} + 11\text{дБ}] \geq 20\lg \delta + 20\lg P_{\Pi} - 20\lg P_0 - 10\lg j. \quad (4)$$

Левая часть (4) содержит значение дистанции  $D$  между источником шума и приемным устройством, измеряемом в м, это же значение в м –  $D_{\text{км}}$ , величину затухания звука в атмосфере  $\alpha$ , измеряемом в  $\text{дБ} \cdot \text{км}^{-1}$ . Безусловно, значение  $\alpha$  зависит от  $f_0$ , и чем выше частота, тем больше затухание. Это выражение еще называют закономерностью следа акустического поля в однородной безграничной атмосфере, когда на распространение сферической волны кроме поглощения звука в атмосфере ничто не влияет (ни подстилающая поверхность, ни рельеф местности, ни стратификация атмосферы и др). Строго говоря, децибел – относительная единица измерения, по этой причине должна быть запись  $20\lg \frac{D}{D_0}$ , но поскольку

$D_0 = 1$  м, оно опускается для упрощения записи. Аналогичным образом в правой части коэффициенты распознавания  $\delta$  и направленного действия  $j$  являются относительными единицами, а значения приведенного давления  $P_0$  и давления помех  $P_{\Pi}$  измеряются в выражении (4) относительно  $P_1$  – порогового уровня, равного 1 Па. Это значит, что в децибельной записи  $20\lg \frac{P_0}{P_1}$  и  $20\lg \frac{P_{\Pi}}{P_1}$  запись порогового уровня

можно опустить.

В отличие от левой части, правая часть выражения (4) содержит конкретные технические параметры шумящего объекта и приемного устройства, обеспечивающего его обнаружение. По этой причине правую часть можно назвать энергетическим потенциалом устройства обнаружения по конкретному шумящему объекту –  $\Pi_{\Sigma}$ , т.е.

$$-(20\lg D + \alpha \cdot D_{\text{км}} + 11\text{дБ}) \geq \Pi_{\Sigma}. \quad (5)$$

Получаем, что текущее значение дистанции в метрах, при котором достигается равенство закономерности спада акустического поля в однородной безграничной атмосфере, равно энергетическому потенциалу приемного устройства по конкретному шумящему объекту в децибелах и является искомым значением энергетической дальности обнаружения этого шумящего объекта.

#### *Методика выполнения расчетов и ее геометрическая интерпретация*

Методика выполнения расчетов по определению энергетической дальности шумящих объектов состоит из трех групп действий [16]. Первое – вычисление энергетического потенциала; второе – расчет закономерности спада акустического поля в однородной безграничной среде; третье – определение значения дистанции, при котором достигается равенство энергетического потенциала и закономерности спада акустического поля.

Вычисление энергетического потенциала осуществляется главным образом по паспортным данным приемного устройства, осуществляющего прием акустических сигналов. Коэффициент распознавания определяется схемами обработки и индикации принимаемых сигналов и равен 1,5...4 (3,4...12 дБ). Уровень помех в полосе приема также является паспортной величиной, которая экспериментально определяется во время изготовления приемного устройства, а также после выполнения текущих и средних расчетов. В зависимости от частотного диапазона и класса приемных устройств значения уровня помех могут изменяться от -20 до -80 дБ. Коэффициент направленного действия микрофонов в зависимости от используемого частотного диапазона и дополнительной рупорной системы может быть 10...100, что составляет 10...20 дБ. Единственный параметр, которым характеризуется шумящий объект, – это приведенное к полосе приемного устройства давление на расстоянии 1 м. Этот параметр изменяется в очень широких пределах. Например, при относительном уровне 1 Па шум работающей автомашины (типа BMW) равен 40 дБ, а двигатель дизель-компрессора составляет +70 дБ.

Исходя из приведенных примеров, энергетический потенциал акустического приемного устройства по одиночному шумящему объекту может изменяться в пределах -16,5...-158 дБ.

Расчет закономерности спада акустического поля производится в соответствии с левой частью выражений (4) или (5). Пусть для нашего приемного устройства и его средней частоты (среднегеометрической верхней и нижней частот полосы пропускания)  $\delta$  – коэффициент затухания  $\alpha$  – составляет  $12,5 \text{ дБ} \cdot \text{км}^{-1}$ . То-

гда значение закономерности спада акустического поля и ее составляющих будут такими, как показано в таблице 1.

Таблица 1 – Составляющие закономерности спада акустического поля в однородной безграничной атмосфере

$D_M$	$20lgD$	$\alpha \cdot D_M$	$\Sigma$	$D_M$	$20lgD$	$\alpha \cdot D_M$	$\Sigma$
1000	60,0	12,5	-83,5	6000	75,56	75,0	-161,56
2000	66,0	25,0	-102,0	7000	76,80	87,5	-175,4
3000	69,54	37,5	-118,04	8000	78,06	100,0	-189,06
4000	72,04	50,0	-133,04	9000	79,08	112,5	-202,58
5000	73,98	62,5	-147,8	10000	80,0	125,0	-216,0

Сопоставляя значения энергетического потенциала, равного -16,5 дБ и -158 дБ, со значениями закономерности акустического поля в однородной безграничной атмосфере и применяя правила линейной интерполяции, получим, что энергетическая дальность обнаружения работающей одиночной машины типа BMW составляет около 150 м, а работающего дизель-компрессора – 5,8 км.

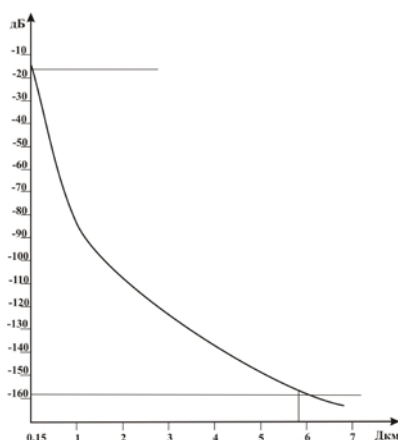


Рисунок 3 – Графическая интерпретация решения неравенства энергетической дальности действия

Графическая интерпретация решения неравенства энергетической дальности действия представлена на рисунке 3, где спадающая ломаная – закономерность спада акустического поля, построенная по данным таблицы, а горизонтальные линии соответствуют уровню энергетического потенциала, равного – 16,5 и -158 дБ.

Таким образом, методика выполнения расчетов по определению энергетической дальности действия включает три группы действий, а именно: первая – вычисление энергетического потенциала приемного устройства по конкретному типу шумящего объекта; вторая – расчет закономерности спада акустического поля в однородной безграничной атмосфере; третья – определение значения дистанции, при котором достигается равенство энергетического потенциала и закономерности акустического спада.

### Выводы

1. Условием решения задачи является выделение полезного сигнала на фоне помех приемного устройства от акустической сферической волны, затухающей по стеной зависимости, излученной одиночной точечным шумящим источником, характеризующегося значением излучаемого акустического давления на расстоянии 1 м от него, приведенного к полосе приемного устройства.

2. Текущее значение дистанции в метрах, при котором достигается равенство закономерности спада акустического поля в однородной безграничной атмосфере, равно энергетическому потенциалу приемного устройства по конкретному шумящему объекту в децибелах и является искомым значением энергетической дальности обнаружения этого шумящего объекта.

3. Методика выполнения расчетов по определению энергетической дальности действия включает три группы действий, а именно: первая – вычисление энергетического потенциала приемного устройства по конкретному типу шумящего объекта; второе – расчет закономерности спада акустического поля в однородной безграничной атмосфере; третье – определение значения дистанции, при котором достигается равенство энергетического потенциала и закономерности акустического спада.

4. По акустической части в публикациях приведены научные теоретические и экспериментальные ре-

зультаты исследований, которые определяют облик дополнительной акустической системы, с помощью которой можно решить задачу идентификации цели на основе использования звуковых портретов [3, 9–10, 16, 21].

Литература

1. Анипко О.Б., Борисюк М.Д., Бусяк Ю.М. Концептуальное проектирование объектов бронетанковой техники. Монография. Х.: НТУ “ХПИ”, 2008 – 196 с.
2. Анипко О.Б., Бірюков І.Ю., Бусяк Ю.М. Комплексная проблема поиска и обнаружения наземных целей для поражения вооружением, установленным на объектах бронетехники. // Сбірник наукових праць. Акад. ВВ МВС України. – Вып. № 2(18). – Х., 2011. – С. 43–47.
3. Анипко О.Б., Бірюков І.Ю., Бусяк Ю.М. Звуковые портреты объектов бронетехники для обнаружения и распознавания целей. // Интегрированные технологии и энергосбережение. – Вып. № 3. – Х., 2011. – С. 31–36.
4. Горбунов В.А. Эффективность обнаружения целей. М. Воен. Изд., 1979 – 160 с.
5. Абчук В.А., Суздаль В.Г. Поиск объектов. М.: Советское радио, 1977.
6. Хеллман О. Введение в теорию оптимального потока. М.: Наука, 1985.
7. Гасанов Э.Э. Функционально-сетевые базы данных и сверхбыстрые алгоритмы поиска. М.: Издательский центр РГГУ, 1997 – 88 с.
8. Строцев А.А. Оптимальный поиск неподвижной цели многопозиционной информационной системой. М.: Радиоэлектроника. – Вып. № 4. – 2002.
9. Бірюков І.Ю. Основы обработки цифровых изображений для распознавания наземных целей дополнительной оптико-цифровой системой разведки объектов БТТ. // Системи озброєння і військова техніка. – Вып. № 2. – Х., 2013 – С. 95–99.
10. Бірюков І.Ю. Маскировочная окраска наземных объектов и методы их распознавания. // Інтегровані технології та енергозбереження. – Х.: НТУ „ХПИ” 2013. – № 2. – С. 101–109.
11. Васильковский М.И. Математическая модель функционирования образца бронетанкового вооружения, оснащенного информационно-управляющей системой. // Артиллерийское и Стрелковое Вооружение. – К.: Вып. № 1. – 2011. – С. 6–11.
12. Анипко О.Б., Бусяк Ю.М., Бірюков І.Ю. Аналитическая марковская модель функционирования комплекса вооружения танка // Системи озброєння і військова техніка. – Вып. № 3. – Х., 2012 – С. 2–5.
13. Анипко О.Б., Бусяк Ю.М., Бірюков І.Ю. Модель функционирования комплекса бронетанкового вооружения на основе дискретных цепей Маркова. // Сбірник наукових праць. – Х.: Акад. ВВ. МВС України, 2013. – Вып. № 1(21). – С. 29–35.
14. Анипко О.Б., Бусяк Ю.М., Бірюков І.Ю. Модель разведки противника для повышения технических характеристик системы управления огнем танка. // Системи озброєння і військова техніка. – Вып. №2. – Х., 2012 – С. 107–110.
15. Коплык И.В. и др. Способ расчета ошибок в координатах целей, определяемых перспективным автоматизированным звукометрическим комплексом разведки. // К.: Артиллерийское и стрелковое вооружение. К.: Вып. № 1. – 2010 – С. 31–34.
16. Анипко О.Б., Бірюков І.Ю. Малик В.А., Григорьева В.Н. Энергетическая дальность обнаружения шумящих объектов. // Сборник научных трудов. – Севастополь: СКУЭИП. – Вып. 1(37). – 2011 – С. 231–236.
17. Гринченко В.Т. Основы акустики / В.Т. Гринченко, И.В. Вовк, В.Т. Маципура. – К.: Наук. думка, 2007. – 640 с.
18. Дидковский В.С. Акустическая экспертиза каналов речевой коммуникации / В.С. Дидковский, М.В. Дидковская, А.Н. Продеус. – К.: Наук. думка, 2008. – 420 с.
19. Вовк И.В. Звук, рожденный потоком / И.В. Вовк, В.Т. Гринченко. – К.: Наук. думка, 2010 – 221 с.
20. ISO 9613-2:1996. Acoustic – Attenuation of sound during propagation outdoors. – P. 21. General method of Calculation. – М.: MOD, 2006. – 39 p.
21. Бірюков І.Ю. Акустическая компонента разведки наземных целей. Проблемы и решения. // Сборник научных трудов. – Севастополь: СКУЭИП. – Вып. № 3(47). – 2013 – С. 98–102.

Bibliography (transliterated)

1. Anipko O.B., Borisyuk M.D., Busyak Yu.M. Kontseptualnoe proektirovanie ob'ektov bronetankovoy tehniki. Monografiya. H.: NTU “HPH”, 2008 – 196 p.
2. Anipko O.B., Biryukov I.Yu., Busyak Yu.M. Kompleksnaya problema poiska i obnaruzheniya nazemnyih tseley dlya porazheniya vooruzheniem, ustanovlennym na ob'ektah bronetehniki. Sbirnik naukovih prats. Akad. VV MVS UkraYini. – Vyip. # 2(18). – H., 2011. – P. 43–47.

3. Anipko O.B., Biryukov I.Yu., Busyak Yu.M. Zvukovyye portrety ob'ektov bronetehniki dlya obnaruzheniya i raspoznaniya tseley. Integririvannyie tehnologii i energozberezhenie.– Vyip. # 3.– H., 2011.– P. 31–36.
4. Gorbunov V.A. Effektivnost obnaruzheniya tseley. M. Voен. Izd., 1979 – 160 p.
5. Abchuk V.A., Suzdal V.G. Poisk ob'ektov. M.: Sovetskoe radio, 1977.
6. Hellman O. Vvedenie v teoriyu optimalnogo potoka. M.: Nauka, 1985.
7. Gasanov E.E. Funktsionalno-setevyye bazyi dannyih i sverhbyistryie algoritmyi poiska. M.: Izdatelskiy tsentr RGGU, 1997 – 88 p.
8. Strotsev A.A. Optimalnyiy poisk nepodvizhnoy tseli mnogopozitsionnoy informatsionnoy sistemoy. M.: Radioelektronika. – Vyip. # 4. – 2002.
9. Biryukov I.Yu. Osnovy obrabotki tsifrovyyh izobrazheniy dlya raspoznaniya nazemnykh tseley dopolnitelnoy optiko-tsifrovoy sistemoy razvedki ob'ektov BTT. Sistemi ozbroennya i viyskova tehnika. – Vyip. # 2. – H., 2013 – P. 95–99.
10. Biryukov I.Yu. Maskirovochnaya okraska nazemnykh ob'ektov i metody ih raspoznaniya. Integrovani tehnologii ta energozberezhennya. – H.: NTU „HPI” 2013. – # 2. – P. 101–109.
11. Vaskovskiy M.I. Matematicheskaya model funktsionirovaniya obraztsa bronetankovogo vooruzheniya, osnaschenno informatsionno-upravlyayushey sistemoy. Artilleriyskoe i Strelkovoe Vooruzhenie. – K.: Vyip. # 1. – 2011. – P. 6–11.
12. Anipko O.B., Busyak Yu.M., Biryukov I.Yu. Analiticheskaya markovskaya model funktsionirovaniya kompleksa vooruzheniya tanka. Sistemi ozbroennya i viyskova tehnika. – Vyip. # 3. – H., 2012 – P. 2–5.
13. Anipko O.B., Busyak Yu.M., Biryukov I.Yu. Model funktsionirovaniya kompleksa bronetankovogo vooruzheniya na osnove diskretnyyh tsepey Markova. Sbornik nauchovykh prats. – H.: Akad. VV. MVS Uk-raYini, 2013. – Vyip. # 1(21). – P. 29–35.
14. Anipko O.B., Busyak Yu.M., Biryukov I.Yu. Model razvedki protivnika dlya povyisheniya tehnikeskikh harakteristik sistemyi upravleniya ognem tanka. Sistemi ozbroennya i viyskova tehnika. – Vyip. #2. – H., 2012 – P. 107–110.
15. Kopylyk I.V. i dr. Sposob rascheta oshibok v koordinatah tseley, opredelyaemykh perspektivnyim avtomatizirovannyim zvukometricheskim kompleksom razvedki. K.: Artilleriyskoe i strelkovoe vooruzhenie. K.: Vyip. # 1. – 2010 – P. 31–34.
16. Anipko O.B., Biryukov I.Yu. Malik V.A., Grigoreva V.N. Energeticheskaya dalnost obnaruzheniya shumyashchih ob'ektov. Sbornik nauchnykh trudov.– Sevastopol: SNUYaEiP. – Vyip. 1(37). – 2011 – P. 231–236.
17. Grinchenko V.T. Osnovy akustiki. V.T. Grinchenko, I.V. Vovk, V.T. Matsipura. – K.: Nauk. dumka, 2007. – 640 p.
18. Didkovskiy V.S. Akusticheskaya ekspertiza kanalov rechevoy kommunikatsii / V.S. Didkovskiy, M.V. Didkovskaya, A.N. Prodeus. – K.: Nauk. dumka, 2008. – 420 p.
19. Vovk I.V. Zvuk, rozhdennyiy potokom. I.V. Vovk, V.T. Grinchenko. – K.: Nauk. dumka, 2010 – 221 p.
20. ISO 9613-2:1996. Acoustic – Attenuation of sound during propagation outdoors. – P. 21. General method of Calculation. – M.: MOD, 2006. – 39 p.
21. Biryukov I.Yu. Akusticheskaya komponenta razvedki nazemnykh tseley. Problemyi i resheniya. Sbornik nauchnykh trudov. – Sevastopol: SNUYaEiP. – Vyip. # 3(47). – 2013 –P. 98–102.

УДК 355.40; 534.79; 623.44

Бірюков І.Ю.

### **РОЗРАХУНОК СЕРЕДНІХ ПОМИЛОК, ВИЗНАЧЕНИХ ДОДАТКОВОЮ АКУСТИЧНОЮ СИСТЕМОЮ РОЗВІДКИ НАЗЕМНИХ ЦІЛЕЙ**

Розглядається акустична компонента розвідки наземних цілей, щодо розрахунку середніх помилок під час визначення координат наземних цілей.

Birukov I.Y.

### **CALCULATION OF AVERAGE ERROR DEFINED ADDING SPEAKERS RECONNAISSANCE OF GROUND TARGETS**

The article discusses the complex problem of timely search and detection of ground targets with a view to their destruction weapons, which is set for booking equipment.

Бобер А.В., Возгрин Ю.В., Зарянов В.А., Кузьминский В.А., Лазурко А.В.

## УПРАВЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКА ЗАБОРНОГО ВОЗДУХА НАД РАДИАТОРАМИ

**Актуальность темы.** Для поддержания нормального теплового режима работающего двигателя в диапазоне температур охлаждающей жидкости 105...110 °С, и кратковременно 125...130 °С, в современных объектах военной техники, необходимо создать эффективную систему охлаждения, главной составляющей которой является теплообменное устройство, включающее в себя радиаторы, вентиляторную или эжекторную систему для осуществления движения охлаждающего воздуха через радиаторы.

С увеличением мощности двигателя растет количество теплоты, которое необходимо отвести от его деталей цилиндрично-поршневой группы и блока. Решать эту проблему для ВГКМ простым увеличением размеров радиаторов или за счет повышения отбора мощности на прокачку охлаждающей жидкости не представляется возможным в связи с ограниченным объемом моторно-трансмиссионного отделения и возможным ухудшением габаритно-массовых и мощностных характеристик силовой установки. Переход от вентиляторного к эжекторному типу циркуляции охлаждающего воздуха через радиаторы, функционирующему за счет энергии отработавших газов, также не обеспечивает значительного снижения массогабаритных характеристик теплообменных устройств.

**Цель статьи.** Целью данной статьи является исследование вопроса о выборе оптимальной геометрии защитных устройств (заборных сеток, жалюзи) для обеспечения эффективного гашения турбулентного потока охлаждающего воздуха при их минимальном сопротивлении.

Основная часть. При проектировании вентиляторной системы охлаждения необходимо учитывать, что основной ее задачей является создание оптимальных тепловых режимов термически напряженных деталей цилиндрично-поршневой группы двигателя, а также блока цилиндров и его головки. Применение экономичных, высокофорсированных и надежных двигателей внутреннего сгорания во многом определяется рациональным охлаждением деталей цилиндрично-поршневой группы, что приводит к ужесточению требований к радиаторам. Поверхность теплообмена современных радиаторов, применяемых для тяжелой бронетехники, трубчато-пластинчатая; состоит из плоских труб, к которым припаяны тонкие поперечные пластины (ребра). Высокая эффективность таких радиаторов достигается благодаря непосредственному увеличению площади теплоотдающих поверхностей и увеличению коэффициента теплоотдачи ребренной поверхности по сравнению с гладкотрубными радиаторами, причем данный процесс обычно нестабилен вследствие непостоянства температур теплопередающих поверхностей. Ребрение трубок со стороны среды, имеющей небольшое значение коэффициента теплоотдачи, также приводит к интенсификации процесса передачи теплоты. Наличие ребер повышает эффективность и жесткость конструкции, обеспечивает высокую механическую прочность, однако приводит к возрастанию аэродинамического сопротивления и массы радиатора. При обтекании конвективной части радиатора воздухом вблизи поверхности теплосъема образуется тонкий пограничный слой, поведение которого определяет аэродинамическое сопротивление. При отрыве пограничного слоя от поверхности обтекаемого радиатора происходит резкое увеличение сопротивления [1, 2]. Для уменьшения сопротивления необходимо продлить отрыв, т.е. сместить линию отрыва пограничного слоя как можно дальше назад к задней критической точке. Этим сужается область застойного течения за телом (след за телом), что, как следствие, позволяет уменьшить аэродинамическое сопротивление, однако стоит всегда помнить о снижении эффективности конвективной передачи тепла в основной поток при тонком пограничном слое. Кроме того, установка защитной сетки (жалюзи) над радиаторами приводит к увеличению аэродинамического сопротивления и заметному увеличению энергетических затрат на осуществление течения потока охлаждающего воздуха. В связи с этим весьма актуальным является вопрос о выборе оптимальной геометрии сетки, способной наиболее эффективно гасить турбулентность потока при минимальном сопротивлении. Четких рекомендаций по вопросу геометрии сеток нет, а это, в свою очередь, затрудняет применение оптимальных геометрических конструкций сеток.

При течении охлаждающего воздуха сетка не только подавляет турбулентность набегающего потока  $E_0$ , но и порождает собственную сеточную турбулентность  $E_C$ . При прохождении воздушного потока через сетку гасящее действие основано главным образом на уменьшении масштаба турбулентных пульсаций и приводит к быстрому затуханию крупномасштабной турбулентности. Но при этом, проходя через сетку, поток образует вихри, порожденные сеточной турбулентностью.



Драйден [3], исходя из предположения, что потери энергии турбулентности при прохождении воздушного потока через сетку пропорциональны коэффициенту гидравлического сопротивления сетки:

$$\zeta = 2\Delta P / \rho v^2, \quad (1)$$

где  $\Delta P$  – потери давления на гидравлическом сопротивлении;  $\rho$  – плотность воздушного потока;  $v$  – скорость воздушного потока, установил следующее соотношение между интенсивностью турбулентности набегающего потока воздуха  $E_0$  и значением турбулентности  $E_1$  после прохождения потока через сетку:

$$E_1 / E_0 = 1 / \sqrt{1 + \zeta}. \quad (2)$$

Это соотношение позволяет оценить характер изменения турбулентности при прохождении воздушного потока через защитную сетку, которое при малых числах Рейнольдса является определяющим. Суммарная турбулентность воздушного потока за сеткой  $E$ , определяется с учетом турбулентности, порожденной сеткой:

$$E = \sqrt{E_1^2 - E_C^2}. \quad (3)$$

Формула (3) дана Драйденом в предположении, что турбулентность  $E_1$  после прохождения воздушного напора через сетку и собственная турбулентность, вызванная установкой сетки, не связаны между собой. Соотношения (2) и (3) нашли широкое применение в практических расчетах геометрических параметров сеток, используемых для детурбулизации воздушного потока. Значение  $E_C$  определяется по формуле Бетчелора и Таунсенда:

$$E_C = (\zeta / C)^{0.5} [X / M - (X / M)_0]^{0.5}, \quad (4)$$

где  $C=106$ ;  $(X / M)_0 \approx 10$ .

Однако, как показали более поздние исследования [3, 4], приведенные выше зависимости плохо согласуются с имеющимися экспериментальными данными. Попытки уточнить эти формулы с помощью эксперимента привела к противоречивым результатам. Так, при одном и том же значении коэффициента  $\zeta$  в [3] было получено более сильное по сравнению с формулой (2) подавление турбулентности. В связи с этим можно сделать вывод, что зависимость (4) плохо согласована с опытными данными.

Несмотря на конструктивную простоту защитной сетки, процесс прохождения воздушного потока через неё сложен и до настоящего времени достаточно не изучен.

Исследования процессов перемещения турбулентного потока воздуха через сетку опираются на эмпирическую теорию, которая требует задания определенных констант, что конечно, не проникает глубоко в сущность явления. В связи с этим, при проведении эксперимента необходимо измерять величины, входящие в состав критериев гидродинамического подобия, моделируя перемещения потока воздуха. Поток воздуха через сетку пространственный, вихревой и в значительной степени турбулентный.

При проведении эксперимента необходимо учитывать начальные условия истечения, которые существенно влияют на аэродинамические характеристики турбулентного потока за сеткой. Это позволяет выработать рекомендации по выбору как геометрии сетки, так и места ее установки в потоке, в результате чего можно обеспечить эффективное гашение турбулентности с наименьшими энергетическими затратами.

Характер потока воздуха определяется геометрическими параметрами сетки и зависит от расстояния между сеткой и радиаторами. Основная задача при аэродинамическом теплообмене сводится к определению коэффициента теплоотдачи  $k$ , который зависит от скорости воздуха, формы, положения угла атаки обтекаемого тела, структуры пограничного слоя (ламинарного или турбулентного), физических параметров среды, теплоемкости:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\kappa_0} + \psi \cdot R_{wt} + R_{lt}}, \quad (5)$$

где  $\kappa_0$  – коэффициент теплопередачи чистого радиатора;  $\psi$  – коэффициент оребрения поверхности;  $R_{wt}$  и  $R_{lt}$  – термические сопротивления, учитывающие внутренние и внешние слои загрязнения.

Таким образом, исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что изменяя геометрию сеток, расстояние между сеткой и радиаторами можно изменять масштаб турбулентности набегающего воздушно-

го потока на радиаторы, изменять значение коэффициента гидравлического сопротивления, тем самым улучшая процесс теплообмена.

При повышении мощности двигателя увеличивается количество выделяемого тепла, поэтому, проводя моделирование движения потока воздуха через заборные сетки с оптимально выбранным коэффициентом заполнения воздушным потоком пространства над радиаторами, можно получить рекомендации по геометрическим параметрам заборной сетки.

В результате проведения испытаний определяется эффективность гашения турбулентности потока (т.е. отношение  $E_1 / E_0$  уменьшается или увеличивается) не за счет изменения коэффициента  $\zeta$ , а за счет изменения  $E_C$  и расстояния между сеткой и радиатором.

Исследование процессов перемещения турбулентного потока воздуха от сетки к радиаторам опирается на эмпирическую теорию, заданную константами. Эта теория позволяет полностью оценить характер течения турбулентного потока. Модели турбулентного потока, связывающие рейнольдсовы напряжения с градиентом средней скорости, позволяют достаточно точно прогнозировать динамические и тепловые свойства пристеночных течений и течений основного потока воздуха в подводящих каналах и непосредственно на фронтальной поверхности радиатора. Из опыта эксплуатации систем охлаждения силовых установок известно, что течение воздушного потока на входе в радиатор может быть как чисто ламинарным, так и турбулентным. Режим течения, в свою очередь, определяется скоростью потока на входе в теплообменник, который характеризуется поперечным размером проточного канала теплообменника (шагом оребрения) и предварительной турбулизацией, т.е. направлением течения от сетки до радиаторов. Поэтому важно, чтобы воздушный поток заполнял все пространство над радиаторами, что определяется значением коэффициента гидравлического сопротивления сетки  $\zeta$ .

Исходя из экспериментальных данных, при обдуве поверхности радиаторов турбулентный поток воздуха имеет волновой пульсационный характер. Поэтому, при испытании различных конструкций сеток, турбулентность, возникшая после прохождения через сетку, сосредотачивает турбулентный поток с пульсацией скорости в одном направлении. Имея экспериментальные данные по пульсационным характеристикам турбулентного потока, можно смоделировать движение воздуха в каждой точке области течения от выхода через сетку до фронтальной поверхности радиатора, заполняя всю охлаждающую площадь.

Поведение турбулентного потока имеет сложный характер. Поэтому необходимо проведение большого числа замеров и обработки опытных данных для различного рода установившихся турбулентных течений, как свободных, так и течений вблизи поверхности радиатора. Очевидно, что картина течения охлаждающего воздуха в каналах системы охлаждения в первую очередь будет определяться геометрией конструкции заборных сеток, и в каждом случае расчет необходимо проводить, учитывая как можно больше особенностей в модели течения. Также необходимо учитывать присутствие застойной зоны, состоящей из присоединенных вихрей [2]. Разумеется, что такая картина будет отличаться от расчетной, при которой поле скоростей по сечению сердцевины радиатора имеет равномерное распределение, а существующее реальное течение воздушного потока не учитывается. Очевидна необходимость введения коэффициента, учитывающего снижение коэффициента теплоотдачи при неполном заполнении теплоотдающих поверхностей радиатора, как это и предлагается в [1, 2].

Однако, в нашем случае мы можем не полагаться на рекомендации по выбору эмпирического коэффициента полноты теплообмена для схожих конструкций, а получить действительные значения коэффициента на разных режимах течения для данной конструкции.

При этом мы можем полагать, что оптимальное значение турбулентности воздушного потока  $E_C$  целесообразней определять по соотношению между масштабом турбулентности набегающего потока и масштабом собственной турбулентности, порожденной заборной сеткой, при этом за сеткой масштаб турбулентности будет определяться геометрическими размерами сетки и расстоянием от сетки до радиаторов.

Для учета влияния неравномерности потока на характер обдува турбулентным потоком при использовании моделей можно изменить граничные условия на стенке (метод пристеночных функций [2]), либо вводить поправки в линейный масштаб турбулентности. Эти методы дают возможность рассчитать распределение параметров во всей области течения от начала обтекания поверхности до внешней границы пограничного слоя, что позволяет учесть различные эффекты (теплообмен, проницаемость поверхности, влияние шероховатости и др.)

При обтекании радиатора потоком воздуха с более низкой температурой, в соответствии с уравнением Фурье происходит передача теплоты от радиатора путем теплопроводности во внешние слои воздуха. Нагрев происходит до тех пор, пока не установится тепловое равновесие между поверхностями тела, отдающими тепло (радиатор) и воспринимающим тепловую энергию потоком воздуха. Отвод тепла происходит в пограничном слое ламинарного течения теплопроводностью, в зонах переходного и турбулентного течения – конвективным теплообменом [1, 2, 6]. При этом,  $t_{cm} = t_a$ , где  $t_{cm}$  – температура стенки,  $t_a$  – температура восстановления (энтальпия восстановления). Поведение пограничного слоя определяет

аэродинамическое сопротивление. При отрыве пограничного слоя от поверхности обтекаемого тела происходит резкое увеличение аэродинамического сопротивления. Простейший пограничный слой, который образуется при обтекании твердой плоской стенки продольным потоком воздуха, является течением только с вязкой неустойчивостью. Эта неустойчивость особенно явно проявляется при течении газа с малой плотностью. Вязкая неустойчивость играет важную роль во взаимодействии воздуха с поверхностью, в частности, при передаче тепловой энергии.

При исследовании обтекания воздушным потоком теплопередающей поверхности турбулентность пограничного слоя за сеткой можно выразить эмпирическими соотношениями (непосредственно связывающую турбулентную вязкость с осредненными параметрами потока), в дальнейшем используя их при новом проектировании. Эмпирические соотношения позволяют определить оптимальные условия работы турбулентного потока за сеткой, если будут заданы геометрические размеры сетки. Также можно определить оптимальное расстояние от сетки до охлаждаемой поверхности и собственную минимальную турбулентность сетки.

На практике при проектировании задаются не геометрические размеры заборной сетки, а место ее установки, обеспечивающее при заданном расстоянии от сетки до охлаждающей поверхности минимальное значение  $E_c$ . В этом случае выбор варианта наиболее эффективного применения сетки связан с поиском оптимальных условий работы сетки заданных геометрических параметров. В связи с этим следует, что при заданном расстоянии до охлаждающей поверхности (с различными геометрическими размерами сетки) при существующих режимах работы применение сетки оказывается более эффективным, т.е. когда значение  $E_c$  является минимальным. Эта характеристика должна стать решающей при выборе геометрических размеров сетки при заранее заданном расстоянии от неё до охлаждающей поверхности. При определении коэффициента теплоотдачи охлаждающей поверхности (см. рис. 1), учитывается вся теплота  $Q$ , отданная поверхностями теплообменника, которая воспринимается охлаждающим воздухом с удельной теплоемкостью  $c(t)$  и плотностью  $\rho(t)$ , проходящим через площадку площадью  $S$  за время  $T$  со скоростью  $V$ ; при этом повышается его тепловая энергия с изменением температуры от начальной  $t_1$  до  $t_2$ .

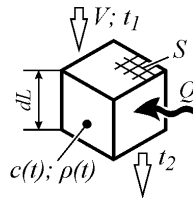


Рисунок 1 – Модель теплообмена

В общем виде для всего канала будем иметь следующее:

$$\left. \begin{aligned} K &= \frac{W}{S} \\ W &= \frac{Q}{T} \end{aligned} \right\} \Rightarrow K = \frac{Q}{T \cdot S}$$

$$\left. \begin{aligned} Q &= c(t) \cdot m \cdot \Delta t \\ \Delta t &= t_2 - t_1 \\ m &= \dot{m} \cdot T \end{aligned} \right\} \Rightarrow Q = c(t) \cdot \dot{m} \cdot T \cdot (t_2 - t_1)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{m} &= \rho(t) \cdot V \cdot S \end{aligned} \right\} \Rightarrow K = \frac{c(t) \cdot \rho(t) \cdot V \cdot S \cdot T \cdot (t_2 - t_1)}{S \cdot T} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow K = c(t) \cdot \rho(t) \cdot V \cdot (t_2 - t_1), \tag{6}$$

где  $K$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/м<sup>2</sup>;  $W$  – мощность теплового потока, Вт;  $\dot{m}$  – массовый расход воздуха, кг/с [7].

Полученные расчетные значения показали небольшое расхождение с практическими результатами. Для оценки полученных результатов необходимо учитывать, что всё количество теплоты  $Q$  зависит от коэффициента заполнения надрадиаторного пространства, или, в физической интерпретации, от скорости прохождения воздушного потока за сеткой в течении времени  $T$ .

При конструировании объектов бронетехники перед радиаторами обычно устанавливаются заборные броневые жалюзи, основное назначение которых – защита от пуль и осколков во время боевых действий. Если жалюзи установлены на входе воздуха в радиаторы системы охлаждения, они одновременно выполняют роль сеток для снижения турбулентности потока воздуха. С другой стороны, обычно их кон-

струкція така, що решетки жалюзи мають складну замкову форму і створюють значительне аеродинамічне опір. В результаті помітно зменшується витрата повітря через радіатори і в цілому може знизитися ефективність системи охолодження силової установки.

Для реальної оцінки впливу опору входних жалюзі на ефективність системи охолодження в ГП «ХКБМ ім. А.А. Морозова» були проведені випробування силової установки танка Т-84, що має ежекційну систему охолодження двигача БТД-2 потужністю 1200 л.с. Танк був встановлений на комплексний стенд випробувань моторно-трансмісійних відділень [8], вали ведучих колес були підключені до навантажувальних пристроїв стенда, а датчики, призначені для вимірювання теплотехнічних параметрів – к каналам вимірювального комплексу ТН 800.

Випробування проводилися при роботі двигача на режимі максимальної потужності при частоті обертання колінвалів  $n_{об} = 2600 \text{ мин}^{-1}$  і включеній 6-й передачі.

В першому спробі зі штатною установкою входних жалюзі при температурі повітря на вході в радіатори  $t_{возд} = 24,1 \text{ }^\circ\text{C}$  через 30 хвилин був отриманий встановившийся тепловий режим роботи двигача при температурі охолоджувальної рідини, рівній  $110,9 \text{ }^\circ\text{C}$ . Для визначення граничної температури повітря, при якій силова установка ще може функціонувати без обмеження потужності двигача по максимально-допустимій температурі охолоджувальної рідини, була застосована наступна формула:

$$t_{возд}^{пред} = 130 - t_{ож} + t_{возд}, \quad (7)$$

де  $t_{возд}^{пред}$  – гранична температура оточуючого повітря для данної системи охолодження,  $^\circ\text{C}$ ; 130 – максимально-допустима температура охолоджувальної рідини на виході з двигача БТД-2,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_{ож}$  і  $t_{возд}$  – температура охолоджувальної рідини на виході з двигача і повітря на вході в радіатори при встановившійся тепловий режимі силової установки,  $^\circ\text{C}$ .

Відповідно до отриманих результатів, система охолодження силової установки даного танка Т-84 зі штатною установкою заборних жалюзі може забезпечити, довготривалу роботу силової установки на максимальній потужності двигача при температурі атмосферного повітря  $t_{возд}^{пред} = 43,2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Другим спробу було проведено з відкритими жалюзі, при цьому встановившийся режим був отриманий також через 30 хвилин, температура повітря на вході в радіатори і температура охолоджувальної рідини відповідно склали  $23,8 \text{ }^\circ\text{C}$  і  $104,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Після виконаних обчислень гранична температура повітря для даного варіанта системи охолодження склали  $t_{возд}^{пред} = 49,3 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Результати обох спроб, проведених в ідентичних умовах – температури оточуючого повітря і величин навантажень на ведучі колеса, свідчать, що броневі заборні жалюзі зменшують ефективність системи охолодження силової установки танка Т-84 на  $6,1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Очевидно, що в даному випадку заборні жалюзі знизять турбулентність потоку повітря на вході в радіатори, при цьому позитивний ефект даного заходу зводиться до незначительного погіршення охолодження радіаторів внаслідок зменшення витрати повітря з-за великого аеродинамічного опору жалюзі.

Підвищення ефективності системи охолодження силової установки танка Т-84 можна досягти застосуванням більш перспективних форм решіток заборних броневих жалюзі при дороботі їх конструкції в плані зменшення їх аеродинамічного опору з проведенням широкомасштабних досліджень на стендах ГП «ХКБМ».

**Висновки.** Диференціальне моделювання з використанням емпіричних залежностей повітряного потоку дає більш повне уявлення про рух як турбулентного, так і ламінарного потоків і дозволяє вирішувати складні задачі теплообміну, враховуючи практично всі теплові і динамічні процеси, що відбуваються в теплообмінних пристроях.

Аналіз матеріалів, викладених в даній статті, дозволяє більш повно узагальнювати критерії руху турбулентного потоку при охолодженні радіаторів і визначати ефективність системи охолодження з метою раціонального вибору геометрії елементів, що впливають на перенос тепла в теплообмінних пристроях на початкових етапах проектування і розробки систем охолодження силових установок. Також дозволяє враховувати і складати емпіричні співвідношення для отримання, крім геометричного подобию, повної динаміки руху повітряного потоку при охолодженні поверхонь теплообмінників.

Проведеними випробуваннями визначено, що застосовані на танках Т-80УД і Т-84 заборні броневі жалюзі при зменшенні турбулізації потоку повітря і покращенні процесу збору тепла з поверхності радіаторів, все ж зменшують витрату повітря на охолодження внаслідок їх високого аеродина-

мического сопротивления. Установлено, что применение жалюзи штатной конструкции снижает эффективность системы охлаждения танка Т-84 на 6,1 °С.

Література

1. Калинин Э.К. Интенсификация теплообмена в каналах. / Э.К. Калинин, Г.А. Дрейцер, С.А. Ярко. – М.: Машиностроение, 1990. – 208 с.
2. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. – М.: Наука, 1969. – 411 с.
3. Лебига В.А., Черных В.В. Исследование воздействия сеток на характеристики турбулентного потока. // Изв. СО АН СССР. Сер. техн. наук. 1972.Т8, №2, С. 47–53.
4. Дербунович Г.И., Земская А.С., Репик Е.У., Соседко Ю.П. Использование сеток для управления структурой турбулентного потока в аэродинамических трубах. // Учен. Зап. ЦАГИ. 1982.Т13, №1, С. 11–20.
5. Дербунович Г.И., Земская А.С., Репик Е.У., Соседко Ю.П. К вопросу о гидравлическом сопротивлении сеток.// Учен. Зап. ЦАГИ. 1980.Т11, №2, С. 113–136.
6. Автотракторные радиаторы / – Л., Машиностроение, 1978. – 193с.
7. Возгрин Ю.В., Ковалев М.С., Кузьминский В.А., Лазурко А.В., Мормило Я.М., Чучмарь И.Д. Комплексное исследование зависимости эффективности теплообмена в системе охлаждения от варьирования входных величин в широком рабочем диапазоне методами конечноэлементного моделирования. / «Механіка та машинобудування» // Науково-технічний журнал. Харків: НТУ «ХП», 2013, №4, С. 54–61.
8. Климов В.Ф., Кузьминский В.А., Ярмач Н.С., Жменько Р.В. Исследование потерь мощности в трансмиссии танка Т-80УД. / «Механіка та машинобудування» // Науково-технічний журнал. Харків: НТУ «ХП», 1999, №2, С. 207–211.

Bibliography (transliterated)

1. Kalinin E.K. Intensifikatsiya teploobmena v kanalah. E.K. Kalinin, G.A. Dreytser, S.A. Yarko. – М.: Mashinostroenie, 1990. – 208 p.
2. Shlihting G. Teoriya pogrannichnogo sloya. G. Shlihting. – М.: Nauka, 1969. – 411 p.
3. Lebiga V.A., Chernyih V.V. Issledovanie vozdeystviya setok na harakteristiki turbulentnogo potoka. Izv. SO AN SSSR. Ser. tehn. nauk. 1972.T8, #2, P. 47–53.
4. Derbunovich G.I., Zemskaya A.S., Repik E.U., Sosedko Yu.P. Ispolzovanie setok dlya upravleniya strukturoy turbulentnogo potoka v aerodinamicheskikh trubah. Uchen. Zap. TsAGI. 1982.T13, #1, P. 11–20.
5. Derbunovich G.I., Zemskaya A.S., Repik E.U., Sosedko Yu.P. K voprosu o gidravlicheskom soprotivlenii setok. Uchen. Zap. TsAGI. 1980.T11, #2, P. 113–136.
6. Avtotraktornyye radiatoryi – L., Mashinostroenie, 1978. – 193 p.
7. Vozgrin Yu.V., Kovalev M.S., Kuzminskiy V.A., Lazurko A.V., Mormilo Ya.M., Chuchmar I.D. Kompleksnoe issledovanie zavisimosti effektivnosti teploobmena v sisteme ohlazhdeniya ot varirovaniya vhodnyih velichin v shirokom rabochem diapazone metodami konechnoelementnogo modelirovaniya. «Mehanika ta mashinobuduvannya». Naukovo-tehnichnyi zhurnal. Harkiv: NTU «HPI», 2013, #4, P. 54–61.
8. Klimov V.F., Kuzminskiy V.A., Yarmak N.S., Zhmenko R.V. Issledovanie poter moschnosti v transmishii tanka T-80UD. «Mehanika ta mashinobuduvannya». Naukovo-tehnichnyi zhurnal. Harkiv: NTU «HPI», 1999, #2, P. 207–211.

УДК 623. 438. 14

Бобер А.В., Возгрин Ю.В., Зарянов В.А., Кузьминский В.А., Лазурко О.В.

### УПРАВЛІННЯ ІНТЕНСИВНІСТЮ ТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКУ ЗАБИРАЄМОГО ПОВІТРЯ НАД РАДІАТОРАМИ

У статті проведено дослідження процесів теплообміну, що дозволяє вирішувати складні задачі передачі тепла, враховуючи практично всі теплові та динамічні процеси, які відбуваються у теплообмінних пристроях силових установок з метою складання довідкових залежностей для раціонального вибору геометрії теплообмінних пристроїв на початкових етапах проектування.

Bober A.V., Vozgrin Yu.V., Zarianov V.A., Kuzminsky V.A., Lazurko O.V.

### INTENSITY CONTROL OF THE INTAKE AIR TURBULENT FLOW OVER RADIATORS

This article deals with heat transfer processes that can solve complex problems of heat transfer, taking into account almost all the thermal and dynamic processes that occur in the heat exchangers of power plants in order to create reference dependencies for efficient choice of heat exchangers geometry at the early stages of design.

УДК 623.525

Бутылин А.А., Толстолуцкий В.А., Лизунов К.М., Журавлев С.В., Кошман В.А.

### ПЕРСПЕКТИВНАЯ СХЕМА ТРАНСМИССИИ ДЛЯ ЛЕГКОБРОНИРОВАННОЙ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ

Трансмиссии, используемые в шасси для БМП и машин на их базе, имеют типовую конструкцию: согласующий редуктор (СР), гидротрансформатор (ГТ), механизм реверса (Р), коробку передач (КП), дифференциальный механизм поворота (ДМП) и два бортовых редуктора (БР). В комплексе с гидротрансформатором, как правило, используют 4<sup>x</sup> ступенчатые коробки передач.

В настоящее время заказчики военной техники все чаще отдают предпочтение модернизации существующей техники, требуя внедрения мероприятий, которые направлены на повышение уровня защиты бронетехники от стрелкового оружия и взрывных устройств. Например, защита машины может быть усилена при помощи дополнительных модулей, обеспечивающих более высокий уровень защиты, установкой противокумулятивных решеток. Экипаж БМП оснащается более современными средствами индивидуальной защиты. Таким образом, все эти мероприятия в комплексе приводят к значительному увеличению сцепного веса изделия, что может значительно увеличивать нагрузки на элементы трансмиссии. Данное обстоятельство наиболее ощутимо при эксплуатации машины в тяжелых дорожных условиях. При этом требуется увеличение крутящего момента на ведущих колесах, что достигается за счет установки более мощного двигателя и гидротрансформатора с увеличенным активным диаметром.

Однако такие мероприятия как для существующих БМП так и для вновь разрабатываемых приводят к увеличению габаритов МТО, за счет установки более мощных агрегатов и систем их обслуживающих, таких как системы охлаждения двигателя и трансмиссии.

Так же в современных условиях требуется более широкий скоростной диапазон трансмиссии, для обеспечения более высоких скоростей движения, плавного переключения передач и возможности движения с максимально возможной скоростью в различных дорожных условиях. Это обеспечивается введением дополнительной передачи в КП либо дополнительной установкой делителя с пониженной и повышенной передачами. Что также увеличивает габариты МТО.

Поэтому одной из наиболее важных задач при проектировании новых трансмиссий военных машин является обеспечение ее минимальных объемов при максимальной эффективности передачи мощности двигателя к ведущим колесам. Таким требованиям наиболее полно удовлетворяет трансмиссия гусеничной БМП, разработанная в ГП «ХКБМ», кинематическая схема которой приведена на рисунке 1.

Основные параметры БМП и трансмиссии приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные параметры

Наименование	Обознач.	Передача					
		I	II	III	IV	3X1	3X2
Вес машины, кг	G	21000					
Двигатель	–	3ТД – 4					
Радиус ведущего колеса, м	R	0,242					
Передачное число согласующего редуктора	$i_c$	1,055					
КПД согласующего редуктора	КПД <sub>c</sub>	0,97					
Передачное число КП	$i_{кп}$	7,151	3,03	1,67	1	-14,5	-6,15
КПД КП	КПД <sub>кп</sub>	0,965	0,985	0,969	1	0,941	0,961
Передачное число делителя с учетом гитары	режим 1	$i_{дел}$					
	режим 2						
КПД делителя	режим 1	КПД <sub>рк</sub>					
	режим 2						
Передачное число бортового редуктора	$i_{бр}$	3,5					
КПД бортового редуктора	КПД <sub>бр</sub>	0,985					
Передачное число суммирующего ряда (для прямолинейного движения)	$i_{ср}$	1,394					
КПД суммирующего ряда	КПД <sub>ср</sub>	0,985					
КПД гусеничного движителя	КПД <sub>гд</sub>	0,92					
Передачное число трансмиссии (от вала турбины)	режим 1	$i_{тр}$					
	режим 2						
КПД турбины	режим 1	КПД <sub>тр</sub>					
	режим 2						

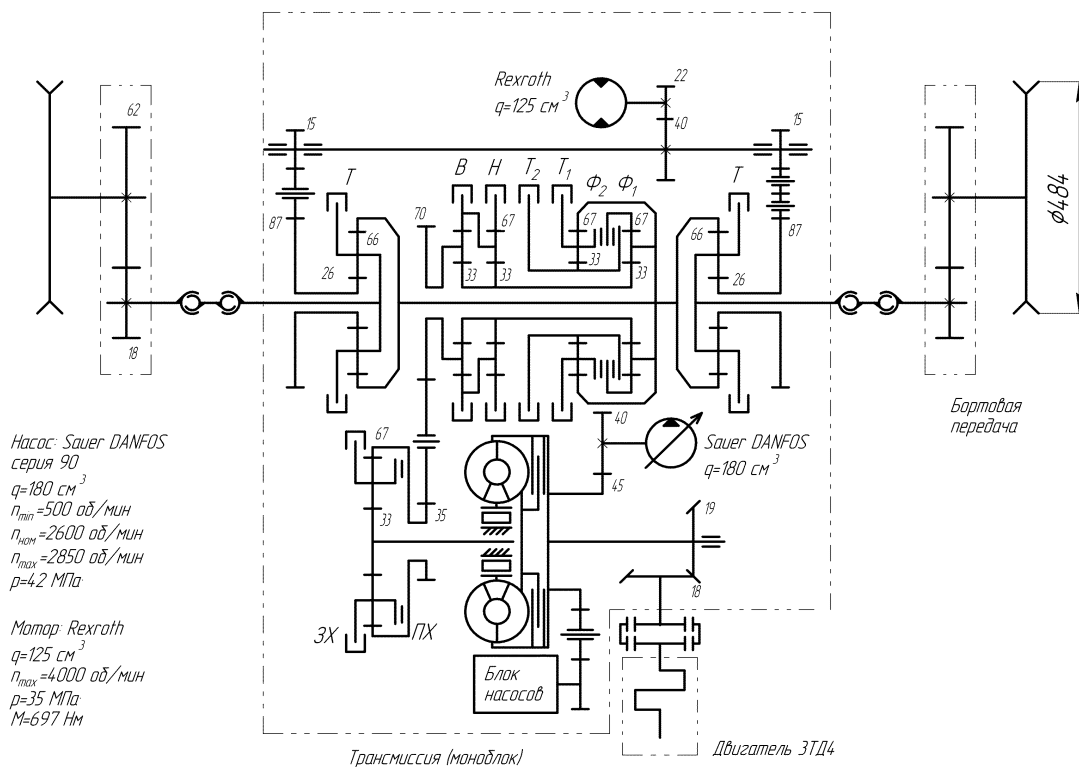


Рисунок 1 – Схема кинематическая

В состав трансмиссии входят следующие узлы:

Согласующий редуктор – коническая передача с передаточным отношением  $i = 1,055$ . Передаточное отношение редуктора подбиралось из условия совмещения нагрузочной параболы ГТ, соответствующей  $i_{ГТ} = 0$ , с точкой максимального крутящего момента на внешней характеристике двигателя 3ТД-4 с незначительным смещением влево для увеличения запаса по силе тяги в пределах одной передачи.

Гидротрансформатор – комплексный, трехколесный, блокируемый, с муфтой свободного хода и активным диаметром  $D_a = 380 \text{ мм}$

Реверс – планетарный однорядный редуктор с двумя фрикционами: тормозным и блокировочным. При блокировке планетарного ряда передаточное отношение  $i_{ПХ} = 1$ , при остановке водила  $i_{3Х} = -2,03$ .

Гитара – цилиндрический рядный редуктор с передаточным отношением  $i = 1,892$ .

Делитель – планетарный, двухступенной, двухрядный редуктор с двумя остановочными фрикционами. Передаточное отношение пониженной передачи  $i_{п} = 0,55$ , передаточное отношение повышенной передачи  $i_{в} = 0,33$ .

Коробка передач – планетарная, трехступенная. Состоит из двух планетарных рядов, двух тормозных и двух блокировочных фрикционов. Кинематическая схема коробки передач разработана таким образом, что при переключении передач меняется один фрикцион из пары (таблица 2). Это обеспечивает большую эффективность управления коробкой передач, а также сокращает время переключения передач.

Таблица 2 – Таблица включения фрикционов

№ перед.	Включ. фрикционы	$i_{кп}$
I	$T_1\Phi_1$	7,151
II	$T_2\Phi_1$	3,03
III	$T_2\Phi_2$	1,67
IV	$\Phi_1\Phi_2$	1,00
Остановка эпицикла суммирующего ряда	$T_1T_2$	–



Суммирующие ряды – правый и левый, являющиеся составной частью дифференциального механизма поворота.

При прямолинейном движении (солнечные шестерни неподвижны) имеем передаточное отношение  $i_{cp} = 1,394$

Эпициклы суммирующих рядов соединены с выходным валом коробки передач.

Солнечные шестерни объединены через паразитную шестерню между собой. При повороте машины солнечные шестерни имеют одинаковое противовращение от гидромотора гидрообъемной передачи.

Водило левого и правого суммирующих рядов конструктивно соединены с дисками фрикционов останочных тормозов.

Привод поворота – гидрообъемный и состоит из аксиальных регулируемого гидронасоса и нерегулируемого гидромотора.

Бортовой редуктор – правый и левый рядный, цилиндрический. Передаточное отношение бортового редуктора  $i_{бр} = 3,5$ .

Работа трансмиссии. Вращение от коленчатого вала двигателя передается через согласующий редуктор на гидротрансформатор. В разблокированном состоянии он работает с рассогласованием насосного и турбинного колес. Колесо реактора остановлено и удерживается обгонной муфтой. Величина рассогласования изменяется автоматически в зависимости от нагрузки на ведущих колесах.

При выходе на режим гидромуфты обгонная муфта не удерживает колесо реактора и оно проворачивается относительно корпуса, но рассогласование между насосным и турбинным колесами возможно. Блокировка гидротрансформатора обеспечивает работу входного и выходного валов как одного целого.

Реверс имеет два режима работы. При включении блокировочного фрикциона направление вращения оси турбинного колеса гидротрансформатора не меняется, при включении останочного фрикциона – останавливается водило и направление вращения изменяется с понижением в 2,03 раза.

От реверса вращение через гитару передается к делителю с понижением в 1,892 раза.

Делитель также имеет два режима работы – повышающий и понижающий. Режимы делителя выбираются в зависимости от дорожных условий. Оба режима ускоряющие, т.к. мощность подводится к водилу, а снимается с солнечной шестерни.

В сочетании с гитарой передаточное отношение делителя составляет:

- при повышающей передаче  $i_v = 0,624$
- при понижающей передаче  $i_n = 1,046$

Конструкция делителя позволяет отказаться от блокировочного фрикциона, но с использованием дополнительного планетарного ряда. Благодаря этому, мы добиваемся необходимого разрыва между пониженной и повышенной передачами, хотя и со снижением КПД на одном из режимов. Так же, отказываемся от сложных гидравлических устройств, передающих высокое давление на вращающиеся детали и имеющие большую вероятность выхода из строя.

Повышение частоты вращения делителя позволяет компенсировать ее понижение суммирующими рядами и понизить крутящий момент, входящий в коробку передач.

Механизм поворота с гидрообъемным приводом обеспечивает:

- стабильное прямолинейное движение
- бесступенчатое изменение радиуса поворота

При прямолинейном движении вал гидромотора неподвижен и, соответственно, солнечные шестерни суммирующих рядов также неподвижны.

Угловые скорости эпициклов суммирующих рядов всегда равны, т.к. соединены с выходным валом КП.

При повороте вал гидромотора начинает вращаться и передает вращение на солнечные шестерни суммирующих рядов.

Солнечные шестерни имеют разнонаправленное вращение, благодаря чему, один из выходных валов трансмиссии замедляется, а другой ускоряется.

Для оценки работоспособности кинематической схемы был выполнен анализ прямолинейного движения и поворота для гусеничной машины массой 21 тонна и двигателем 3ТД-4 мощностью 600 л.с.

Результаты тягового расчета прямолинейного движения (рисунки 2, 3) показывают, что гусеничная БМП с предложенной трансмиссией обеспечивает максимальную скорость движения по ровной горизонтальной дороге с асфальтобетонным покрытием равную 73,8 км/ч.

Минимальная устойчивая скорость при движении со заблокированным ГТ составляет 4,74 км/ч.

Предложенная трансмиссия обеспечивает движение на подъеме на повышенной передаче делителя, при этом его угол ограничен сцепными характеристиками грунта.

Движение в повороте гусеничной БМП обеспечивается во всем диапазоне параметра регулирования ГОП на 1 и 2 передаче КП при движении по дорогам с грунтовым и бетонным покрытием, на повышенной и пониженной передачах делителя.

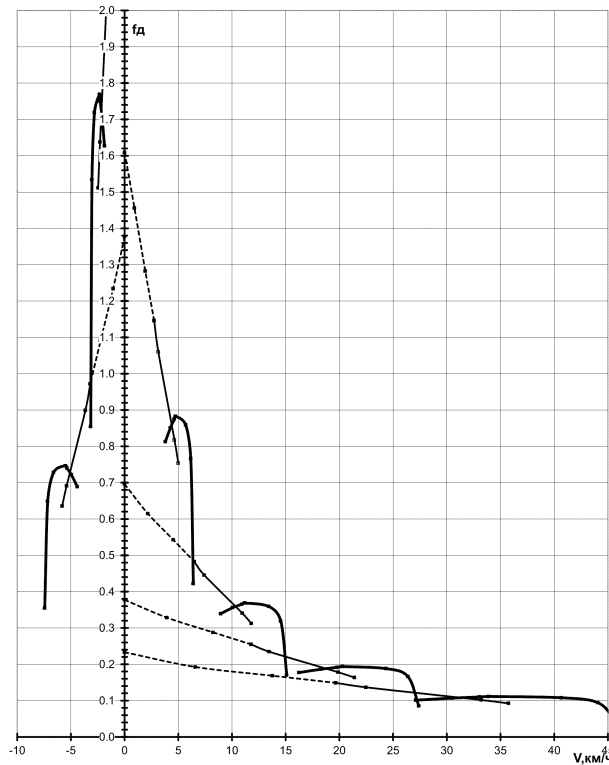


Рисунок 2 – Тяговая характеристика изделия на пониженной передаче делителя

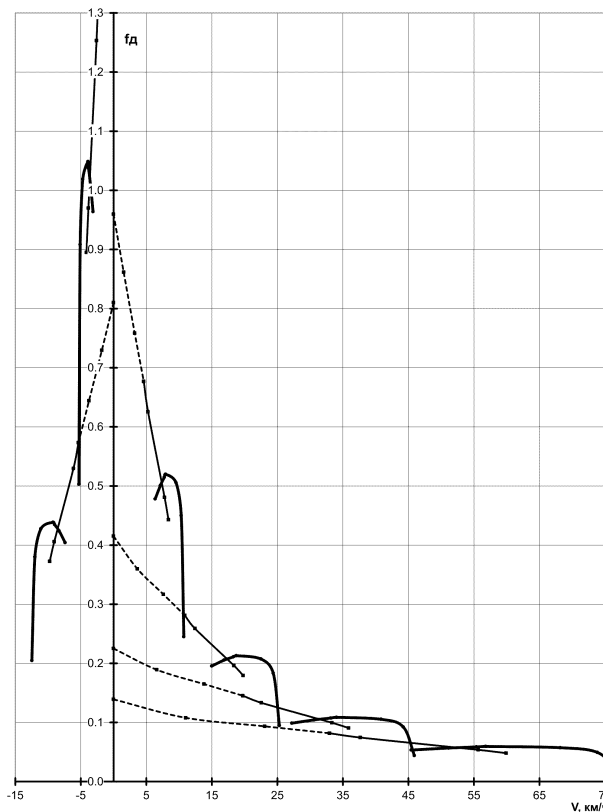


Рисунок 3 – Тяговая характеристика изделия на повышенной передаче делителя

Движение в повороте на 3 и 4 передаче КП по дорогам с асфальтобетонным покрытием ограничено полным заносом изделия. Кроме того, движение в данных условиях на 4 передаче частично ограничено мощностью двигателя.

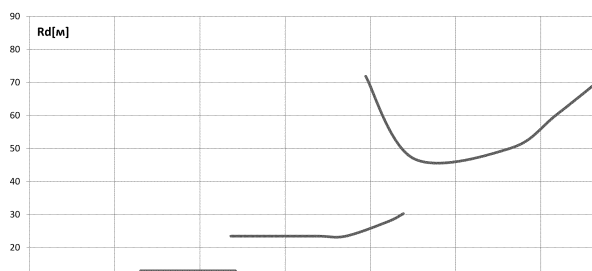


Рисунок 4 – Действительный радиус поворота (повышенная передача делителя, бетон)

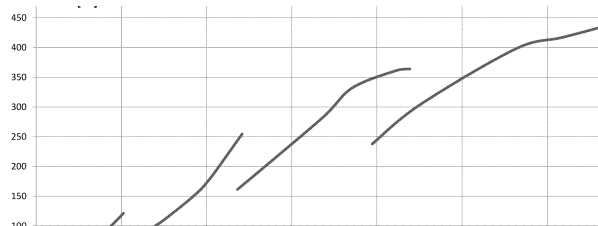


Рисунок 5 – Потребная мощность двигателя (повышенная передача делителя, бетон)

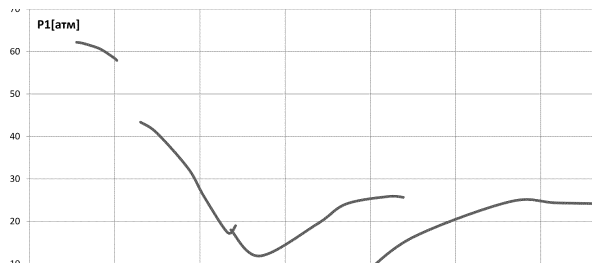


Рисунок 6 – Давление в ГОП МП (повышенная передача делителя, бетон)

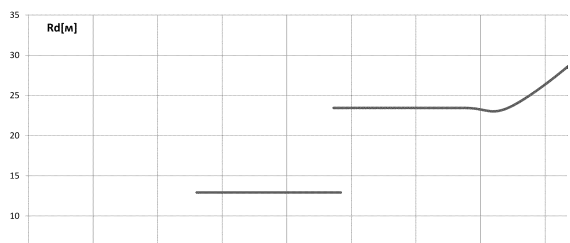


Рисунок 7 – Действительный радиус поворота (повышенная передача делителя, грунт)

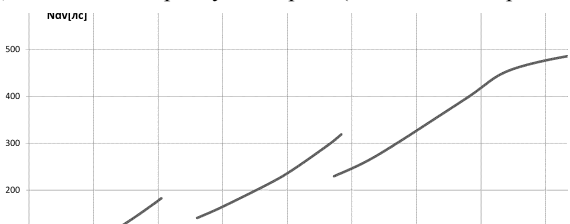


Рисунок 8 – Потребная мощность двигателя (повышенная передача делителя, грунт)

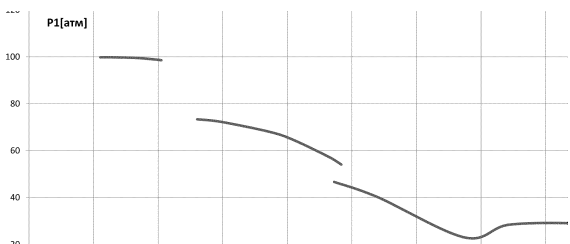


Рисунок 9 – Давление в ГОП МП (повышенная передача делителя, грунт)

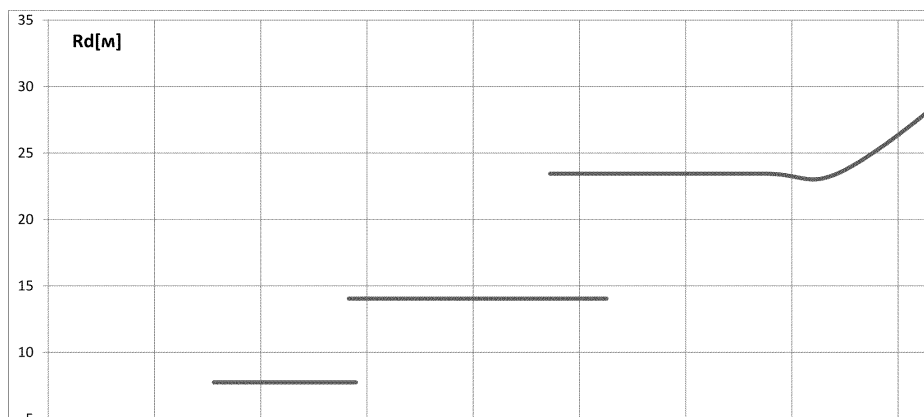


Рисунок 10 – Действительный радиус поворота (пониженная передача делителя, грунт)

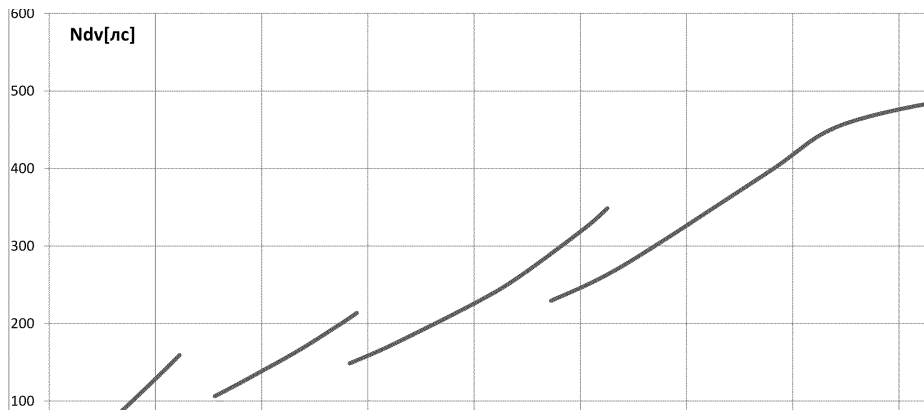


Рисунок 11 – Потребная мощность двигателя (пониженная передача делителя, грунт)

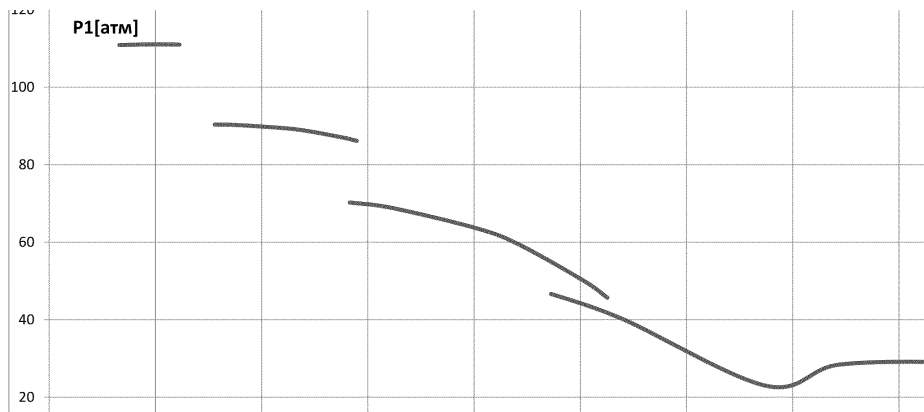


Рисунок 12 – Давление в ГОП МП (пониженная передача делителя, грунт)

При движении по грунтовой дороге на пониженной передаче делителя радиус поворота изделия ограничивается на 4-й передаче КП условием полного заноса.

**Выводы:**

1. Разработана трансмиссия для легкобронированной гусеничной машины, которая обладает малыми габаритами, может исполняться в виде единого блока, а также обеспечивает высокие характеристики подвижности и маневренности машины.
2. При работе ГТ в кратковременном режиме ( $\eta_{ГТ} < 0,8$ ) возможно получение скоростей как переднего так и заднего хода, близких к 1 км/ч. При блокированном ГТ максимальная скорость прямолинейного движения вперед составляет 73,8 км/ч.

3. Предельные углы подъема на повышенной передаче в делителе ограничены сцеплением и составляют 25,2 для асфальтированной дороги и 36,1 для грунтовой дороги.

4. Минимальный радиус поворота изделия при движении вперед составляет 3,28 м. Радиусы поворота изделия на высших передачах, как правило, ограничены по условию полного заноса изделия, которое зависит от сцепных свойств грунта.

#### Литература

1. Носов Н.А. Расчет и конструирование гусеничных машин. «Машиностроение», Л., 1972.
2. Красеньков В.И., Вашец А.Д. Проектирование планетарных механизмов транспортных машин. М., 1986.
3. Сергеев Л.В. Теория танка. Издание академии, М., 1973.
4. Забавников Н.А. Основы теории транспортных гусеничных машин. «Машиностроение», М., 1975.
5. Кудрявцев В.Н. Планетарные передачи. Справочник. «Машиностроение», Л., 1977.

#### Bibliography (transliterated)

1. Nosov N.A. Raschet i konstruirovaniye gusenichnykh mashin. «Mashinostroenie», L., 1972.
2. Krasnenkov V.I., Vashets A.D. Proektirovaniye planetarnykh mehanizmov transportnykh mashin. M., 1986.
3. Sergeev L.V. Teoriya tanka. Izdaniye akademii, M., 1973.
4. Zabavnikov N.A. Osnovyi teorii transportnykh gusenichnykh mashin. «Mashinostroenie», M., 1975.
5. Kudryavtsev V.N. Planetarnyie peredachi. Spravochnik. «Mashinostroenie», L., 1977.

УДК 623.525

Бутилін О.А., Толстолуцький В.О., Лізунов К.М., Журавльов С.В., Кошман В.О.

### **ПЕРСПЕКТИВНА СХЕМА ТРАНСМІСІЇ ДЛЯ ЛЕГКОБРОНЬОВАНОЇ ГУСЕНИЧНОЇ МАШИНИ**

У статті автори пропонують кінематичну схему до легкоброньованої гусеничної машини, яка, згідно з думкою авторів, охоплює більший обсяг завдань та краще відповідає сучасним вимогам.

Butilin A.A., Tolstolutskiy V.A., Lizunov K.M., Zhuravlev S.V., Koshman V.A.

### **PERSPECTIVE TRANSMISSION DIAGRAM FOR LIGHT ARMORED TRACKED VEHICLE**

In this paper the authors propose a kinematic diagram for light armored tracked vehicle, which, according to the authors, covers a larger of tasks and better meets modern requirements.

Власенко Д.В., Жадан В.А., Нефедов А.В., Угненко Д.Н.

## АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ГИДРОПНЕВМАТИЧЕСКИХ ПОДВЕСОК СОВРЕМЕННЫХ КОЛЕСНЫХ МАШИН. ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

### Постановка проблемы

В настоящее время просматривается четкая тенденция в требованиях, предъявляемых к вновь разрабатываемым и модернизируемым изделиям легкой бронированной техники (ЛБТ):

- повышение уровня защиты и, как следствие, увеличение массы;
- увеличение максимальных и средних скоростей движения на дорогах с различной интенсивностью дорожного воздействия;
- повышение эргономических показателей (особенно показателей, влияющих на утомляемость экипажа при движении изделия по пересеченной местности и на длительных маршах);
- повышение точности ведения огня «сходу».

Одним из путей в обеспечении этих требований на современных изделиях ЛБТ является применение гидропневматической подвески (ГПП), позволяющей регулировать характеристики подвески, величину дорожного просвета и хода подвесок с места механика водителя.

В тоже время в гражданском автомобилестроении все более широкое применение находят конструкции ГПП с интеллектуальными системами автоматического регулирования параметров системы поддрессирования в зависимости от текущих и пороговых значений колебаний корпуса. Данные конструкции позволяют наиболее оптимально регулировать (подстраивать) характеристики плавности хода под текущие дорожные условия.

### Анализ последних публикаций

Проведенным анализом литературных источников определено, что на серийно выпускаемых боевых колёсных машинах преобладают подвески с металлическим упругим элементом. Примерное отношение в применении между ГПП и металлическими упругими элементами на сегодняшнее время составляет 25 % и 75 % соответственно.

Серийно выпускаемые зарубежные боевые колёсные машины с ГПП:

- LAV-H (Канада), с колёсной формулой 8×8;
- VBTP-MR (Бразилия), с колёсной формулой 6×6;
- VBCI (Франция), с колёсной формулой 8×8;
- Freccia (Италия), с колёсной формулой 8×8;
- AMV (Финляндия), с колёсной формулой 8×8;
- Piranha IV и Piranha V (Швейцария), с колёсной формулой 8×8;
- VCR TT 2 (Алжир), с колёсной формулой 6×6;
- KW2 (Южная Корея), с колёсной формулой 8×8;
- RG 41 (Франция), с колёсной формулой 8×8.

На настоящее время существуют два типа подвесок – пассивного и активного исполнения.

Под термином «пассивная подвеска» подразумевается такая конструкция, которая не имеет возможности регулирования характеристик.

Под термином «активная подвеска» подразумевается такая конструкция, в которой могут изменяться (регулироваться) характеристики, что позволяет адаптировать машину под определённые условия эксплуатации.

В последнее время на машинах гражданского назначения также нашли применение активные ГПП с интеллектуальными системами, автоматически подстраивающими характеристики системы поддрессирования в зависимости от дорожных условий. В некоторых источниках такие подвески называют адаптивными.

Так во флагманских моделях ведущих мировых автомобилестроителей:

- Mercedes-Benz, Volkswagen, Opel, BMW, Audi (Германия);
- Toyota, Lexus (Япония);
- General Motors, Cadillac, Chevrolet (США);
- Hyundai (Корея),

интеллектуальные системы поддрессирования автоматически регулируют жесткость подвески, демпфирование амортизаторов, величину дорожного просвета, а также обеспечивают стабилизацию поперечной устойчивости.

### Цель работы

Определение основных тенденций развития систем поддресоривания ЛБТ, направленных на улучшение таких машинных характеристик как плавность хода, точность стрельбы сходу, безопасность и комфорт членов экипажа и десанта при длительном выполнении своих функций.

### Основная часть

На сегодняшний день на изделиях ЛБТ с активной системой поддресоривания регулируется величина дорожного просвета, а также придается требуемый крен, дифферент.

В системах поддресоривания передовых гражданских автомобилей наблюдается тенденция применения автоматического регулирования жесткости подвески, демпфирования амортизаторов, величины дорожного просвета, а также стабилизации поперечной устойчивости.

Учитывая это можно сформировать следующие требования к ГПП для перспективных изделий ЛБТ:

1. Тип – активная телескопическая пневматическая подвеска со встроенным гидроамортизатором.
2. Регулируемые параметры:
  - амортизатор (демпфирование, жёсткость подвески);
  - упругий элемент (жёсткость подвески, дорожный просвет);
  - стабилизация устойчивости корпуса машины при движении и стрельбе «сходу» (за счёт управления жёсткостью упругих элементов).

3. Способ управления системой (регулирование параметров):

- демпфирование амортизаторов автоматическое, индивидуально для каждого амортизатора;
- жёсткость подвески, дорожный просвет – мануальный выбор соответствующего режима;
- стабилизация поперечной устойчивости – автоматическая.

Автоматическая система регулирования параметров производится в зависимости от текущей скорости движения, значений амплитуд и перегрузок от датчиков, установленных в контрольных точках.

Для обеспечения высокой плавности хода ЛБТ посредством изменения демпфирующих и жесткостных характеристик системы поддресоривания в зависимости от текущих значений плавности хода (амплитуд колебаний корпуса ЛБТ, действующих перегрузок и скорости движения) требуется высокое быстродействие системы управления.

Одним из путей реализации высокого быстродействия системы можно рассмотреть применение магнитореологической жидкости (МРЖ) и электромагнитного дросселя (ЭД) в амортизаторе ГПП.

МРЖ представляет собой суспензию ферромагнитных, сверхмагнитных или парамагнитных частиц (размером порядка 10–20 нм) в жидкости-носителе (масляной основе). Благодаря наличию таких частиц в рабочей жидкости под воздействием магнитного поля увеличивается вязкость МРЖ. Таким образом, представляется возможность регулирования демпфирующих свойств амортизатора и приведенной жесткости ГПП.

После поступления электрических сигналов от датчиков регистрирующих текущее значение плавности хода на бортовой компьютер и их обработки выдается требуемый сигнал на катушку ЭД, вокруг неё возникает магнитное поле, которое способствует увеличению вязкости МРЖ в зоне протекания через дроссельное отверстие и как следствие изменяются демпфирующие и жесткостные свойства подвески.

Для оценки влияния изменения характеристик системы поддресоривания на плавность хода изделия проведем сравнительный расчетный анализ.

В качестве базового для проведения расчетного анализа взято изделие БТР-4 массой 20 400кг, схема подвески которого представлена на рисунке 1, в качестве альтернативного – тоже изделие БТР-4 снабженное управляемыми амортизаторами с электромагнитным дросселем.

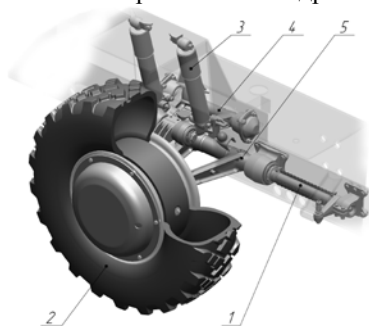


Рисунок 1 – Схема подвеска изделия БТР-4

- 1 – торсионный вал (металлический упругий элемент подвески); 2 – шина;  
3 – амортизатор; 4 – рычаг верхний; 5 – нижний рычаг

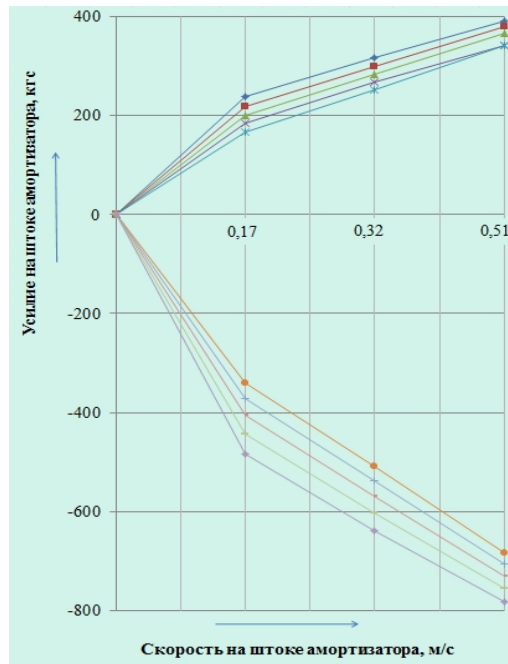


Рисунок 2 – Характеристики амортизатора БТР-4 в залежності від зміни в'язкості його робочої рідини

Залежність зміни характеристик амортизатора изд. БТР-4 від в'язкості його робочої рідини представлено на рисунку 3.

Оцінка плавності ходу проводилась по рівню середнькватичних відхилень (СКО) вертикальних прискорень [1] на місці механіка-водителя і екіпажа [2].

Для проведення розрахуку плавності ходу задано стандартну трасу (рис. 3) з висотою нерівності 0,14 м, довжиною нерівності 4 м і відстанню між нерівностями рівним  $L_T=1,5$  бази изделия. Моделювалось рухвання изделия в діапазоні швидкостей від 1 до 45 км/ч.

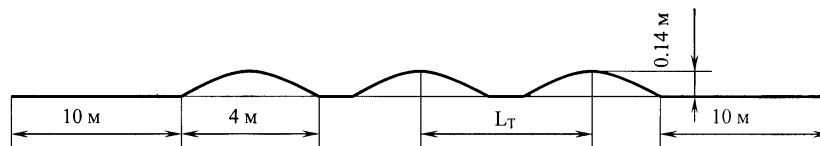


Рисунок 3 – Геометричні параметри траси

Результати розрахуку (СКО) вертикальних прискорень на місці механіка-водителя і екіпажа приведено на рисунках 4 і 5.



Рисунок 4 – СКО вертикальних прискорень на місці механіка-водителя/екіпажа при рухванні изделия БТР-4 по стандартній трасі

Аналізом результатів проведеного розрахуку плавності ходу изделия БТР-4 встановлено, що регулювання демпфуючих властивостей його амортизаторів дозволяє знизити рівень середнькватичних відхилень (СКО) вертикальних прискорень на місці механіка-водителя/екіпажа на 39 %.





Рисунок 5 – СКО вертикальних ускорень на місці механіка-водителя/екіпажа при русі изделия БТР-4 с управляемыми амортизаторами по стандартной трассе

### Выводы

Принимая во внимание тенденции развития систем поддресоривания гражданских автомобилей, а также результаты расчетного анализа показавшего повышение показателей плавности хода изделия БТР-4, имеющего регулируемые характеристики системы поддресоривания можно предположить, что основным направлением дальнейшего развития систем поддресоривания ЛБТ станет появление в их составе интеллектуальных систем регулирования (подстраивания) характеристик подвески в зависимости от текущих пороговых значений скорости движения, колебаний корпуса, перемещений подвесок.

### Литература

1. А.А. Хочатуров «Динамика систем Дорога-Шина-Автомобиль-Водитель.», М., «Машиностроение», 1976 г., 536 с.
2. Г.А. Смирнов «Теория движения колесных машин», М., «Машиностроение», 1981 г., 270 с.

### Bibliography (transliterated)

1. A.A. Hochaturov «Dinamika sistem Doroga-Shina-Avtomobil-Voditel.», M., «Mashinostroenie», 1976 g., 536 p.
2. G.A. Smirnov «Teoriya dvizheniya kolesnyih mashin», M., «Mashinostroenie», 1981 g., 270 p.

УДК 623.438.324

Власенко Д.В., Жадан В.А., Нефедов А.В., Угненко Д.М.

### АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ГІДРОПНЕВМАТИЧНИХ ПІДВІСОК СУЧАСНИХ КОЛІСНИХ МАШИН. ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ

Аналіз існуючих конструкцій ГПП та формування вимог до підвіски перспективних виробів ЛБТ. Оцінка впливу на плавність руху застосування амортизаторів з регульованою характеристикою.

Vlasenko D.V., Zhadan V.A., Nefedov A.V., Ugnenko D.N.

### ANALYSIS OF THE STRUCTURES OF HYDROPNEUMATIC SUSPENSION OF MODERN WHEELED VEHICLES. MAIN TRENDS OF DEVELOPMENT

Analysis of existing structures of HPS and formation of requirements for suspension of the perspective LAV products. Assessing the impact on smoothness of movement of the shock absorbers with adjustable characteristic application.

УДК 629.1.032.1

Возгрин Ю.В., Зарянов В.А., Золотуха В.Н., Кузьминский В.А., Лазурко А.В.

### СПОСОБЫ КАЧЕСТВЕННОГО УЛУЧШЕНИЯ ПУСКОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ТАНКОВ Т-84 И БМ «ОПЛОТ» В СЛУЧАЯХ ИХ ОСТАНОВА ПРИ ПРЕОДОЛЕНИИ БРОДА

**Актуальность темы.** Высокая маневренность танковых подразделений на пересеченной местности достигается не только за счет хороших скоростных качеств и управляемости при движении на суше, но также способностью быстро преодолевать водные преграды. В настоящее время существует три основных способа преодоления водных преград:

- с использованием специальных инженерных транспортных средств (паромов, мостоукладчиков, понтонных переправ);
- с применением штатного возимого оборудования подводного хождения по дну (воздухопитающих и выхлопных труб, водооткачивающих насосов, герметизирующих элементов);
- переправа вброд без подготовки с помощью входящего в состав моторно-трансмиссионного отделения (МТО) специального оборудования.

В первых двух случаях требуется дополнительное время на проведение подготовки переправы и развертывание инженерных средств, а также на установку съёмного оборудования на танки во втором случае.

В третьем случае дополнительной подготовки не требуется, глубина преодоления брода ограничивается высотой воздухозаборника моторно-трансмиссионной установки. Для танков Т-84 и БМ «ОПЛОТ», производимых на Украине, максимальная глубина преодолеваемого брода составляет 1,8 м, выпуск отработавших газов осуществляется непосредственно в воду.

В случае непредвиденного останова двигателя при преодолении танком брода для предотвращения попадания воды в цилиндры магистраль выпуска отработавших газов оборудована специальными тарельчатыми клапанами, закрывающимися под напором воды при отсутствии выхлопа. Таким образом, при проведении пуска двигателя под водой возникает дополнительное сопротивление в выпускной трассе, складывающееся из гидравлического сопротивления открытия тарельчатых клапанов в воде и давления от столба воды, прижимающего тарелки клапанов. Как показали проведенные ранее исследования [1], пуск двигателя в вышеуказанных условиях можно осуществить только при одновременном применении пуска электростартером и пневмопуска от баллонов со сжатым воздухом, причем такие комбинированные пуски уверенно происходят только до глубины 1,5 м, на глубинах 1,5...1,6 м они затруднены, а при более 1,6 м – маловероятны.

**Целью статьи** является анализ конструктивных решений улучшения пусковых качеств силовых установок танков Т-84 и БМ «ОПЛОТ», позволяющих производить пуски двигателя в случае его останова при преодолении брода глубиной до 1,8 м.

**Изложение основного материала.** В процессе предыдущих исследований пусковых качеств двухтактного танкового дизеля 6ТД-2 при повышенном противодавлении на выпуске было установлено, что увеличение сопротивления воздухопитающей трассы в связи с изменением её конфигурации в режиме «БРОД», когда воздух забирается через выдвигной патрубок (см. рис. 1), при пусковых частотах коленвалов двигателя  $n_{ДВ} = 300...350 \text{ мин}^{-1}$  практически не увеличивает разрежение воздуха на входе в двигатель. Поэтому основным фактором, затрудняющим проведение пуска под водой, является величина противодавления на выпуске  $P_{\text{вып}}$ , которая определяется выражением

$$\rho'_{\text{вых}} = \gamma_в \cdot (H_{БР} - h_{кл}) + \rho_{кл}, \quad (1)$$

где  $\gamma_в$  – удельный вес воды;  $\gamma_в = 9,81 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^3$ ;  $H_{БР}$  – глубина погружения танка (см. рис. 1), м;  $h_{кл}$  – высота расположения выпускных тарельчатых клапанов от уровня грунта, м;  $\rho_{кл}$  – максимальное противодавление на выпуске от сопротивления выпускных тарельчатых клапанов в начале пуска, Па.

Мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления  $P_{\text{вып}}$  при пусках под водой, определяется по формуле [ 2 ]:

$$N'_{\text{вых}} = \frac{\rho'_{\text{вых}} \cdot V_{л} \cdot n_{ДВ}}{450}, \quad (2)$$

где  $V_d$  — рабочий объём цилиндров (литраж) двигателя,  $m^3$ ;  $n_{ДВ}$  — число оборотов коленчатого вала на данном скоростном режиме  $мин^{-1}$ ;  $\rho'_{вых}$  — дополнительное противодействие выпуску, обусловленное его выходом в воду и перемещением выпускных тарельчатых клапанов, Па.

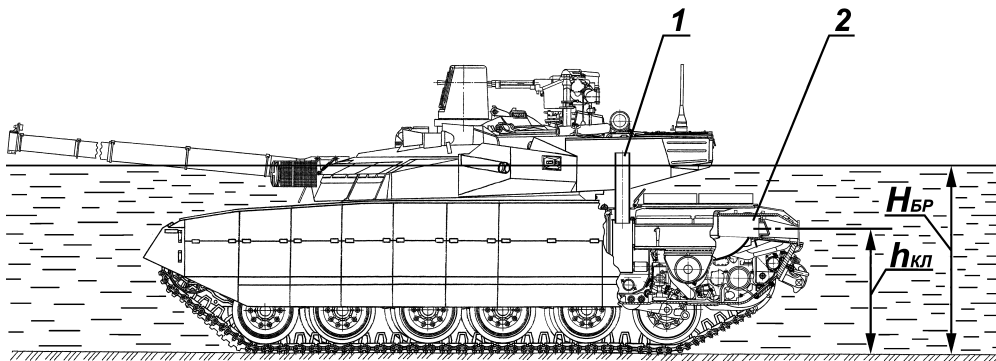


Рисунок 1 – Расположение воздухозаборной и выпускной магистралей при преодолении брода танком БМ «ОПЛОТ»  
1 – воздухозаборный выдвижной патрубок; 2 – газоход

В двухтактных оппозитных дизелях семейства 5ТД и 6ТД время протекания процессов теплообмена ограничено периодами открытого состояния выпускных и впускных окон при движении поршня вблизи наружной мертвой точки. Для того, чтобы в условиях ограниченного времени и отсутствия насосного действия поршня обеспечить удовлетворительное протекание процессов газообмена, наполнение и очистка цилиндра двухтактного двигателя осуществляются воздухом, предварительно сжатым нагнетателем. Наполнение цилиндра свежим зарядом при одновременном вытеснении отработавших газов называется продувкой цилиндра, которая характеризуется коэффициентом наполнения цилиндров двигателя  $\eta_V$ . Данный коэффициент является отношением действительного количества свежего заряда, поступившего в цилиндр двигателя, к количеству свежего заряда, которое может поступить в рабочий объём цилиндра двигателя при нормальных условиях окружающей среды [3]:

$$\eta_V = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{\rho_a}{\rho_k} \cdot \frac{T_k}{T_a(1 + \gamma_{ост})}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon$  – степень сжатия;  $\rho_a$  – давление свежего заряда в конце впуска, Па;  $\rho_k$  – давление свежего заряда на выходе из нагнетателя, Па;  $T_a$  – температура свежего заряда в конце впуска, °С;  $T_k$  – температура свежего заряда на выходе из нагнетателя, °С;  $\gamma_{ост}$  – коэффициент остаточных газов.

Как следует из уравнения, величина коэффициента наполнения  $\eta_V$ , качественно характеризующего процесс впуска, обратно пропорциональна коэффициенту остаточных газов  $\gamma_{ост}$ . Действительно, процесс начала воспламенения топливовоздушной смеси в цилиндрах при пусках под водой затрудняется из-за нарушения образования нужной пропорции горючей смеси по причине увеличения доли остаточных газов и ухудшения продувки цилиндров вследствие большого противодействия на выпуске.

Поэтому основным направлением улучшения качества пусков при глубине брода более 1,5 м является создание более интенсивной продувки цилиндров для обеспечения в начале пуска лучшего горения топливовоздушной смеси. Это в свою очередь приведет к более высокому давлению на выпуске, что будет способствовать открытию тарельчатых клапанов и продавливанию выпускными газами давления от столба воды над газоходом; иначе говоря, должно выполняться условие:

$$P_r > P_{вып}, \quad (4)$$

где  $P_r$  – давление выпускных газов на выходе из газохода, МПа;  $P_{вып}$  – противодействие на выпуске, определяемое выражением, МПа (1).

Повышения интенсивности продувки можно достичь увеличением расхода воздуха, вдуваемого в цилиндры при пуске, за счет:

- увеличения частоты вращения крыльчатки нагнетателя при пуске;

- увеличением скорости перемещения поршней в цилиндрах;
- увеличением расхода воздуха за счет использования пневмопуска от баллонов со сжатым воздухом.

Первые два способа связаны с увеличением частоты вращения вала электростартера  $n_{ст}$ , за счет чего в дизелях 5ТД и 6ТД происходит одновременное увеличение частот вращения крыльчатки нагнетателя и коленвалов. Повышение частоты вращения вала электростартера  $n_{ст}$  ограничивается максимальной зарядной ёмкостью штатных аккумуляторных батарей в существующей электросхеме пускового устройства.

Третий способ более перспективен, так как при увеличении проходных сечений пневмотрасс и количества баллонов можно добиться в начале пуска более интенсивного поступления воздуха в цилиндры, лучшего возгорания топливовоздушной смеси и, как следствие, более качественных смесеобразования и продувки цилиндров. Это приведет к более резкому нарастанию давления выпускных газов, способному открыть тарельчатые клапаны и обеспечить выход отработавших газов в воду.

Как уже отмечалось, согласно ранее проведенным исследованиям [1], пуск двигателя под водой можно осуществить только комбинированным способом, так как при одновременном применении пневмопуска с электропуском ещё больше увеличиваются частоты вращения коленвалов и крыльчатки нагнетателя, в результате чего улучшается качество продувки и интенсивность самого пуска.

Для изучения факторов, влияющих на улучшение качества пуска под водой, в Государственном предприятии «Харьковское конструкторское бюро по машиностроению им. А.А. Морозова» были проведены испытания с имитацией условий пуска двигателя после внезапного останова при преодолении брода, для чего (см. рис. 2):

- вместо двухтарельчатого клапана ресивера в газоходе установлена технологическая заглушка;
- забор воздуха в двигатель производился через штатный выдвижной патрубок б воздухозаборного устройства, входящего в состав моторно-трансмиссионной установки;
- к фланцу обводного газохода 2 был подсоединен технологический бак 1 с переменным уровнем воды.

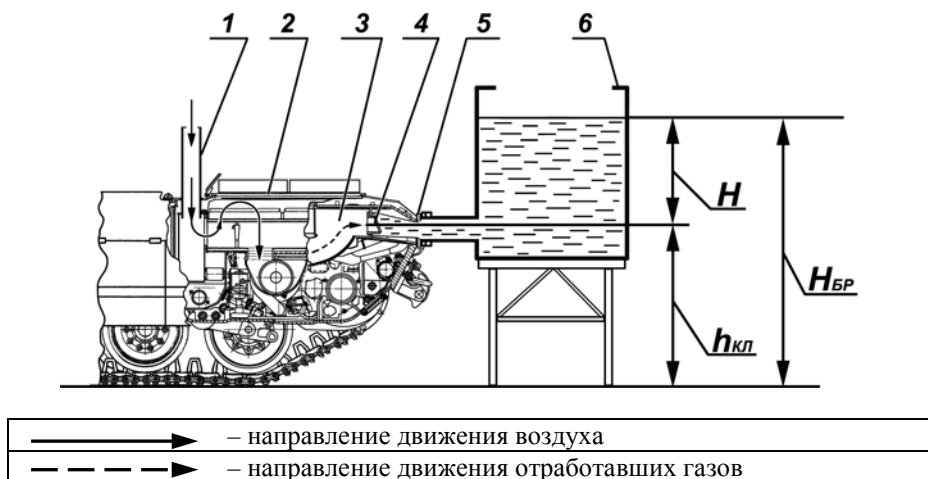


Рисунок 2 – Имитация давления столба воды на элементы обводного газохода танка БМ «ОПЛОТ»  
 1 – выдвижной воздухозаборный патрубок; 2 – крыша моторно-трансмиссионного отделения; 3 – обводной газоход;  
 4 – тарельчатый клапан обводного газохода; 5 – фланец обводного газохода; 6 – технологический бак.

Для исключения влияния на результаты испытаний изменяющихся при эксплуатации характерных параметров систем силовой установки перед всеми пусками соблюдались следующие условия:

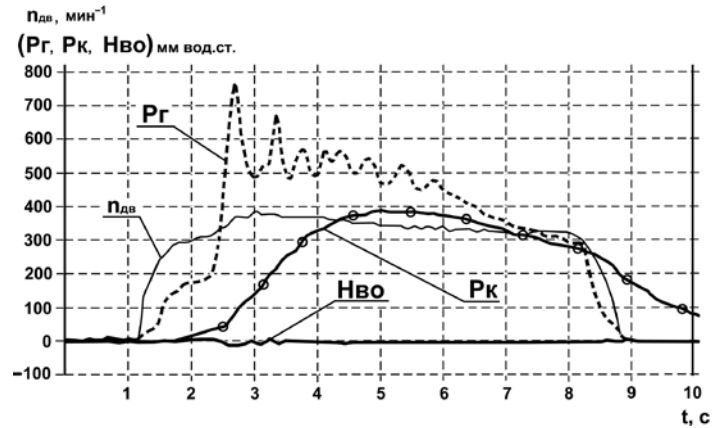
- обеспечивался одинаковый уровень напряжения в электрической сети танка при прокрутках и пусках, для чего аккумуляторные батареи были подключены к внешнему пуско-зарядному устройству;
- в начале каждого опыта обеспечивалось начальное давление в системе сжатого воздуха 145 МПа.

При проведении измерений в ходе испытаний опрашивались следующие наиболее важные для проводимой оценки параметры:

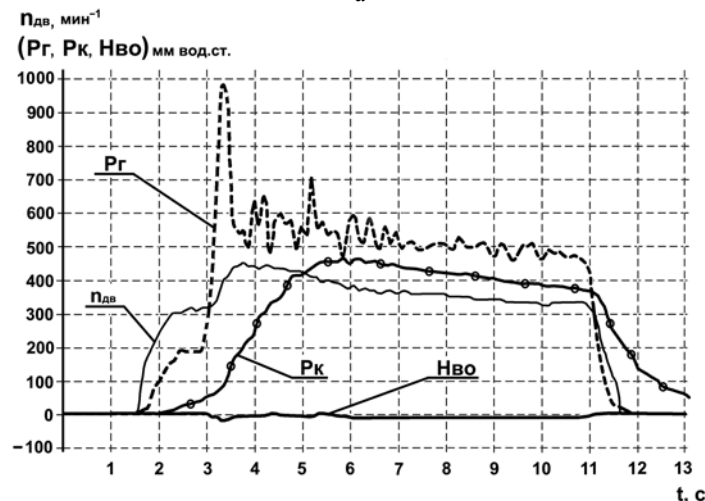
- частота вращения вала двигателя ( $n_{дв}$ );
- измеряемое в воздухоочистителе разрежение воздуха на входе в двигатель ( $H_{во}$ );
- давление воздуха после нагнетателя двигателя ( $P_к$ );
- давление выпускных газов в обводном газоходе ( $P_г$ ).

В последующих выкладках для удобства сопоставления результатов измерений с уровнем воды в технологическом баке Н, давление выпускных газов  $P_g$  и давление воздуха после нагнетателя  $P_k$  будут приводиться в размерности «мм водяного столба».

При уровне воды в технологическом баке  $H=500$ мм (измеряемом от осевой линии обводного газохода), соответствующем глубине брода 1,8 м, произведены две прокрутки коленвалов двигателя комбинированным способом без подачи топлива с использованием сжатого воздуха из двух и четырех 5-литровых баллонов, при этом в обоих случаях на поверхности воды в баке наблюдался выход воздуха вследствие превышения величины давления  $P_r$  в обводном газоходе значения 500 мм вод. столба.



а



б

Рисунок 3 – Изменение параметров при прокрутках коленвалов двигателя комбинированным способом с применением:

а – двух баллонов со сжатым воздухом; б – четырех баллонов со сжатым воздухом

Действительно, как следует из результатов двух данных опытов, приведенных на рис. 3, пики величины  $P_r$  в первом опыте (а) с использованием двух баллонов в начале прокрутки достигали значений 760...550 мм вод. столба, во втором (б) с использованием четырех баллонов – 900...600 мм вод. столба, что превышает уровень воды в баке 500 мм. Также видно, что частота вращения коленвалов двигателя  $n_{дв}$  в начале прокруток только при работе электростартера составляла примерно 300  $мин^{-1}$ , а после включения воздухопуска и подачи сжатого воздуха в цилиндры двигателя от двух баллонов  $n_{дв}$  в первом опыте (а) возросла до 383  $мин^{-1}$ , а от четырех баллонов во втором опыте (б) увеличилась до 450  $мин^{-1}$ .

Можно предположить, что использование при прокрутке комбинированным способом четырех баллонов (рис. 3б) вместо двух штатных (рис. 3а) обеспечивает более высокое значение следующих параметров:

– при прокрутке с использованием четырех баллонов частота вращения коленвалов двигателя  $n_{дв}$  достигла значения 450  $мин^{-1}$ , а при прокрутке с двумя баллонами  $n_{дв}$  составляла 383  $мин^{-1}$ ;

- величина начального пикового значення тиску вихідних газів в обводному газозоді  $P_r$  при використанні чотирьох баллонів була вище на 230 мм вод. ст. і складала 990 мм вод. ст.
- максимальне значення тиску після нагнетателя  $P_k$  з використанням чотирьох баллонів також було вище на 70 мм вод. ст. і складало 460 мм вод. ст.

Таким чином, зі порівняння результатів двох даних експериментів очевидний той факт, що використання чотирьох баллонів в системі повітряного пуску замість двох штатних буде забезпечувати більш інтенсивний комбінований пуск двигача.

При проведенні подальших досліджень було проведено ряд пусків двигача при імітації глибини броду 1,8 м з метою відпрацювання послідовності включення пневмопуску і електропуску при використанні комбінованого способу пуску двигача, забезпечуючого надійний запуск двигача в режимі «Брод». В ході проведеної серії експериментів встановлено, що найбільш оптимальний алгоритм пуску двигача комбінованим способом, коли після натискання на кнопку «Стартер» відбувається секундна затримка натискання на тумблер «Воздухопуск», причому час утримання даного тумблера повинен становити не більше 2...3 секунди.

На рис. 4 наведено результати вимірювань параметрів при одному з комбінованих пусків двигача, виконаних за даним алгоритмом при імітації глибини броду 1,8 м. Час пуску становило 3,5 секунди до значення мінімально-стійкої частоти обертання коленвалів  $800 \text{ мин}^{-1}$ , пуск проходив рівномірно і практично без коливань параметрів  $n_{\text{дв}}$  і  $P_k$ . Слід зауважити, що при використанні тільки двох штатних баллонів повітряного пуску успішний пуск двигача здійснюється на глибинах броду не більше 1,6 м [1]. В даному випадку отриманий приріст глибини броду в 0,2 м дуже важливий, оскільки максимальна глибина подолюваного броду для танків Т-84 і БМ «ОПЛОТ» регламентована значенням 1,8 м, і саме на цій глибині в разі аварійного зупинки двигача тепер можна впевнено здійснити його пуск з використанням додаткових двох баллонів стиснутого повітря.

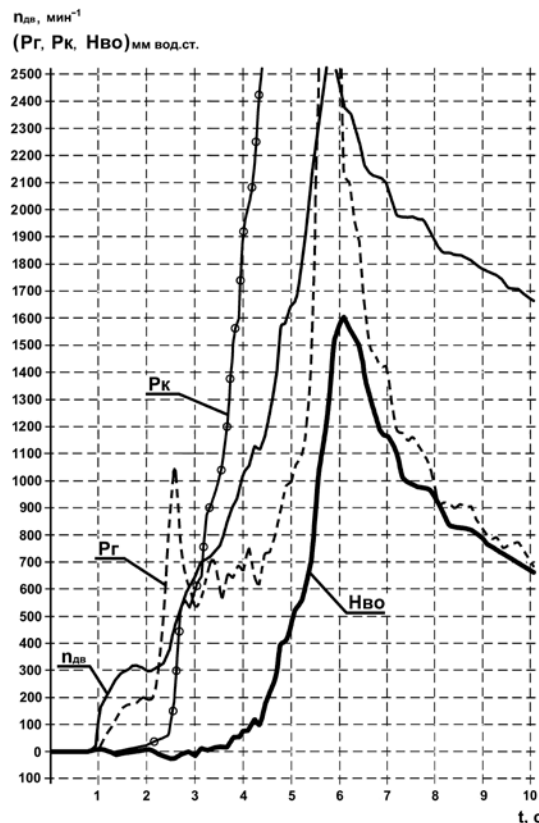


Рисунок 4 – Змінення параметрів при комбінованому пуску двигача з імітацією глибини броду 1,8 м при використанні чотирьох баллонів повітряного пуску

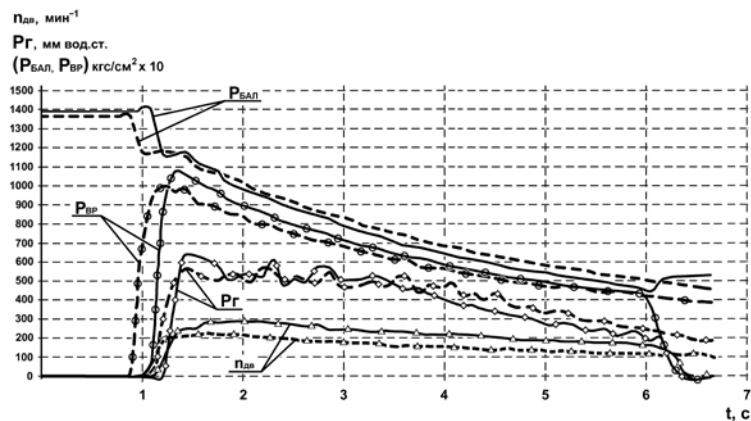
З метою підвищення гарантованої надійності пуску і ще більшого збільшення швидкості наповнення циліндрів двигача стиснутого повітря при проведенні повітряного пуску були розглянуті варіанти зменшення опортів елементів схеми самої системи повітряного пуску. В частині, для зменшення опортів, створюваного штатним електропневмоклапаном (ЕПК) повітряного пуску з

входним и выходным отверстиями диаметром 8 мм, вместо него устанавливался воздушный клапан с ручным приводом, входным и выходным отверстиями диаметром 12 мм и расширенным проходным сечением.

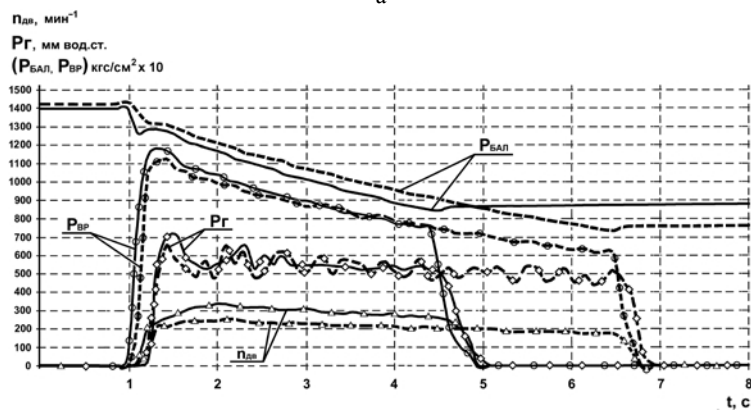
При штатном варианте воздушной системы с ЭПК и после сборки опытного варианта с воздушным клапаном были произведены прокрутки коленвалов двигателя воздухопуском без подачи топлива при имитации брода 1,8 м с использованием двух и четырех баллонов. При проведении данных опытов производились измерения следующих параметров:

- частоты вращения вала двигателя ( $n_{дв}$ );
- давления сжатого воздуха на выходе из баллонов ( $P_{бал}$ );
- давления сжатого воздуха перед воздухораспределителем подачи сжатого воздуха в цилиндры двигателя ( $P_{вр}$ );
- давления выпускных газов в обводном газоходе ( $P_{г}$ ).

Результаты данных опытов приведены на рис. 5, из них следует, что перепад давления в воздушной системе между точками замеров на выходе из баллонов и перед воздухораспределителем, равный  $\Delta P = P_{бал} - P_{вр}$ , в начальный момент воздухопуска при использовании воздушного клапана меньше и составляет 11 кгс/см<sup>2</sup>, а при использовании штатного ЭПК составляет 16 кгс/см<sup>2</sup> вследствие повышенного сопротивления последнего. Соответственно, при использовании воздушного клапана с меньшим сопротивлением больше начальные значения  $P_{вр}$  перед воздухораспределителем на 6...8 кгс/см<sup>2</sup> и, как следствие выше частота вращения коленвалов примерно на 60 мин<sup>-1</sup> по сравнению с установкой ЭПК. В результате величина давления  $P_{г}$ , в выпускном тракте в начальный момент пуска при первом открытии клапана обводного газохода также выше на 50...70 мм вод. столба по сравнению со штатным вариантом, что в целом свидетельствует об улучшении качества воздухопуска.



а



б

- — — — — характеристики в штатном варианте – установлен ЭПК с входным и выходным отверстиями диаметром 8 мм
- - - - - характеристики в опытном варианте – установлен клапан с ручным управлением с входным и выходным отверстиями диаметром 12 мм и расширенным проходным сечением

Рисунок 5 – Изменение параметров воздушной системы при прокрутках коленвалов двигателя воздухопуском с имитацией брода глубиной 1,8 м и использованием:

а – двух баллонов со сжатым воздухом; б – четырех баллонов со сжатым воздухом

**Выводы.** Из приведенных в данной работе теоретических выкладок и результатов предыдущих испытаний следует, что в случае аварийного останова двигателя танка Т-84 или БМ «ОПЛОТ» при преодолении брода существует возможность произвести пуск двигателя комбинированным способом при штатном исполнении воздушной системы (с двумя баллонами и электропневмоклапаном) только при глубине брода не более 1,5...1,6 м. В ходе опытных работ и исследований установлено, что для проведения успешного комбинированного пуска при максимально допустимой глубине брода 1,8 м для данных танков необходимо осуществить конструкторские доработки воздушной системы по установке двух дополнительных баллонов, а также применить электропневмоклапан с увеличенным проходным сечением по сравнению со штатным.

При проведении комбинированных пусков под водой большое значение имеет алгоритм включения воздухопуска и электропуска на шите механика-водителя: наиболее стабильны пуски, когда после нажатия на кнопку «Стартер» с секундной задержкой осуществляется нажатие на тумблер «Воздухопуск» с его последующим удержанием в интервале 2...3 секунды. Данная очередность включений основана на существующей циклограмме двухступенчатого включения стартера и сложных процессах продувки, образования горючей топливо-воздушной смеси, её возгорания и выпуска отработавших газов, протекающих в цилиндрах двухтактных дизелей типа 6ТД-2 при пусках.

#### Литература

1. Вакуленко В.В., Возгрин Ю.В., Иванов Ю.П., Кузьминский В.А., Лазурко А.В. «Исследование пусков двигателя с повышенным противодавлением на выпуске». «Механіка та машинобудування», – 2011, № 1, с. 73–82.
2. Рязанцев Н.К. Конструкция форсированных двигателей наземных транспортных машин. Учебное пособие. Часть 2. – Харьков: ІСДО, 1999.– 388 с.
3. Марченко А.П., Рязанцев Н.К., Шеховцов А.Ф. «Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т. 1. Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин»/ За ред. проф. А.П. Марченка та засл. діяча науки України проф. А.Ф. Шеховцова. – Харків, Прапор, 2004.– 384 с.

#### Bibliography (transliterated)

1. Vakulenko V.V., Vozgrin Yu.V., Ivanov Yu.P., Kuzminskiy V.A., Lazurko A.V. «Issledovanie puskov dvigatelya s povyishennyim protivodavleniem na vyipuske». «Mehanika ta mashinobuduvannya», – 2011, # 1, p. 73–82.
2. Ryazantsev N.K. Konstruktsiya forsirovannyih dvigateley nazemnyih transportnyih mashin. Uchebnoe posobie. Chast 2. – Harkov: ISDO, 1999.– 388 p.
3. Marchenko A.P., Ryazantsev N.K., Shehovtsov A.F. «Dviguni vnutrishnogo zgoryannya: Seriya pidruchnikiv u 6 tomah. T. 1. Rozrobka konstruktsiy forsovanih dviguniv nazemnyih transportnih mashin». Za red. prof. A.P. Marchenka ta zasl. diyacha nauki Ukrayini prof. A.F. Shehovtsova. – Harkiv, Prapor, 2004.– 384 p.

УДК 629.1.032.1

Возгрин Ю.В., Зарянов В.А., Золотуха В.М., Кузьмінський В.А., Лазурко О.В.

#### **СПОСОБИ ЯКІСНОГО ПОЛІПШЕННЯ ПУСКІВ ДВИГУНІВ ТАНКІВ Т-84 И БМ «ОПЛОТ» У ВИПАДКАХ ЇХ ЗУПИНКИ ПРИ ПОДОЛАННІ БРОДУ**

В статті проведено теоретичне та експериментальне дослідження способів поліпшення пуску двигуна у випадку його зупинки при подоланні броду.

За результатами досліджень визначені оптимальні шляхи для розробки і подальшого впровадження конструктивних заходів поліпшення пускових характеристик двигуна при подоланні броду.

Vozgrin Yu.V., V.A. Zarianov, Zolotuha V.N., Kuzminsky V.A., Lazurko O.V.

#### **METHODS FOR QUALITATIVE IMPROVEMENT OF STARTING THE ENGINES OF T-84 AND BM «OPLLOT» TANKS IN CASES OF THEIR SHUTDOWN WHEN FORDING**

Article gives the theoretical and experimental investigation of methods for qualitative improvement of starting the engine in cases of its shutdown when fording.

Determined on the basis of investigation results are optimum ways of development and further implementation of meaningful measures to improve the engine starting characteristics when fording.



УДК 621.384.3

Глебов В.В., Роленко С.А.

## СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ АКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ

**Постановка проблемы.** Успех защиты танков и других боевых бронированных машин от средств поражения в большой степени зависит от обнаружения последних, предупреждения об их применении и обеспечения эффективного противодействия. В идеале, экипаж должен своевременно обнаружить угрозу и нейтрализовать её. Если это невозможно, то предупреждение о потенциальной угрозе обеспечивает время для принятия контрмер.

В ведущих бронетанкостроительных странах мира ведутся работы по созданию комплексов / систем активной защиты (КАЗ / САЗ) основных боевых танков (ОБТ) и боевых бронированных машин (ББМ). Эти системы должны обеспечивать поражение на подлете к боевым машинам противотанковых управляемых ракет (ПТУР), самоприцеливающихся и самонаводящихся боевых элементов артиллерийских и авиационных боеприпасов, кумулятивных снарядов и выстрелов ручных противотанковых гранатометов (РПГ). Создание эффективных систем обнаружения КАЗ является актуальной проблемой.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Аспекты развития этого направления защиты находят свое отражение в различных источниках. Публикации посвящены описанию принципов действия комплексов и их составных элементов [1–3], характеристикам отдельных комплексов [4–9], состоянию работ по данному направлению в различных странах [10–12] и т.д.

Средством воздействия КАЗ на подлетающий боеприпас является боевая часть системы поражения. Боевая часть должна обеспечить:

- высокую скорость доставки в точку взрыва;
- создание плотного облака высокоскоростных осколков с прогнозируемыми размерами.

Вероятность поражения атакующего средства  $P(A)$  может быть представлена следующим выражением [13]:

$$P(A) = \iint G_0(y, z) \cdot f_1(y, z) \cdot f_3(y, z) dydz, \quad (1)$$

где  $G_0(y, z)$  – условный координатный закон поражения;  $f_1(y, z)$  – закон рассеяния / ошибок наведения противотанковых средств (ПТС) на защищаемый объект;  $f_3(y, z)$  – плотность вероятности срабатывания системы обнаружения в зависимости от ошибок наведения атакующего средства/боеприпаса.

Активной защите танков посвящены работы Григоряна В.А. [14].

Системы обнаружения, управления и поражения могут быть как в раздельном исполнении, так и объединенными в различных сочетаниях в модули, количество которых зависит от компоновки КАЗ на защищаемом объекте.

**Целью статьи** является анализ систем обнаружения комплексов активной защиты.

**Основная часть.** В настоящее время метод построения комплексов активной защиты определяется их алгоритмом работы – автоматическое обнаружение приближающегося боеприпаса, слежение за ним, определение скорости и траектории полета, расчет времени реагирования, пуск средства воздействия и его инициирование (рис. 1).

Данные о наиболее отработанных и прошедших испытания в составе объектов системах обнаружения приведены ниже.

*КАЗ AWiSS компании DIEHL.* Используется миллиметровый радиолокационный датчик. Датчики обнаруживают цель на расстоянии 75 м. Радиолокационная станция (РЛС) поиска и сопровождения (радиолокатор обнаружения и слежения) работают в КА-диапазоне.

*КАЗ SPATEM компании GIAT.* Нахождение угрозы происходит на дистанциях свыше 50 метров. Идентификации цели на удалении до 50 м при помощи инфракрасных и электромагнитных датчиков.

*КАЗ APS Iron Fist компании IMI.* Радиолокатор обнаруживает потенциальную угрозу и передает данные о дистанции и траектории полета снаряда в систему управления огнём (СУО). Используется радиолокационный (РЛ) сенсор, разработанный компанией IAI-Нта и дополнительный пассивный инфракрасный (ИК) детектор, разработанный компанией Vbit/Elisra. Компания RADA Electronic Systems предлагает использовать свой радар RPS-10

КАЗ Trophy компаній Rafael u Israel Aircraft Industries. РЛС веде пошук і обнаруження средства/средств нападения и начинае сопровождение лишь в том случае, если при проведенном расчете ожидается попадание в машину (четыре антенны, размещенные на передней и кормовой частях и бортах платформы, и обеспечивающие обзор в секторе 360). РЛС обнаружения и сопровождения целей с радиолокационными датчиками (фазированные антенные решетки) работает в миллиметровом диапазоне длин волн.

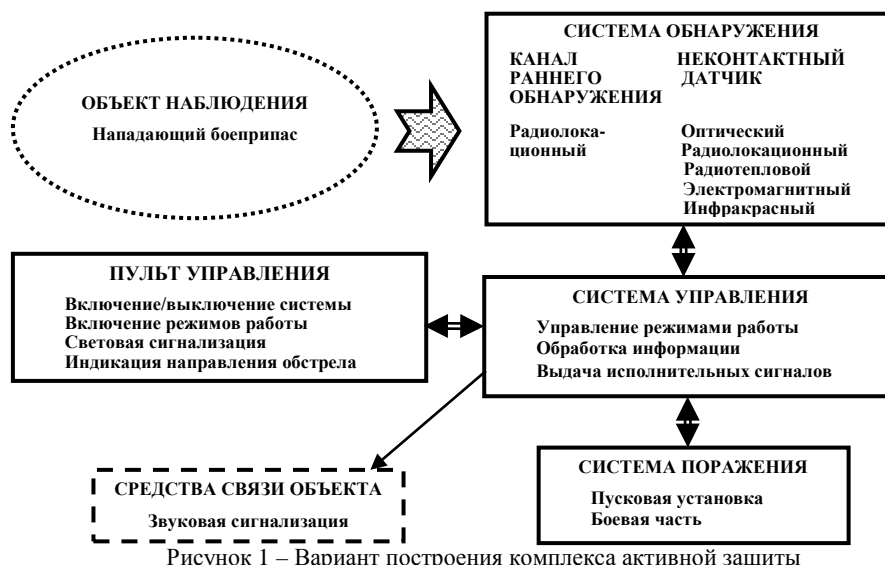


Рисунок 1 – Вариант построения комплекса активной защиты



Рисунок 2 – Принцип действия КАЗ Trophy

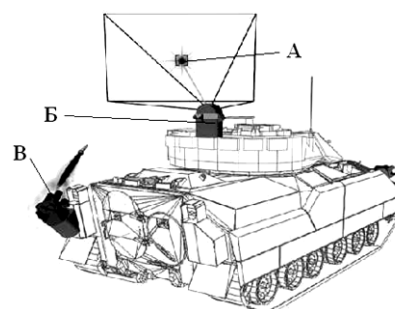


Рисунок 3 – КАЗ SLID:  
А – атакующее средство, Б – система обнаружения, В – система поражения

Зона защиты, град: – по горизонтали 360;  
– по вертикали от -16 до +55.

Максимальная дальность обнаружения подлетающих боеприпасов, м до 1400.

КАЗ Quick Kill компания Raytheon. РЛС обнаружения и сопровождения целей миллиметрового диапазон длин волн - твердотельные, многофункциональные радиолокаторы с фазированными антенными решетками (ФАР) MFRFS (Multi-Function Radio Frequency System).

Зона защиты, град: – по горизонтали 360;  
– в верхней полусфере 180.

Максимальная дальность обнаружения подлетающих боеприпасов, м до 1600.

КАЗ SLID на конкурсной основе конкурс компаний Raytheon u Rockwell. Обнаружение подлетающего боеприпаса осуществляется на дальности около 250 метров. Защитный снаряд системы SLID представляет собой автономный аппарат-перехватчик. Боеприпас имеет лазерную систему наведения на конечном участке. При этом:

– для обнаружения вспышки выстрела в проекте компании Raytheon используется ультрафиолетовый (УФ) датчик Система обнаружения подлетающих боеприпасов – пассивная, используются ИК датчики обнаружения. Сопровождение подлетающего снаряда осуществляется с помощью РЛС миллиметрового диапазона;

– обнаружение и сопровождение цели в проекте компании Rockwell осуществляется с помощью ИК датчика.

*КАЗ CICS.* Для обнаружения атакующего боеприпаса используются пассивные датчики (CICM).

*КАЗ FCLAS.* Обнаружение подлетающего боеприпаса осуществляется РЛС. При приближении угрожающего объекта выстреливается антиснаряд, на котором находятся РЛ датчики подрыва, работающие в миллиметровом диапазоне.

*КАЗ Scudo компании Oto Melara.* Для идентификации подлетающих управляемых или неуправляемых ракет используется активная РЛС непрерывного излучения X-диапазона длин волн, в которую входят передающая и четыре приемные антенны.

*КАЗ компании Vofors.* Подлетающий боеприпас поражается на расстоянии до 20 м 90...100-мм снарядом с датчиком цели, способным обнаруживать цель на дальности до 10...20 м.

*LEDS 150 фирмы Saab Avitronics.* Комплект датчиков, выявляющих угрозу, содержит РЛС миллиметрового диапазона и тепловизионные датчики. Они объединены в блок MCTS 150 (система подтверждения типа вооружения и сопровождения). Два блока MCTS 150 обеспечивают взаимное перекрытие по азимуту  $360^{\circ}$  и от  $(-15$  до  $+45)^{\circ}$  по вертикали.

Система дальнего радиуса действия LEDES 300 содержит блоки MCTS-300 и может обнаруживать угрозы на расстоянии 1000 м и более.

*КАЗ KAPS компании ADD.* Дальность обнаружения и определения снарядов и противотанковых ракет – до 150 м. Работа системы основана на применении трехкоординатной радиолокации, а также термовизоров (так в источнике). Обнаружив цель, система сопровождает её.

*КАЗ "Дрозд".* На дальности 330 м РЛС обнаруживает атакующий противотанковый боеприпас. Если боеприпас летит в контур танка, то с дальности около 130 м РЛС переходит в режим сопровождения. Используются простейшие радиолокационные датчики миллиметрового диапазона. Фильтры датчиков обеспечивают селекцию целей, движущихся со скоростями, типичными для ПТУР.

*КАЗ "Арена" и "Арена-Э", Коломенское КБ машиностроения.* РЛС непрерывного действия (многофункциональная с "мгновенным" обзором пространства во всем защищаемом секторе) обнаруживает цель, движущуюся с характерной для ПТУР скоростью. После анализа полученной информации, если вероятность попадания данного ПТУР в танк высока, РЛС автоматически переводится в режим сопровождения обнаружение и сопровождение целей.

Дальность обнаружения подлетающих целей, м – 50.

Дальность до цели при выдаче команды на поражение, м – 7,8–10,06.

Если расчетная траектория ПТУР не пересекается с траекторией движения танка, то РЛС возвращается в режим обнаружения целей.

*КАЗ "Заслон" ГП "БЦКРТ "Микротек".* РЛС обнаружения цели, работающая в миллиметровом диапазоне, находится в самом боеприпасе и непрерывно излучает сигнал на дистанцию приблизительно 2–2,5 м.

Таким образом, наиболее эффективными в настоящее время являются системы обнаружения и сопровождения, основанные на использовании датчиков/приёмников с применением активной радиолокации в миллиметровом диапазоне электромагнитного излучения.

В радиолокационном диапазоне дальность действия системы поиска (разведки) зависит не только от чувствительности приемника системы обнаружения, но и от характеристик работающих радиолокационных средств – импульсной мощности передатчика  $P_{ц}$  и коэффициента усиления передающей антенны  $G_{ц}$  [15, 16].



Рисунок 4 – КА3 LEDES 150



Рисунок 5 – РЛС КА3 "Арена"

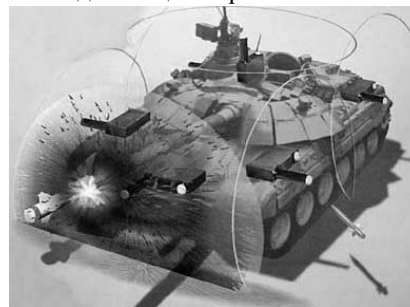


Рисунок 6 – КА3 "Заслон"

$$R = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{II} G_{II} G}{P_{II}}}, \quad (2)$$

где  $P_{II}$  – чувствительность приемника,  $G$  – коэффициент усиления приемной антенны.

Для повышения помехоустойчивости и исключения ложных срабатываний в составе системы обнаружения могут применяться каналы раннего обнаружения, работающие длительное время, и неконтактные датчики, включающиеся по сигналу указанных каналов.

**Выводы.** Анализ существующих на сегодняшний день систем обнаружения комплексов активной защиты позволяет сделать следующие выводы:

1. Датчики КАЗ / САЗ должны быть достаточно чувствительными для того, чтобы обнаружить угрозу на требуемой дальности и обеспечить время для реагирования. Наиболее вероятная и оптимальная дальность обнаружения до 30–50 м.
2. РЛС миллиметровых волн обеспечивают хорошее разрешение, позволяющее даже визуализировать некоторые отличительные особенности боеприпасов, однако их работа в непрерывном режиме демаскирует местоположение защищаемого объекта.
3. Целесообразно для получения предварительной информации о потенциальной угрозе использовать пассивные ультрафиолетовые и инфракрасные датчики, которые позволяют обнаружить пуск ПТУР или выстрел противотанковой пушки.

#### Литература

1. Ogorkiewicz R.M. Detection and Obscuration Counter Anti-Armor Weapons. Development of active protection systems for combat vehicles is slowly gathering momentum / R.M. Ogorkiewicz // Jane's International Defense Review. – January 2003. – P. 49–53.
2. Мартышин В. Комплексная защита боевых машин / Владимир Мартышин // Военный парад. – 2009. – №3. – С. 76–77.
3. Российский подход к усилению броневой защищённости бронетанковой техники // Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств-участников СНГ и технических средствах его выявления (Серия «Вооруженные силы и военно-промышленный потенциал»). – 2006. – № 10. – С. 17–22.
4. Активная защита для израильских боевых машин [Электронный ресурс] // Режим доступа на сайт: [www.army-guide.com](http://www.army-guide.com).
5. Close-In Countermeasure system (CICS) // Режим доступа на сайт: [www.army-guide.com](http://www.army-guide.com).
6. Активная защита SLID [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.boeing.com/defense-space/missiles/slid/slid.htm>.
7. Система активной защиты фирмы Saab Avitronics [Электронный ресурс] // Режим доступа к сайту: [www.army-guide.com](http://www.army-guide.com).
8. Южная Корея разрабатывает систему активной защиты KAPS [Электронный ресурс] // Режим доступа к сайту : [www.army-guide.com](http://www.army-guide.com).
9. Активная защита "Арена" [Электронный ресурс] // Независимое военное обозрение. – 14.07.2000. – Режим доступа: Танку ПТУР не страшен! АЗ Арена.htm.
10. Березов А. Системы активной защиты зарубежной бронетанковой техники / А. Берёзов // Зарубежное военное обозрение. – 2009. – № 8. – С. 39–42.
11. Средства активной обороны бронированных машин // Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств-участников СНГ и технических средствах его выявления (Серия «Вооруженные силы и военно-промышленный потенциал»). – 2006. – № 3. – С. 18–28.
12. Системы активной защиты бронетехники // Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств-участников СНГ и технических средствах его выявления (Серия «Вооруженные силы и военно-промышленный потенциал»). – 2008. – № 4. – С. 22–37.
13. Васильковский М.И. Методика сравнительной оценки систем активной защиты боевых бронированных машин / М.И. Васильковский: Дис. ... канд. техн. наук: 20.02.14. – К., 2002. – 193 с.
14. Григорян В.А. Защита танков / В.А. Григорян, Е.Г. Юдин, И.И. Терехин и др.; Под ред. В.А. Григоряна. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 327 с.
15. Системы информации об окружающей обстановке // Army Guide Monthly/ – 2008. – № 11 (50). – С. 10–11.
16. Горбунов В.А. Эффективность обнаружения целей / В.А. Горбунов. - М.: Воениздат, 1980. – 160 с.

Bibliography (transliterated)

1. Ogorkiewicz R.M. Detection and Obscuration Counter Anti-Armor Weapons. Development of active protection systems for combat vehicles is slowly gathering momentum. R.M. Ogorkiewicz. Jane's International Defense Review. – January 2003. – P. 49–53.
2. Martyishin V. Kompleksnaya zaschita boevyih mashin. Vladimir Martyishin. Voennyiy parad. – 2009. – #3. – P. 76–77.
3. Rossiyskiy podhod k usileniyu bronevoy zaschischyonnosti bronetankovoy tehniky. Inostrannaya pechat ob ekonomicheskom, nauchno-tehnicheskom i voennom potentsiale gosudarstv-uchastnikov SNG i tehniceskikh sredstvah ego vviyavleniya (Seriya «Vooruzhennyye silyi i voenno-promyshlennyy potentsial»). – 2006. – # 10. – P. 17–22.
4. Aktivnaya zaschita dlya izrailskih boevyih mashin [Elektronnyiy resurs] Rezhim dostupa na sayt: [www.army-guide.com](http://www.army-guide.com).
5. Close-In Countermeasure system (CICS). Rezhim dostupa na sayt: [www.army-guide.com](http://www.army-guide.com).
6. Aktivnaya zaschita SLID [Elektronnyiy resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.boeing.com/defense-space/missiles/slid/slid.htm>.
7. Sistema aktivnoy zaschityi firmy Saab Avitronics [Elektronnyiy resurs]. Rezhim dostupa k saytu: [www.army-guide.com](http://www.army-guide.com).
8. Yuzhnaya Koreya razrabatyivaet sistemu aktivnoy zaschityi KAPS [Elektronnyiy resurs]. Rezhim dostupa k saytu : [www.army-guide.com](http://www.army-guide.com).
9. Aktivnaya zaschita "Arena" [Elektronnyiy resurs]. Nezavisimoe voennoe obozrenie. – 14.07.2000. – Rezhim dostupa: Tanku PTUR ne strashen! AZ Arena.htm.
10. Berezov A. Sistemy aktivnoy zaschityi zarubezhnoy bronetankovoy tehniky. A. BerYozov. Zarubezhnoe voennoe obozrenie. – 2009. – # 8. – P. 39–42.
11. Sredstva aktivnoy oborony bronirovannyih mashin. Inostrannaya pechat ob ekonomicheskom, nauchno-tehnicheskom i voennom potentsiale gosudarstv-uchastnikov SNG i tehniceskikh sredstvah ego vviyavleniya (Seriya «Vooruzhennyye silyi i voenno-promyshlennyy potentsial»). – 2006. – # 3. – P. 18–28.
12. Sistemy aktivnoy zaschityi bronetehniky. Inostrannaya pechat ob ekonomicheskom, nauchno-tehnicheskom i voennom potentsiale gosudarstv-uchastnikov SNG i tehniceskikh sredstvah ego vviyavleniya (Seriya «Vooruzhennyye silyi i voenno-promyshlennyy potentsial»). – 2008. – # 4. – P. 22–37.
13. Vaskovskiy M.I. Metodika sravnitel'noy otsenki sistem aktivnoy zaschityi boevyih bronirovannyih mashin. M.I. Vaskovskiy: Dis. ... kand. tehn. nauk: 20.02.14. – K., 2002. – 193 p.
14. Grigoryan V.A. Zaschita tankov. V.A. Grigoryan, E.G. Yudin, I.I. Terehin i dr.; Pod red. V.A. Grigoryana. – M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2007. – 327 p.
15. Sistemy informatsii ob okruzhayushey obstanovke. Army Guide Monthly. – 2008. – # 11 (50). – P. 10–11.
16. Gorbunov V.A. Effektivnost obnaruzheniya tseley. V.A. Gorbunov. – M.: Voenizdat, 1980. – 160 p.

УДК 621.384.3

Глебов В.В., Роленко С.О.

### СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ КОМПЛЕКСІВ АКТИВНОГО ЗАХИСТУ

Приведені характеристики систем виявлення комплексів активного захисту, найбільш відпрацьованих та які пройшли випробування у складі об'єктів. Виконаний аналіз існуючих на сьогоднішній день систем виявлення. Зроблено висновок про необхідність використання пасивних датчиків виявлення загрози нападу засобів поразки.

Glebov V.V., Rolenko S.A.

### ACTIVE PROTECTION DETECTION SYSTEM

The presented specifications of the active protection detection systems are the most proven and tested as a part of a vehicle. Analyzed were the currently existing detection systems. The conclusion was made about the necessity of using passive sensors for detection of destruction means threat.

УДК 623.438 (001.57)

Дашков Д.Л., Мушинский Ю.М., Толстолуцкий В.А., Афонский П.В., Федоренко Е.В.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ ЛБТ К МИННОМУ ПОДРЫВУ

Анализ локальных конфликтов показывает, что наибольшее число боевых повреждений легкой бронированной техники (ЛБТ) приходится на подрывы на минах (57 % от всех поражений). Поэтому, на сегодняшний день к ЛБТ предъявляются требования обеспечения защиты от мин с тротиловым эквивалентом (ТЭ) – 6...10 кг. Раньше также требования предъявлялись только к противоминной стойкости танков [1,2]. В данных ситуациях наиважнейшей задачей является защита экипажа машины от поражающих факторов взрыва. Поэтому еще на этапе проектирования ЛБТ является крайне важным заложить комплекс адекватных защитных мер, которые позволят сохранить целостность корпуса и защитят экипаж от воздействия энергии взрыва.

Решить эту задачу на этапе проектирования новой машины или при выборе метода направленного на модернизацию существующей конструкции возможно теоретическим изучением ударно-волнового нагружения сложных конструкций, поскольку применение более достоверного экспериментального метода на этом этапе практически невозможно. Одним из таких теоретических методов является численное моделирование сложных механических процессов с применением метода конечных элементов. Данный метод позволяет в сжатые сроки и с наименьшими затратами решать задачи оптимизации этих конструкций с применением натурного эксперимента в качестве проверочного [2].

В данной работе проводится исследование возможности увеличения стойкости корпуса ЛБТ при воздействии на него взрывной волны, вызванной минным подрывом. Основным элементом боевой машины, который воспринимает основную часть взрывного воздействия от подрыва мины, является днище. Для исследования влияния геометрических параметров днища на его напряженно-деформированное состояние при подрыве заряда было рассмотрено несколько вариантов исполнения днища ЛБТ:

Вариант 1 – толщина листа днища 6 мм.

Вариант 2 - толщина листа днища 8 мм.

Вариант 3 – двойное днище (толщина каждого листа 4 мм, зазор между листами 50 мм).

Во время исследования оценивалась возможность уменьшения напряженно-деформированного состояния днища боевой машины, а также уменьшение уровня вертикальных ускорений как корпуса так и отдельных его узлов.

Для расчета использовалась конечно-элементная модель боевой машины, приведенная на рисунке 1.

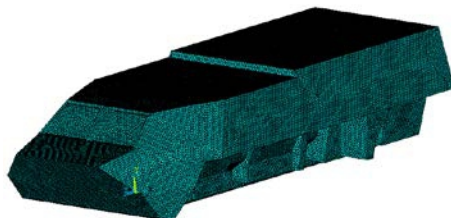


Рисунок 1 – Конечно-элементная модель боевой машины

На рисунке 2 приведены модели боевой машины, с учетом использования различных вариантов днища.



Рисунок 1 – Модели боевой машины с различными вариантами днища

(вид – разрез в продольной плоскости; а – модель с монолитным днищем, б – модель с двойным днищем)

Масса взрывчатого вещества принималась равной 6 кг в тротиловом эквиваленте (ТЭ). Расстояние от нижней, крайней точки днища до центра заряда принималось равным 400 мм. Глубина залегания мины принималась равной 60 мм. Толщина стенок корпуса была принята 10 мм. Расстояние между листами, при использовании двойного днища, равно 50 мм.

Масси окремих вузлів і агрегатів, в тому числі екіпажа оказують незначительне впливання на напружено-деформоване стання днища при мінном подрыве ввиду скоротечности данного процесу. Поэтому в процесі аналізу варіантів виконання днища ці масси не учитывались.

При моделюванні корпусу в якості основного матеріалу використовувалась сталь марки 20Х2Н4А со свойствами:  $\sigma_T = 11000 \text{ кг/см}^2$ ,  $\sigma_B = 13000 \text{ кг/см}^2$ ,  $\rho = 0,00785 \text{ кг/см}^3$ ,  $E = 2 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$ ,  $\mu = 0,3$ .

Контрольні замери, для яких поведилась оцінка прочності, проводились в наступних точках:

1. Днище (центральна частина днища корпусу, місце непосредственно находящееся над миной).
2. Корпус (область близкая к месту взрыва).
3. Область крепления кресла одного из членов экипажа (место наиболее близкое к месту взрыва).

Результаты числового моделирования действия взрывной волны на днище боевой колесной машины приведены на рисунках 3–7.

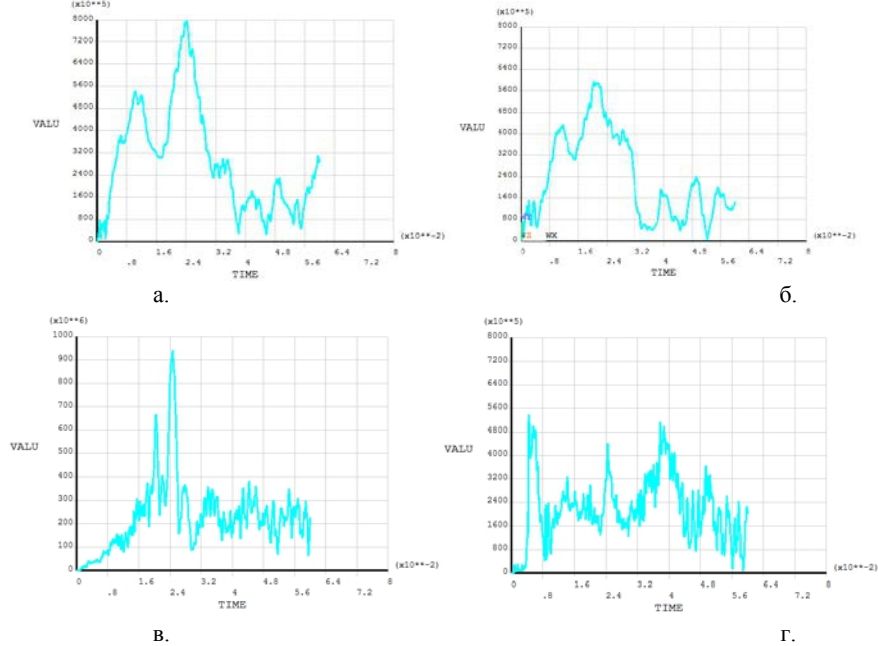


Рисунок 3 – Распределение эквивалентных напряжений в контрольной точке 1 (а. вариант 1, б. вариант 2, в. вариант 3 нижний лист, г. вариант 3 верхний лист), Па, с

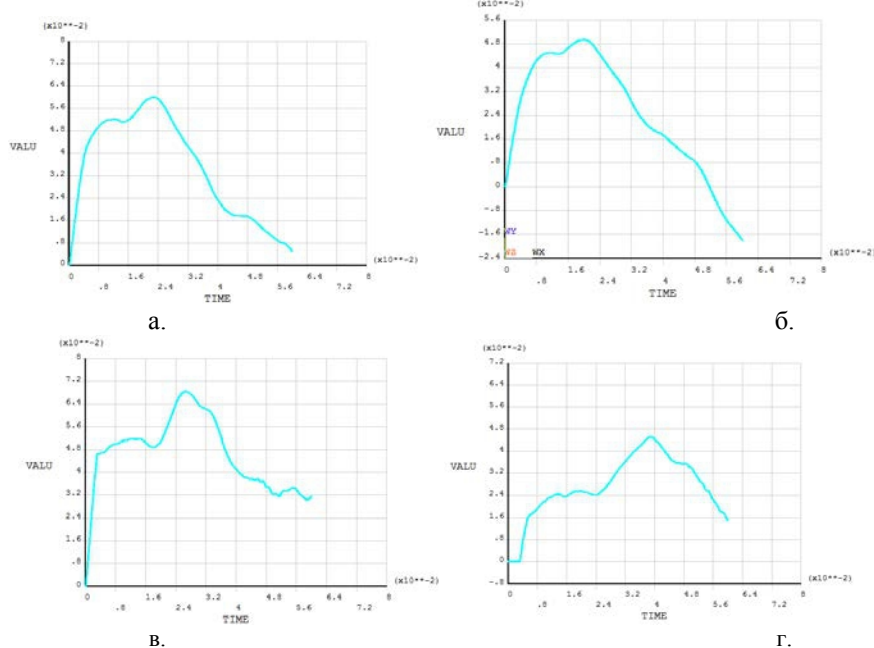


Рисунок 4 – Изменение прогибов в вертикальной плоскости в контрольной точке 1 (а. вариант 1, б. вариант 2, в. вариант 3 нижний лист, г. вариант 3 верхний лист), м, с

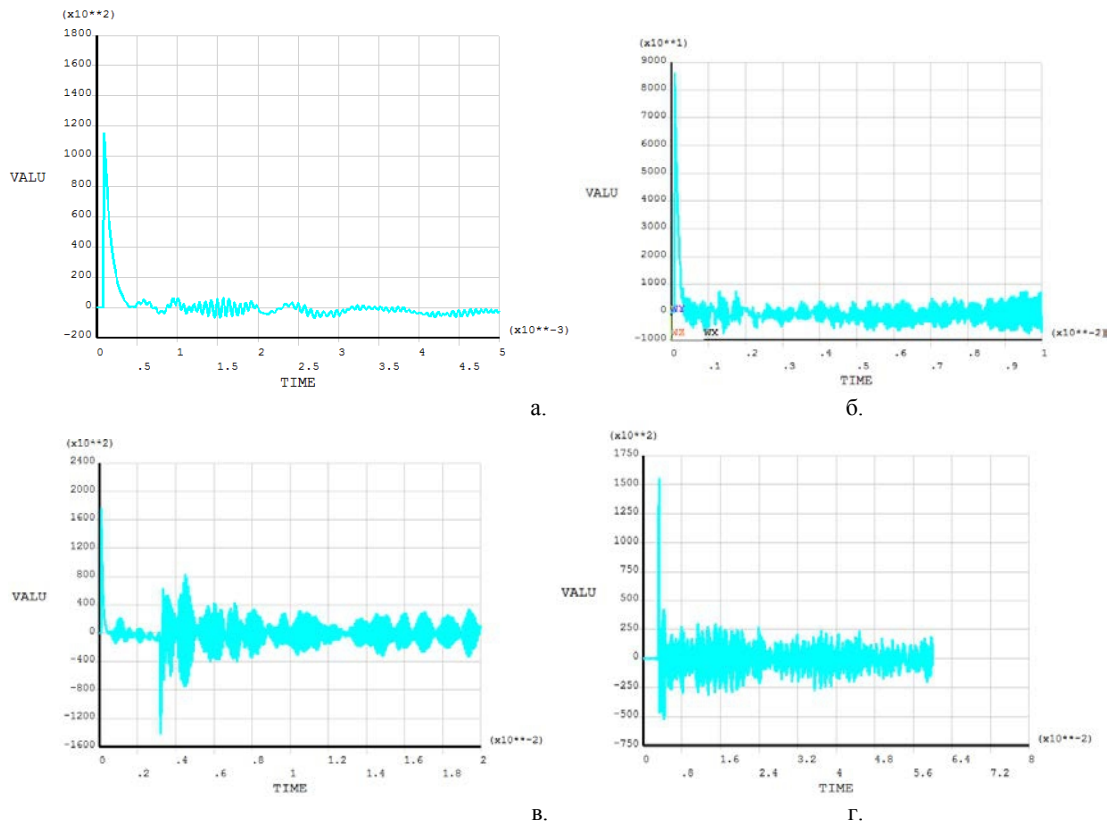


Рисунок 5 – Изменение ускорений в вертикальной плоскости, в контрольной точке 1 (а. вариант 1, б. вариант 2, в. вариант 3 нижний лист, г. вариант 3 верхний лист), м/с<sup>2</sup>, с

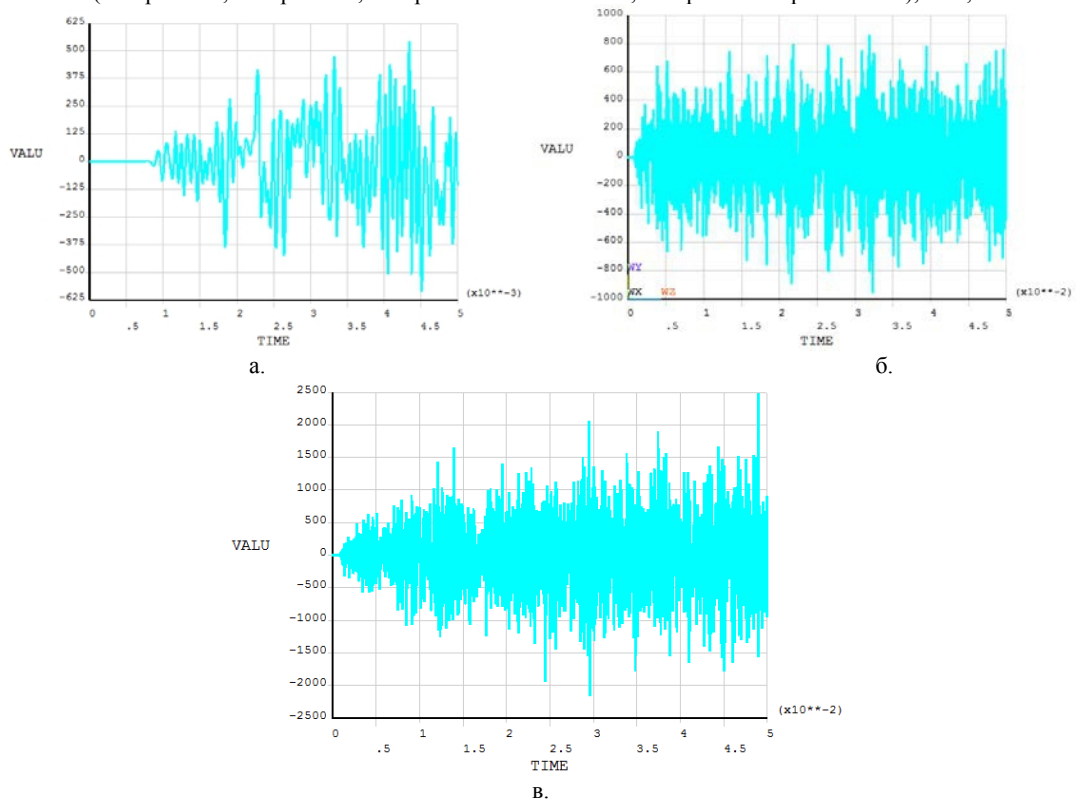


Рисунок 6 – Изменение ускорений в вертикальной плоскости в контрольной точке 2 (а. вариант 1, б. вариант 2, в. вариант 3), м/с<sup>2</sup>, с



Результаты, полученные в процессе расчета, в достаточной степени корреспондируются с результатами, представленными ЦНДИ (Центральный научно-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України) приведенными в отчете [3].

Таблица 1 – Результаты расчета

		Варианты исполнения днища ЛБТ		
		Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Контрольная точка 1	Эквивалентные напряжения, $\sigma$ кг/см <sup>2</sup>	8000	6000	5200*
	Прогиб, у м	0,06	0,05	0,046*
	Вертикальные ускорения, а м/с <sup>2</sup>	115000	87500	155000*
Контрольная точка 2	Вертикальные ускорения, а м/с <sup>2</sup>	540	850	2500
Контрольная точка 3	Вертикальные ускорения, а м/с <sup>2</sup>	1800	2000	3600

\* - данные приведены для верхнего листа днища.

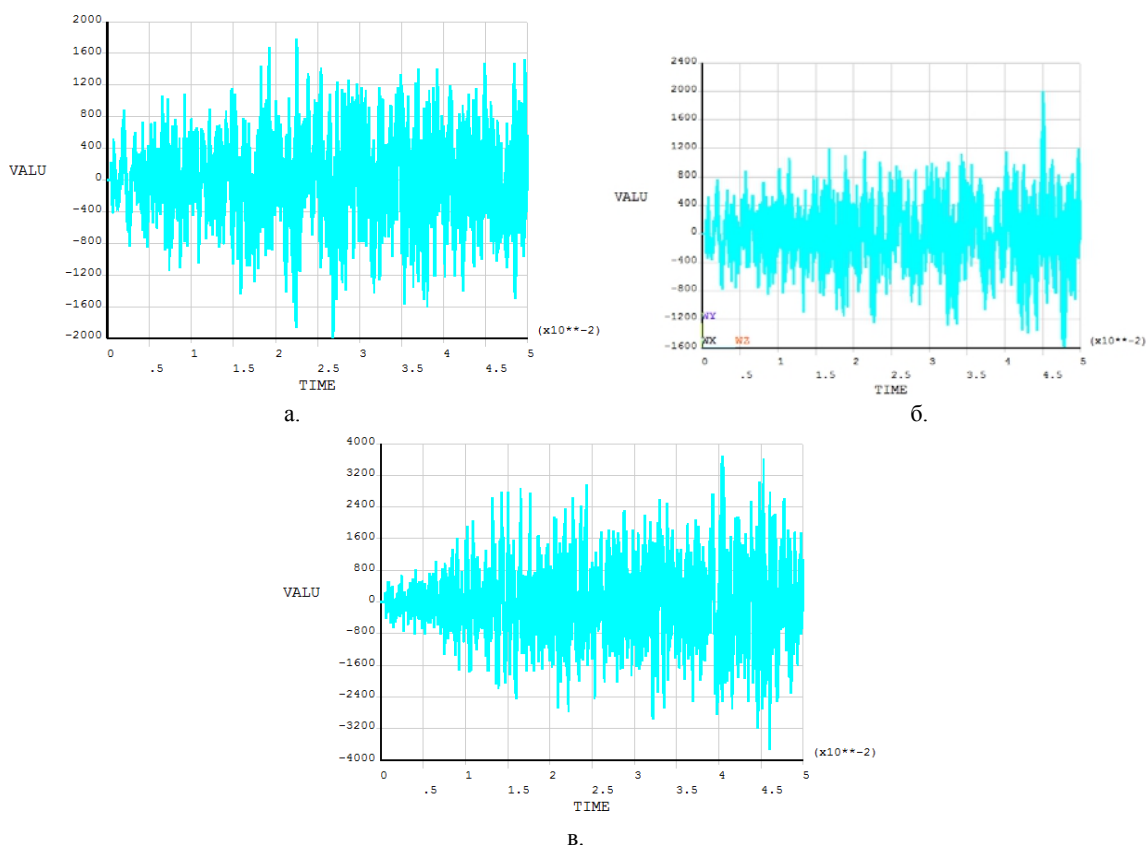


Рисунок 7 – Изменение ускорений в вертикальной плоскости в контрольной точке 3 (а. вариант 1, б. вариант 2, в. вариант 3), м/с<sup>2</sup>, с

### Выводы

В результате анализа были получены значения напряжений, прогибов и ускорений для наиболее нагруженных участков днища исследуемой модели ЛБТ.

Сравнение различных вариантов исполнения днища показало, что при незначительном увеличении толщины листа днища (с 6 мм до 8 мм), его стойкость к воздействию ударной волны существенно увеличивается. Применение многослойного бронирования днища ЛБТ приводит к незначительному снижению деформации верхнего листа, однако уровень напряжений нижнего листа в этом случае стремится к пре-

делу текучести материала. В случае применения заряда большей мощности такое поведение нижнего листа приведет к его пластическому деформированию или разрушению, что приведет к снижению стойкости ЛБТ при повторном подрыве. Днище, выполненное из гомогенного броневое листа, лишено данного недостатка.

Применение многослойного днища привело к увеличению ускорений в контрольных точках, что может отрицательно сказаться на оборудовании и экипаже внутри машины. Таким образом, применение гомогенной броневой стали при проектировании днища военной машины является предпочтительным по отношению к многослойному исполнению.

#### Литература

1. Денисенко А.М. Методика оценки защищающей способности системы активной противоминной защиты легких бронированных машин // Артиллерийское и стрелковое вооружение. Международный научно-технический сборник. – К.: НТЦ АСВ. – 2007. – Вып. №2. – С. 3–8.
2. Чепков И.Б. Численное моделирование ударно-волнового нагружения днища транспортного средства / Чепков И.Б., Бисык С.П., Корбач В.Г., Голуб В.А. // Механіка та машинобудування, 2011, № 1. С. 149–154.
3. Отчет о проведении теоретических исследований “Оценка направления повышения противоминной стойкости боевых колесных машин”/ В.В. Твердохлебов, М.И. Васковський, С.П. Бисык, В.А. Голуб, В.Г. Корбач.– Киев ЦНДИ ВВТ – 2013. – 36 с.

#### Bibliography (transliterated)

1. Denisenko A.M. Metodika otsenki zaschischayushey sposobnosti sistemyi aktivnoy protivominnoy zaschityi legkih bronirovannyih mashin. Artilleriyskoe i strelkovoe vooruzhenie. Mezhdunarodnyiy nauchno-tehnicheskiiy sbornik. – K.: NTTs ASV. – 2007. – Vyip. #2. – P. 3–8.
2. Chepkov I.B. Chislennoe modelirovanie udarno-volnovogo nagruzheniya dnischa transportnogo sredstva. Chepkov I.B., Bisyik S.P., Korbach V.G., Golub V.A. Mehanika ta mashinobuduvannya, 2011, # 1. P. 149–154.
3. Otchet o provedenii teoreticheskikh issledovaniy “Otsenka napravleniya povyisheniya protivominnoy stoykosti boevyih kolesnyih mashin”. V.V. Tverdohlebov, M.I. Vaskovskiy, S.P. Bisyik, V.A. Golub, V.G. Korbach.– Kiev TsNDI VVT – 2013. – 36 p.

УДК 623.438 (001.57)

Дашков Д.Л., Мушинский Ю.М., Толстолуцкий В.О., Афонский П.В., Федоренко С.В.

#### ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ЛБТ ДО МІННОГО ПІДРИВУ

Проведено порівняння різних варіантів виконання днища легкоброньованої техніки. Визначено вплив товщини днища і його конструкції на стійкість машини до впливу ударної хвилі при дистанційному підриві заряду під днищем ЛБТ. Показано, що застосування багат шарового днища призвело до збільшення прискорень в контрольних точках, тому гомогенна броньована сталь при проектуванні днища військової машини є більш кращою по відношенню до багат шарового виконання.

Dashkov D.L., Mushinski, Y.M., Tolstolutsky V.A., Afonsky P.V., Fedorenko E.V.

#### STUDY OF THE POSSIBILITIES OF LAV RESISTANCE INCREASING TO MINE BLAST

Comparison of different variants of the bottom lightly armored vehicles was prepared. The influence of the vehicle bottom thickness and its structure were determined for case when shock waves of remote detonation effects the LAV bottom. It is shown that the multilayer bottom has led to an increase in acceleration at the test points. And so usage of monolithic armor for designing bottoms of war vehicles is more preferable then multilayered construction.

УДК 621-05 (477.54-25)

Киприч К.К., Ковалив В.И., Малахов В.А.

### АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ ИЗМЕНЕНИЯ ОБОРОННЫХ РАСХОДОВ СТРАН АЗИАТСКО-ТИХООКЕАНСКОГО РЕГИОНА В 2013 г. (НА ПРИМЕРЕ ИНДОНЕЗИИ И ТАИЛАНДА)

Несмотря на то, что в 2013 году экономический рост в Юго-Восточной Азии был слабее, чем в среднем за последнее десятилетие, этот регион продолжает оставаться одним из приоритетных для военно-промышленного комплекса Украины в качестве потенциального потребителя.

Отмеченное замедление роста связано с замедлением экономического роста в Китае и вялым восстановлением западных экономик после мирового экономического кризиса. Такие страны, как Индонезия, Малайзия и Таиланд, которые в предыдущие годы демонстрировали самые большие темпы роста, в 2013 году также значительно замедлили свое развитие, что связано с ослаблением экспортных рынков и умеренными зарубежными инвестициями в основные фонды. Что касается ближайшей перспективы то можно предположить, что уменьшение инвестиций в Индонезию, снижение спроса на сырье для экономик других развивающихся рынков и ослабление экономического роста в Китае, будет и далее сдерживать региональный рост.

**Расходы на оборону.** В 2013 году в большинстве стран Юго-Восточной Азии наблюдалось реальное увеличение расходов на оборону, что делало рынки стран Юго-Восточной Азии еще более привлекательными для компаний - производителей оборонной техники. Рост расходов на оборону происходит благодаря программам модернизации военной техники в Индонезии, на Филиппинах и Сингапуре. Сильный экономический рост, внутренние проблемы безопасности и региональные территориальные споры остаются ключевыми движущими силами, которые сказываются на росте оборонных расходов в странах Юго-Восточной Азии.

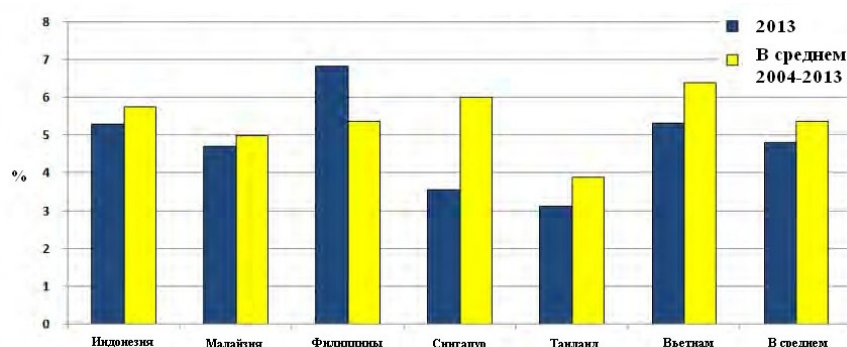


Рисунок 1 – Рост ВВП в 2013 году в сравнении со средним ростом ВВП за 10 лет (с 2004 по 2013 годы)

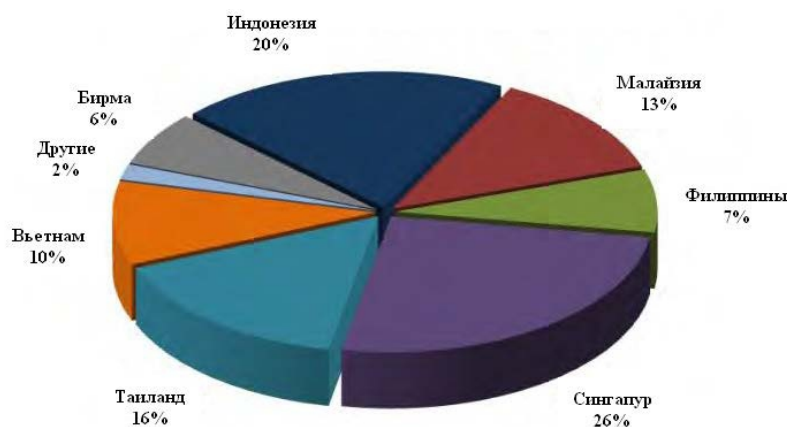


Рисунок 2 – Долевое участие в расходах на оборону стран Юго-Восточной Азии в 2013 году (в USD) [1]

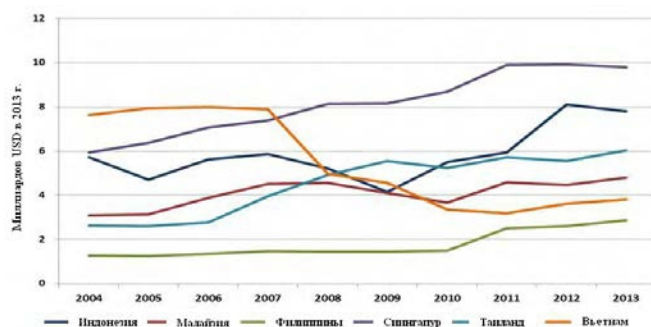


Рисунок 3 – Оборонный бюджет стран Юго-Восточной Азии в 2004 – 2013 годах [2]

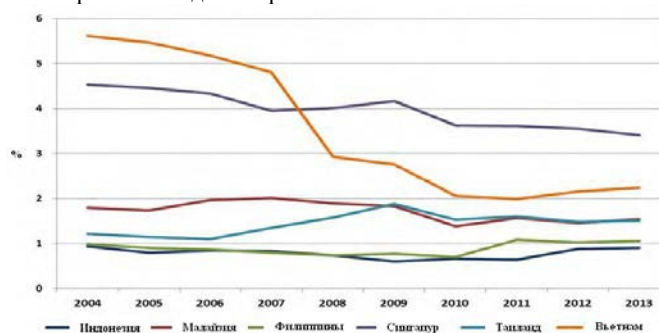


Рисунок 4 – Доля ВВП, израсходованная на оборону

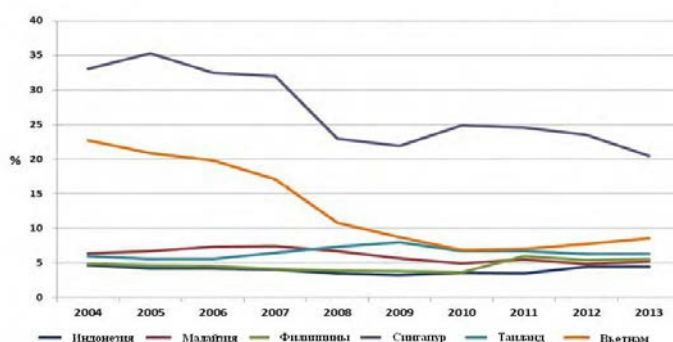


Рисунок 5 – Доля государственных расходов на оборону

Как видно, доля государственных расходов на оборону за последние 10 лет снизилась почти во всех странах Азиатско-Тихоокеанского региона. Единственные две страны, которые не только не уменьшили оборонные расходы, но даже увеличили их – это Индонезия и Таиланд. И именно они на сегодня являются наиболее перспективными заказчиками для продукции военно-промышленного комплекса Украины.

Рассмотрим более подробно экономические показатели этих двух стран.

## ИНДОНЕЗИЯ

### Экономика

За последние 10 лет рост экономики в Индонезии составил в среднем 5,7 % в год в реальном выражении. В 2013, экономика выросла на 5,3 %, так как равновесие платежного баланса, неустойчивость валютного курса, ужесточение денежно-кредитной политики и сокращение субсидий на топливо привело к снижению иностранных инвестиций, замедлению экономического роста и более высокому уровню инфляции. МВФ предполагает, что реальный рост экономики Индонезии к 2018 году составит в среднем 5,9 %, за счет роста частного потребления и увеличения экспорта. [4]

### Расходы на оборону

В 2013 году оборонный бюджет Индонезии составил 82 триллиона IDR или (USD 7,8 млрд), что составляет более 7,8 реального увеличения оборонного бюджета по сравнению с 2012 годом. В 2013 году

Індонезія отримала перші 2 із 103 танків Leopard 2A6 і перші 2 із 42 бойових машин піхоти Мардер 1A3, придбаних в Німеччині. В вересні 2013 року Індонезія отримала чотири тренажера пілотів Grob Aircraft G120TP, а в жовтні 2013 року ВМС Індонезії отримали перший із трьох патрульних літаків базової авіації CN235. Доставка решти літаків очікувалася в початку 2014 року. В середині 2014 року очікується поставка першого із трьох колишніх легких фрегатів із Брунею. Індонезія також погодилася придбати вісім ударних вертольотів Apache AH-64E із США, а також підписала контракт на придбання 5 бронетранспортерів БТР-4 із України для морської піхоти [3], [5].

### Воєнний бюджет

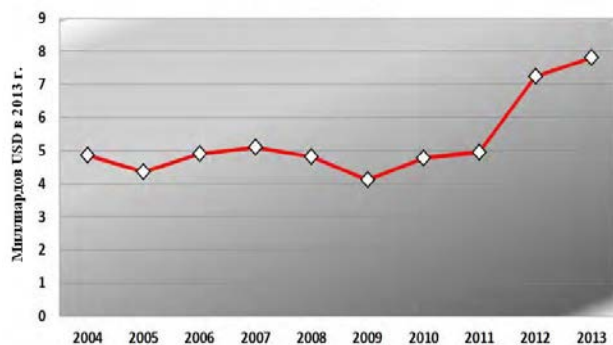


Рисунок 6 – Змінення воєнного бюджету Індонезії за 10 років (з 2004 по 2013 роки)

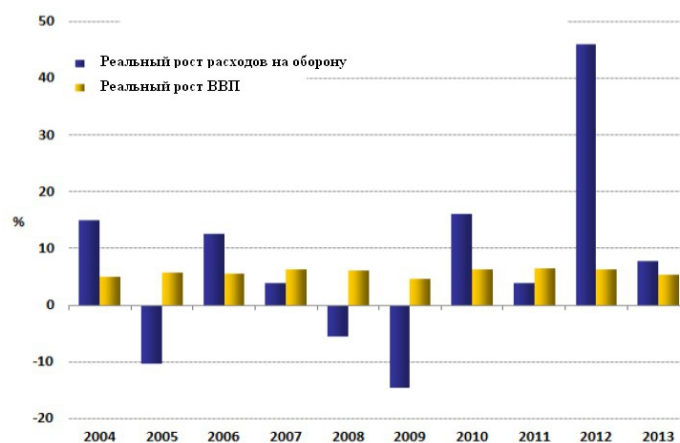


Рисунок 7 – Зростання витрат Індонезії на оборону порівняно з зростанням ВВП

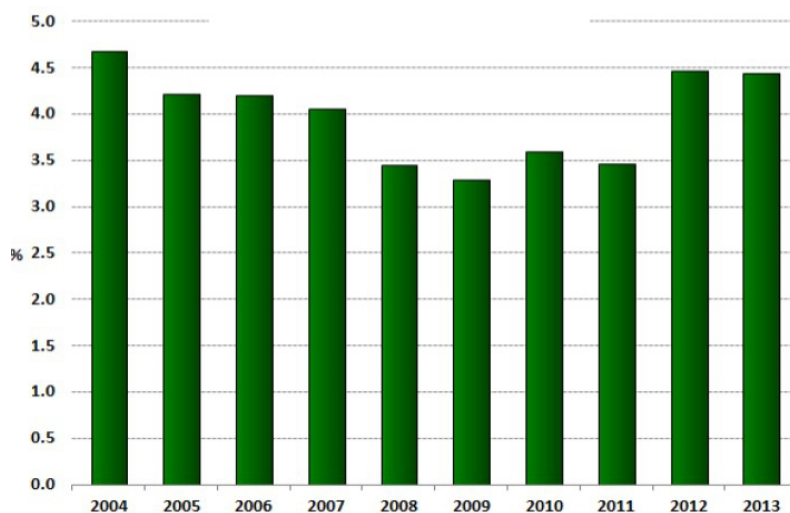


Рисунок 8 – Зміна державних витрат Індонезії на оборону



## ТАИЛАНД

### Економіка

За последние 10 лет рост экономики в Таиланде составил в среднем 3,9 % в год в реальном выражении. Экономика испытала более мягкий рост в 3,1 % в 2013 году в связи со слабым личным потреблением, более низким уровнем инвестиций в основные средства и умеренным ростом экспорта. Политическая нестабильность оказала негативное влияние на туризм и бизнес, а также на доверие со стороны потребителей, что могло ограничить экономический рост. Но экономический рост будет поддерживаться государственными инвестициями в крупные инфраструктурные проекты и внутреннее потребление. По данным МВФ ожидается, что рост экономики Таиланда составит в среднем 4,8 % реального роста к 2018 году.

### Расходы на оборону

В 2013 году оборонный бюджет Таиланда составил 180,5 миллиардов бат (US \$ 6 млрд), что составляет 4,6 % реального прироста оборонного бюджета по сравнению с 2012 г. В апреле 2013 года Королевские ВВС Таиланда получили последний из двенадцати истребителей Gripen и два самолета раннего предупреждения и управления SAAB 340 Erieye из Швеции. В июле 2013 года, Бангкок одобрил покупку фрегата южнокорейского производства. В начале 2014 года в Таиланд поступили первые 5 из 49 украинских основных боевых танков Оплот, которые были заказаны в сентябре 2011 года. Таиланд также приобретает в Украине до 215 плавающих бронетранспортеров БТР-3Е1, окончательная поставка которых ожидается к 2015 году.

### Военный бюджет

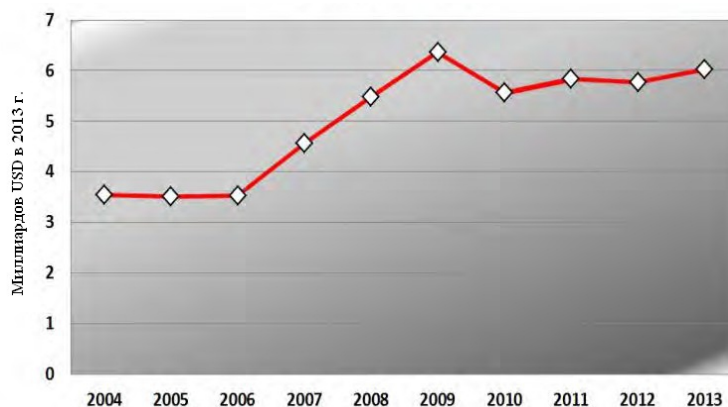


Рисунок 9 – Изменения военного бюджета Таиланда за 10 лет (с 2004 по 2013 годы)

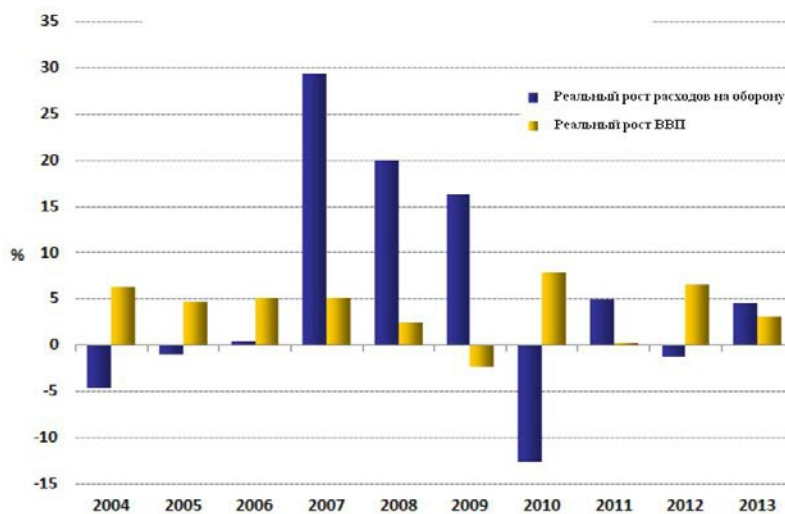


Рисунок 10 – Рост расходов Таиланда на оборону по сравнению с ростом ВВП





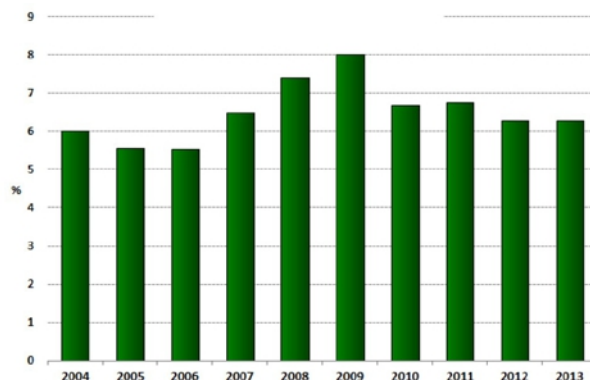


Рисунок 11 – Изменение государственных расходов Таиланда на оборону

На основании вышеизложенного, можно сделать следующие выводы:

- в таких странах Юго-Восточной Азии, как Индонезия и Таиланд, отмечается значительный рост военных расходов в 2013 году и значительные государственные инвестиции в восстановление экономики;
- региональные расходы на оборону существенно изменились в 2013 году, поскольку наблюдалось снижение темпов восстановления мировой экономики. В 2013 году военный бюджет Индонезии увеличился почти до 8 млрд. USD, Таиланда – до 6 млрд. USD;
- реальный рост расходов на оборону в 2013 г. в Индонезии и Таиланде превысил реальный рост ВВП;
- наблюдается тенденция к проведению модернизации существующего вооружения разными темпами;
- Юго-Восточная Азия остается привлекательным рынком вооружений для оборонных предприятий.

#### Литература

1. The International Institute for Strategic Studies: The Military Balance 2012. Volume: 2012, ISBN: 978-1857436426, Date: 07 March 2012.
2. International Monetary fund Publication: 2a. Indonesia: Financial Sector Assessment Program Publication Date: December 18, 2012, Series: Country Report No. 12/335, 2b. Thailand: Staff Report for the 2012 Article IV Consultation, Series: Country Report No. 12/124, ISBN/ISSN: 9781475561685/2227-8907.
3. Indonesia Government Budget, <http://www.tradingeconomics.com/indonesia/government-budget>.
4. Defence Economic Trends in the Asia-Pacific 2014.
5. The Economist: The World In 2013.

УДК 621-05 (477.54-25)

Кіпріч К.К., Ковалів В.І., Малахов В.А.

#### **АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ ЗМІНИ ОБОРОННИХ ВИТРАТ КРАЇН АЗІАТСЬКО-ТИХОООКЕАНСЬКОГО РЕГІОНУ У 2013 р. (НА ПРИКЛАДІ ІНДОНЕЗІЇ І ТАЙЛАНДУ)**

У статті проведено аналіз зміни оборонних витрат в галузі оборони деяких країн тихоокеанського регіону, з'ясовано зміни витрат на оборону в 2013 році. Завдяки зниженню темпів відновлення світового економічного підйому, відзначається значне зростання військових витрат в 2013 році, значними державними інвестиціями та витратами на відновлення економіки після стихійних лих у країнах Південно-східної Азії, зокрема в Індонезії та Таїланді.

Kiprich K.K., Kovaliv V.I., Malakhov V.A.

#### **TREND ANALYSIS OF DEFENSE SPENDING IN THE COUNTRIES OF THE ASIA-PACIFIC REGION IN 2013 (AS AN EXAMPLE OF INDONESIA AND THAILAND)**

The paper analyzes the trends in economic situation in defense of some countries of the Pacific region and determines the changes in defense spending in 2013. Due to reduction of the of the global economic development recovery rate, there is a significant increase in military spending in 2013, large public investments and expenditures economic recovery after disasters in South-East Asia, especially in Indonesia and Thailand.

Луценко В.И., Луценко И.В., Соболяк А.В.

## ПАССИВНЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ РАЗВЕДКИ, ДАЛЬНОСТЬ ИХ ДЕЙСТВИЯ И РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ

**Введение.** В настоящее время все больший интерес проявляется к активно-пассивным средствам радио и акустической разведки [1]. Это связано с тем, что активно-пассивные системы используют существующие поля для подсветки объектов и приема, отраженных от них полей для их обнаружения и идентификации. В пассивных системах используют собственные тепловые или акустические излучения объектов для их выявления. Именно поэтому в отличие от активных систем радио- и звуко- гидролокации активно-пассивные и пассивные системы себя не демаскируют и, вследствие чего, обладают существенно большей живучестью. В последнее время, более чем через 80 лет с момента возникновения, интерес к акустическим системам разведки снова возрос. Первоначально их использовали в системе ПВО для обнаружения самолетов и наведения на них прожекторов и зенитных орудий. Затем из-за возрастания скорости, высоты полетов самолетов и существенного снижения, получаемых при этом точностей наведения, а также в связи с появлением альтернативных методов, использующих для решения этих задач радиоволны, интерес к пассивным акустическим системам обнаружения исчез на длительное время. Сейчас из-за большей скрытности и живучести активно-пассивных комплексов, наблюдается очередной всплеск интереса к ним, в том числе, и к пассивным системам акустической разведки и целеуказания. Их пытаются использовать для обнаружения гусеничной и колесной наземной техники, аэродинамических объектов [1]. Предпринимаются попытки их применения для обнаружения отдельных людей и групп, поиска и определения местоположения снайпера после произведенного выстрела [2], в рамках антитеррористических операций, а также для анализа возникновения экстремальных ситуаций в местах большого скопления людей.

Дальность действия активно-пассивных радиосистем и пассивных акустических систем и точность оценивания координат в значительной степени зависит от уровня излучаемых полей, их спектральных характеристик, а также параметров среды распространения и подстилающей поверхности, которые до настоящего времени пока изучены недостаточно. Целью настоящей работы является разработка методики оценки дальности действия и точности оценки координат пассивными акустическими системами.

### 1. Оценка дальности действия акустических систем.

**Затухание звука в атмосфере.** В качестве объектов акустической разведки могут выступать: наземные транспортные средства; аэродинамические объекты (самолеты и вертолеты), а также артиллерийские и ракетные системы. Наземные и воздушные объекты, излучают звук в достаточно широкой полосе частот, однако в спектрах присутствуют компоненты, связанные с работой двигательной установки (частоты кратные частоте вращения вала двигателя, лопастей винтов или лопаток турбин и компрессоров). Излучаемый ими шум квазистационарный. Звук выстрела существенно нестационарен. Использовать для его описания разложения по гармоническим функциям (спектр Фурье) необходимо с осторожностью.

Спектр источника звука  $S_r(f, R, h_r, h_T)$ , находящегося на высоте  $h_T$  и удалении от приемника  $R$  который расположен на высоте  $h_r$ . Интегральное значение множителя ослабления  $L_1(1)$  акустического сигнала до приемника расположенного на высоте  $h_r$  и дальности  $R$  от источника звука, находящегося на высоте  $h_T$  за счет атмосферы  $L(f, R)$  и подстилающей поверхности  $V(f, R, h_r, h_T)$  при распространении на расстояние  $R$  и его спектр  $S_r(f, R, h_r, h_T)$  определяются соотношением:

$$L_1(R, h_r, h_T) = \frac{\int_0^{\infty} S_r(f, R, h_r, h_T) df}{\int_0^{\infty} S_r(f, R=0, h_r, h_T) df} = \frac{\int_0^{\infty} S_T(f) L(f, R) V(f, R, h_r, h_T) df}{\int_0^{\infty} S_T(f) df} \quad (1)$$

На рис. 1 приведены спектры излучения некоторых источников шума на разных удалениях от них при распространении в атмосфере. При расчетах использовались данные по затуханию звука в атмосфере [3]. Они приведены для случая наиболее сильного затухания сигнала, которое наблюдается при небольших температурах воздуха (15 град) и влажности (20 %). Видно, что с возрастанием дальности снижают-

ся различия в спектрах излучения разных источников. В силу изрезанности спектра источников излучения и их широкополосности для оценки дальности обнаружения удобно пользоваться интегральной интенсивностью источника шума и интегральным ослаблением (1).

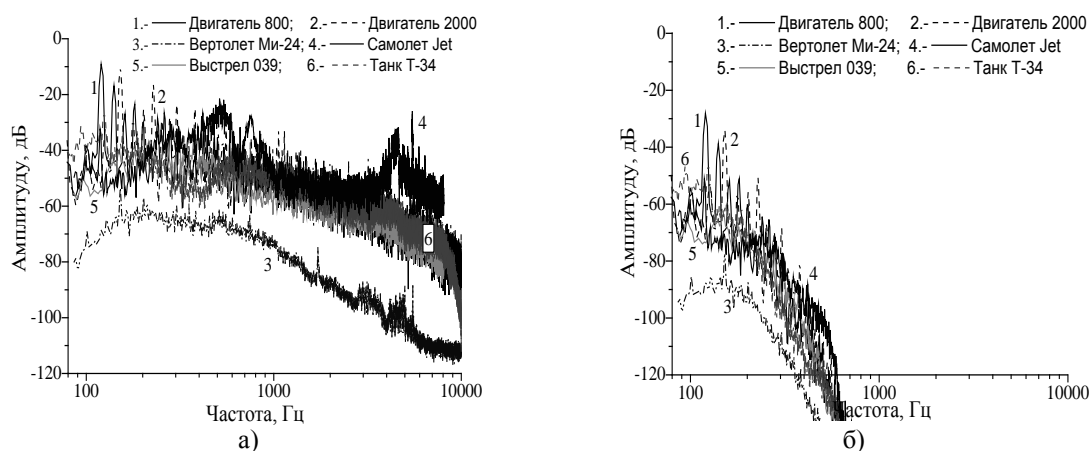


Рисунок 1 – Спектры акустических сигналов на разных удалениях от источников при распространении в атмосфере: а – возле источника; б – дальность 8 км

На рис. 2 показаны получаемые при этом интегральные ослабления акустического поля различных источников излучения на различных дальностях за счет распространения в атмосфере при разной ее температуре и влажности. Видно, что наибольшие затухания наблюдаются в атмосфере при низких температурах и малой влажности, причем наиболее сильно затухает излучение реактивного самолета, несколько меньше – вертолета и звук выстрела. Слабее всего затухает излучение работающего дизельного двигателя.

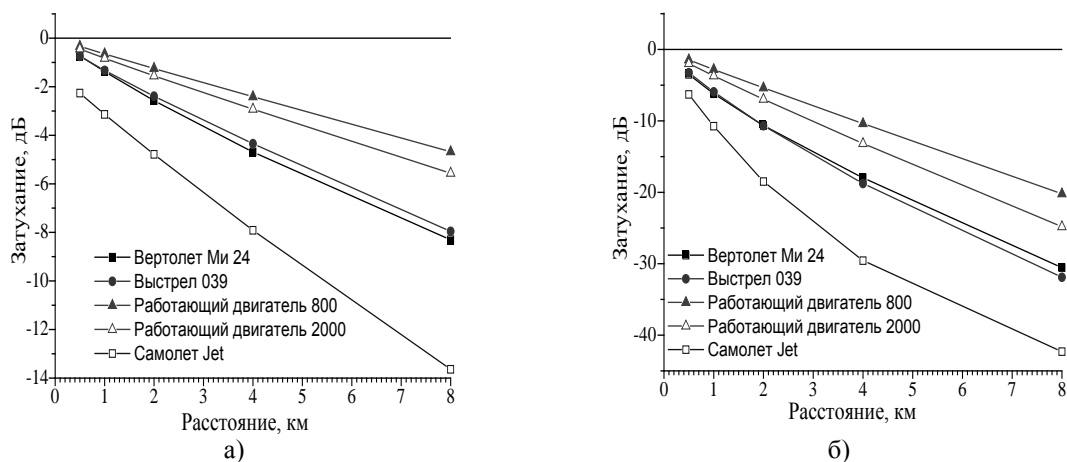


Рисунок 2 – Затухание акустического излучения в атмосфере: а – температура 10, влажность 70 %; б – температуре 15, влажности 20 %

Влияние земной поверхности на затухание звука. Интерференция сигналов, приходящих непосредственно от источника шума в приемник и после отражения от поверхности земли с находящимися на ней элементами растительности может приводить к интерференционному ослаблению принимаемого звукового давления. Используя для акустического сигнала [4] подход, аналогичный ранее применявшемуся для оценки множителя ослабления электромагнитного поля поверхностью раздела [5], а также выше описанную методику получения интегрального множителя ослабления (1) были оценены его значения для различных источников шума – рис. 3.

Используя полученные данные по значениям множителя ослабления поверхности и затуханию сигнала в атмосфере, а также по интенсивности источников излучения [1–3], после учета ослабления сигнала за счет расходимости оценены дальности обнаружения различных объектов при разных метеоусловиях.

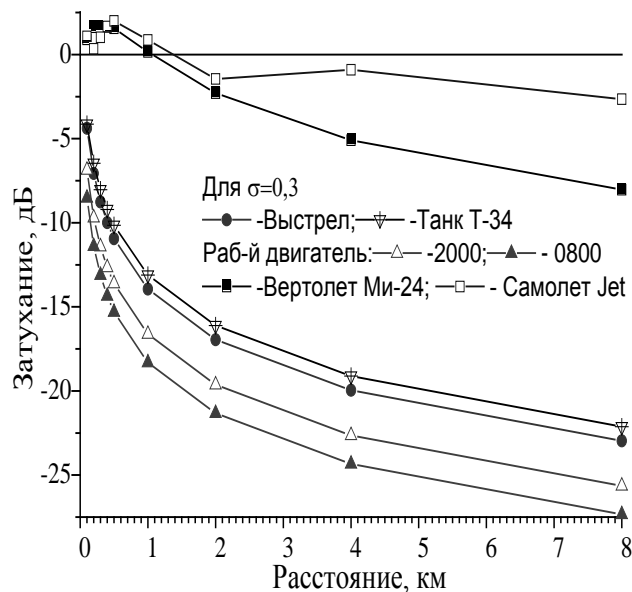


Рисунок 3 – Влияние поверхности раздела на затухание звука

Анализ показывает, что воздушные объекты, даже летящие на малых высотах (50 м), могут обнаруживаться при отсутствии помех или слабых помехах на дальностях более 8 км и только при низкой температуре и влажности дальность их обнаружения снижается до 5 км. При значительных помехах, создаваемых ветром и дождем, дальность обнаружения существенно падает и может быть менее 1 км. Звук выстрела при слабых помехах или их отсутствии обнаруживается на удалениях более 8 км, а при сильных шумах за счет ветра или дождя – на дальностях 6..7 км. При плохих метеоусловиях дальность может упасть до 3 км. Объекты наземной техники в отсутствии шумов или слабых шумах обнаруживаются на удалениях свыше 4 км. Наличие же сильных помех в виде шума ветра или дождя снижает ее до 0,5 км.

**2. Разрешающая способность и точность определения местоположения систем акустической разведки.** Разрешающая способность по дальности определяется шириной спектра принимаемого акустического сигнала. С использованием ранее полученных данных о спектрах источников излучения на разных дальностях была оценено изменение нормированной ширины спектра на различных удалениях от источника при распространении в атмосфере с достаточно низкой температурой и влажностью, т.е. случае наибольших затуханий – рис. 4.

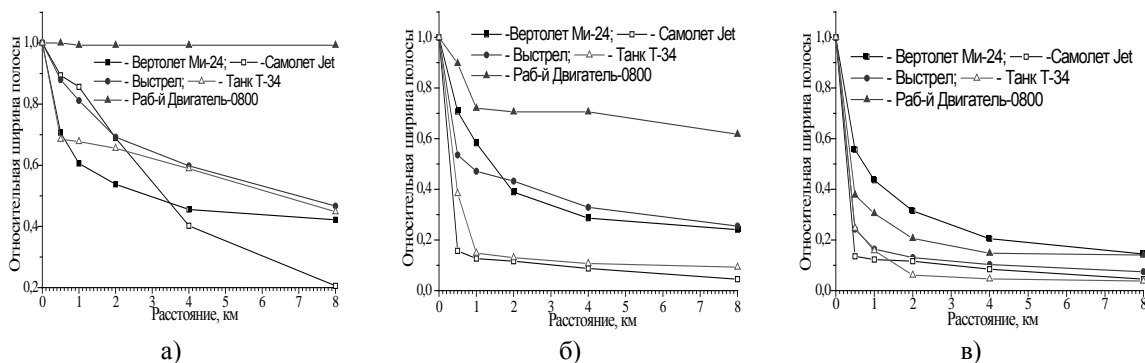


Рисунок 4 – Зависимость эффективной ширины спектра на разных уровнях мощности: а – 50 %; б – 90 %; в – 99 %

Видно, что для большинства объектов достаточно быстро происходит сужение спектра из-за существенно более сильного затухания высоких частот. Уже на дистанциях в 1...2 км эффективная ширина по уровню 50 % уменьшается для большинства объектов в 1,5...2 раза, а на уровнях 90 % и 99 % в 2...6 раз и 3...10 раз соответственно. Исключение составляют объекты наземной техники, для которых большая часть мощности сосредоточена на низких частотах и поэтому на уровне 50 % сужения спектра даже на удалениях

в 8 км практически не происходит, а на уровнях 90 % и 99 % он сужается в 1,5 и 6 раз соответственно. Сужение эффективной ширины спектра источника шума с дальностью приводит к ухудшению разрешающей способности и, как следствие, снижению точности пеленгования систем акустической разведки. Потенциальная разрешающая способность по дальности на различных дальностях от источника приведена в табл. 3

Видно, что на малых дальностях разрешающая способность составляет 0,6...2,8 м, снижаясь до 2,3...4,2 м на дистанциях в 8 км.

Таблица 3 – Разрешающая способность на различных удалениях от источника излучения

Тип объекта	Разрешающая способность по дальности, в м на удалении от источника, км				
	0	1	2	4	8
Вертолет Ми24	0,95	1,57	1,77	2,09	2,25
Самолет Jet	0,59	0,69	0,86	1,48	2,91
Дизельный двигатель 0800	2,8	2,83	2,83	2,83	2,83
Танк Т 34	1,87	2,76	2,86	3,18	4,2
Выстрел 039	1,08	1,33	1,56	1,81	2,31

### Заключение

1. Из-за дисперсионных свойств атмосферы при увеличении расстояния до приемника происходит деформация спектра принимаемого сигнала акустических источников шума. Поскольку сильнее затухают более высокочастотные компоненты звука, то происходит сужение его спектра. Возрастание влажности и понижение температуры приводят к увеличению погонного затухания, наиболее сильно на высоких частотах.

2. Интерференционные явления при отражении звука от поверхности земли наиболее сильно сказываются на низких частотах, снижая интенсивность принятого сигнала. Шероховатость же поверхности сильнее сказывается на высоких частотах, где приводит к снижению коэффициента отражения и, как следствие, уменьшению интерференционного влияния поверхности на интенсивность принимаемого сигнала.

3. Эффективная ширина спектра источников акустического шума, являющихся объектами акустической разведки, сужается в несколько раз на дальностях в единицы километров от источника. При этом ухудшается точность определения его местоположения.

4. Показана возможность обнаружения объектов наземной и воздушной техники по их акустическому излучению на удалениях в несколько километров.

### Литература

1. Красько А.С. Поддержка принятия решений по обеспечению общественной безопасности на городских территориальных объектах на основе оперативного анализа аудиоинформации: автореф. дис. на соискание научн. степени кандидата технических наук: спец. 05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах / А.С. Красько.– Уфа, 2011. – 16 с.

2. Системы обнаружения снайперов противника / Электронный ресурс <http://newsmilitary.narod.ru/VH-antisniperteh.html>.

3. Шум затухание звука при распространении на местности, часть 2. Общий метод расчета. Межгосударственный стандарт, ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613 -2:1996) // М.: Стандартиформ, 2006. – 42 с.

4. Исаакович М.А. Общая акустика / М.А. Исаакович. Учебное пособие. И-во «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, М.: 1973. – 495 с.

5. Бартон Д. Справочник по радиолокационным измерениям / Д. Бартон Г. Вард / Пер с английского под ред. М.М. Вейсберна. – М.: «Сов. Радио», 1976. –392 с.

### Bibliography (transliterated)

1. Krasko A.S. Podderzhka prinyatiya resheniy po obespecheniyu obschestvennoy bezopasnosti na gorodskih territorialnyih ob'ektah na osnove operativnogo analiza audioinformatsii: avtoref. dis. na soiskanie

nauchn. stepeni kandidata tehnikeskikh nauk: spets. 05.13.10 – Upravlenie v sotsialnyih i ekonomicheskikh sistemah. A.S. Krasko.– Ufa, 2011. – 16 p.

2. Sistemyi obnaruzheniya snayperov protivnika. Elektronnyiy resurs <http://newsmilitary.narod.ru/VH-antisniperteh.html>.

3. Shum zatuhanie zvuka pri rasprostraneniі na mestnosti, chast 2. Obschiy metod rascheta. Mezhgosudarstvennyiy standart, GOST 31295.2-2005 (ISO 9613 -2:1996). M.: Standartinform, 2006. – 42 p.

4. Isaakovich M.A. Obschaya akustika. M.A. Isakovich. Uchebnoe posobie. I-vo «Nauka», Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literaturyi, M.: 1973. – 495 p.

5. Barton D. Spravochnik po radiolokatsionnyim izmereniyami. D. Barton G. Vard. Per s angliyskogo pod red. M.M. Veysberna. – M.: «Sov. Radio», 1976. –392 p.

УДК 621.396.96:621.271.029.65

Луценко В.І., Луценко І.В., Соболяк О.В.

### **ПАСИВНІ АКУСТИЧНІ СИСТЕМИ РОЗВІДКИ, ДАЛЬНІСТЬ ЇХ ДІЇ ТА РОЗДІЛЬНА ЗДАТНІСТЬ**

Оцінена дальність дії і роздільна здатність систем акустичної розвідки, які використовують власне випромінювання наземних (транспортні засоби, люди) і аеродинамічних (літаки і вертольоти) об'єктів. Розглянуто вплив на спектри випромінювання атмосфери та підстилаючої поверхні. Для типових об'єктів спостереження отримані значення множника загасання для різних метеорологічних умов і оцінена дальність їх виявлення. Проаналізовано вплив атмосфери на роздільну здатність систем пасивної акустичної розвідки.

Lutsenko V.I., Lutsenko I.V., Sobolyak O.V.

### **PASSIVE S ACOUSTIC SYSTEMS OF RECONNAISSANCE, ITS RANGE OF ACTION AND RESOLUTION**

Range of action and resolution of acoustic reconnaissance systems which use intrinsic radiation of land (vehicles, people) and aerodynamic (planes and helicopters) objects is estimated. Influence on spectra of the atmosphere radiation and underlying surface is considered. Values of attenuation factor for standard object under observation and by different meteorological conditions are received and range of their detection is estimated. Influence of the atmosphere on resolution of passive acoustic reconnaissance systems is analyzed.

УДК 623.4.С47

Магерамов Л.К., Кроленко А.И., Сливар Е.Я., Нефедов А.В., Гулевский Ю.В.

### АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ДИНАМИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ ТРЕНАЖЕРОВ

Первые тренажеры были стационарными – все движения в машинах происходили только на экране. Сам же участник тренинга, сидя за штурвалом, не ощущал тряски и наклонов аппарата, поскольку кабина, пол и кресло тренажера оставались неподвижными. Но недостатки с имитацией действительности были исправлены довольно быстро: учебную кабину стали устанавливать на специальную платформу, которая могла раскачиваться в различных направлениях.

Сегодня подобных динамических платформ, предназначенных для разных видов техники, существует много: от подвижной копии кресла оператора до многоместных кабин. В основном динамические платформы различаются по количеству плоскостей, в которых может перемещаться тренажер. Простые платформы могут двигаться только в одной плоскости, более сложные имеют до шести степеней свободы. В последнем случае обучаемые перемещаются во всех трех координатных плоскостях. Для приведения динамических платформ в действие используются гидравлические, пневматические, электромеханические и электромагнитные приводы. Нюансы движения реальной техники имитируются путем управления приводом с помощью подачи соответствующих сигналов от системы управления, включающей компьютер. Например, создавая эффект езды по кругу, длительного торможения машины или, напротив, разгона, кабина тренажера по команде компьютера просто наклоняется в нужную сторону на заданный угол.

Реализовать необходимую динамическую интерактивность платформы гораздо сложнее, нежели сгенерировать правдоподобные картинки на экранах мониторов. Имитируя движение, разработчики сталкиваются с жесткими физическими ограничениями, но за счет усовершенствования конструкции тренажеров, например создания большого свободного хода и использования мощного привода, они создают нужный диапазон механических нагрузок для экипажа. И тогда во время тренингов возникают правдоподобные ощущения езды по неровностям местности или же прохождения крутого виража. Главная задача изготовителей тренажеров на динамических платформах состоит в том, чтобы человек реально ощущал перегрузки и небольшие перемещения в пространстве, поскольку подобные эффекты существенно повышают результативность тренировок.

При разработке динамического тренажера встает вопрос о степени подвижности имитаторов рабочих мест операторов в пространстве, т.е. о количестве степеней свободы, которое должна обеспечить динамическая платформа (ДП), разрабатываемого тренажера.

В настоящее время существуют динамические платформы с 1, 2, 3, 4, 5 и 6-ю степенями свободы, некоторые из них приводятся ниже.

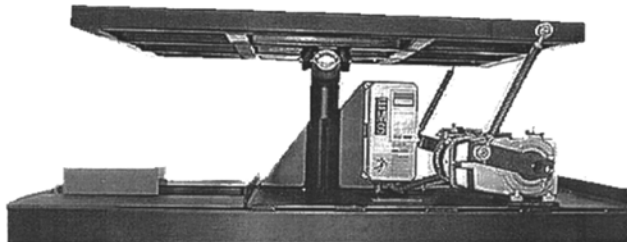


Рисунок 1 – Динамические платформы с 2-мя степенями свободы. Продольные угловые перемещения

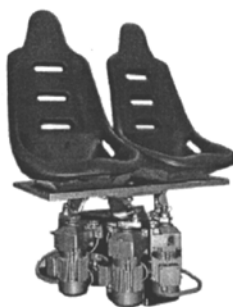


Рисунок 2 – Динамические платформы с 2-мя степенями свободы. Поперечные угловые перемещения

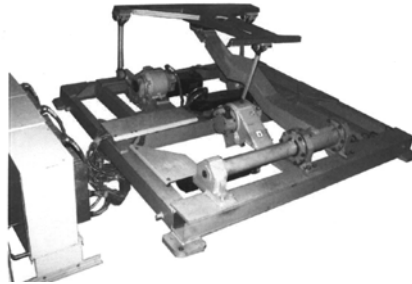


Рисунок 3 – Динамическая платформа с 3-мя степенями свободы  
1. Продольные угловые перемещения.  
2. Поперечные угловые перемещения.  
3. Вертикальные перемещения.

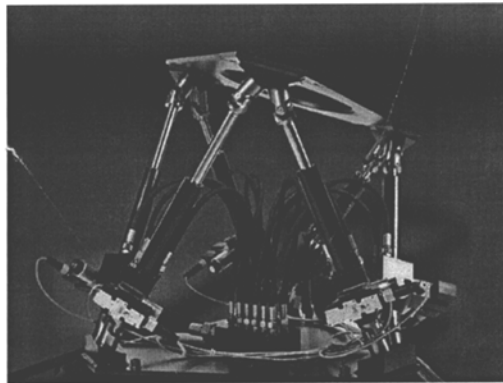


Рисунок 4 – Динамическая платформа с 6-ю степенями свободы, с гидроприводом

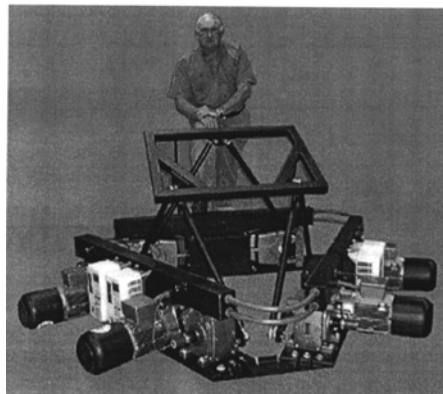


Рисунок 5 – Динамическая платформа с 6-ю степенями свободы, с электроприводом

Известно, что наибольшее распространение получили динамические платформы с 3-мя степенями свободы (рис. 3) и 6-ю степенями свободы (рис. 4 и 5).

У 6-ти степенной платформы дополнительными степенями свободы являются:

- продольные перемещения;
- поперечные перемещения;
- вращение вокруг вертикальной оси.

Рассмотрим поочередно, какие задачи решают динамические платформы.

1. Продольное перемещение

Реализованное перемещение равно  $\pm 250$  мм.

При таком перемещении возникает необходимость возврата ДП в исходное положение т.е. нужно создавать ускорение торможения и разгон в обратную сторону т.е. искажение динамики транспортного средства. Та же процедура и при торможении (тормозной путь танка со скорости 60 км/ч при  $f=0,3$  равен 54 м).



Імітація кратковременного ускорення, що виникає при стрільбі з пушки, можлива путем створення продольних кутових і лінійних коливань.

## 2. Поперечні переміщення

Реалізоване поперечне переміщення рівно  $\pm 250$  мм.

Поперечне переміщення необхідно для реалізації ускорень при поворотах, заносах, стрільбі з пушки на борт.

Центробежні ускорення при повороті на  $90^\circ$  діють кілька секунд (до 5 сек).

В цьому випадку важливо імітувати саме ускорення т.к. центробежна сила діє в поперечному напрямку і прижимає механіка-водителя і інших операторів к борту, ускладнюючи їх дії з органами управління танка, пошуку цілі і стрільби.

Імаючи поперечне переміщення ДП  $\pm 250$  мм можна імітувати незначительне рыскання по курсу, оскільки  $\pm 3^\circ$ , в часі 0,15 сек.

## 3. Вращення вокруг вертикальной оси

Реалізований кут вращення рівно  $\pm 30^\circ$

Рассмотрим так же случай поворота башни танка относительно корпуса.

Исходные данные:

– скорость вращения башни,  $\omega_{max}$   $40^\circ/\text{сек}$  ( $0,7/\text{сек}$ );

– расстояние от центра сидения наводчика  
или командира до оси вращения  $0,6$  м.

определим центростремительное ускорение действующее на операторов:

$$a = r\omega^2 = 0,6 \cdot 0,7^2 = 0,3 \text{ м/сек}^2,$$

при массе человека  $m = 75/9,81 = 7,6$  кг.

Боковая сила действующая распределенно на тело оператора будет равна:

$$p = 7,6 \cdot 0,3 = 2,3 \text{ кг},$$

Характеристики дополнительных степеней свободы, реалізовані в ДП з 6-ю степенями свободи, були розглянуті кожна в окремості, як незалежні одна від другої.

Но кабина тренажера совершает перемещение во всех направлениях одновременно и соответственно все они реализуются комплексным перемещением 6-ти стоек (штоков гидроцилиндров).

В настоящее время гидропривод на 6-ти степенных платформах практически повсеместно вытеснен электроприводом. В общем случае как для платформ с гидроприводом, так и для платформ с электроприводом пространственное положение верхней рамы определяется одними и теми же кинематическими соотношениями. На рис. 6 и 7 представлен один из вариантов классической компоновки платформы.

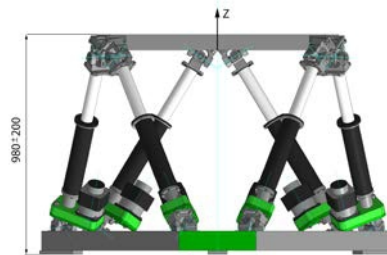


Рисунок 6 – Схема динамической платформы с 6-ю степенями свободы (1 часть)

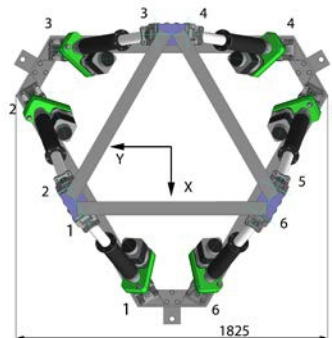


Рисунок 7 – Схема динамической платформы с 6-ю степенями свободы (2 часть)

Математическая модель работы 6-ти степенной платформы состоит из двух задач:

Прямая задача (основная) – нахождение длин опор по трём угловым и трём линейным координатам положения верхней рамы;

Обратная задача (дополнительная) – нахождение шести координат пространственного положения верхней рамы платформы по заданным значениям длин опор.

Дополнительная задача в практических целях решается лишь в демонстрационных приложениях и данное решение мы рассматривать не будем. Основная задача может быть решена несколькими способами. Рассмотрим один из них.

В качестве неподвижных опорных точек принимаются середины крестовин нижних карданов с координатами –  $X_{ni}, Y_{ni}, Z_{ni}$  ( $i=1..6$ ). В качестве подвижных опорных точек принимаются середины крестовин верхних карданов с координатами –  $X_{v0i}, Y_{v0i}, Z_{v0i}$  ( $i=1..6$ ). С геометрическим центром нижней рамы связана неподвижная (нижняя) система координат  $XYZ_n$ , с геометрическим центром верхней рамы – подвижная (верхняя) система координат  $XYZ_v$ . Элементы (направляющие косинусы) матрицы перехода от подвижной системы координат к неподвижной определяются следующим образом:

$$a_{11} = \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta);$$

$$a_{12} = \sin(\alpha) \cos(\beta) \cdot \sin(\gamma) + \sin(\beta) \cos(\gamma);$$

$$a_{13} = -\sin(\alpha) \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(\gamma) + \sin(\beta) \cdot \sin(\gamma);$$

$$a_{21} = -\cos(\alpha) \cdot \sin(\beta);$$

$$a_{22} = -\sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\gamma) + \cos(\beta) \cdot \cos(\gamma);$$

$$a_{23} = \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) \cos(\gamma) + \cos(\beta) \sin(\gamma);$$

$$a_{31} = \sin(\alpha);$$

$$a_{32} = -\cos(\alpha) \cdot \sin \gamma ();$$

$$a_{33} = \cos(\alpha) \cdot \cos(\gamma)$$

$\alpha$  – угол тангажа;

$\gamma$  – угол крена;

$\beta$  – угол рыскания.

Текущие координаты верхних карданов

$$X_{vi} = X + X_{v0i} \cdot a_{11} + Y_{v0i} \cdot a_{12} + Z_{v0i} \cdot a_{13};$$

$$Y_{vi} = Y + X_{v0i} \cdot a_{21} + Y_{v0i} \cdot a_{22} + Z_{v0i} \cdot a_{23};$$

$$Z_{vi} = Z + X_{v0i} \cdot a_{31} + Y_{v0i} \cdot a_{32} + Z_{v0i} \cdot a_{33},$$

где  $X, Y, Z$  – текущие координаты геометрического центра верхней рамы платформы.

Текущие длины тяг определяются из следующих уравнений:

$$L_i^2 = (X_{vi} - X_{ni})^2 + (Y_{vi} - Y_{ni})^2 + (Z_{vi} - Z_{ni})^2$$

Выводы:

1. В настоящее время наибольшее практическое применение получили 3-х и 6-ти степенные динамические платформы.
2. Гидропривод практически повсеместно вытеснен электроприводом с синхронными и реже с асинхронными электродвигателями.
3. Прямая задача для динамической платформы классической компоновки с 6-тью степенями свободы может быть решена с помощью одного из методов пространственной геометрии.
4. Существующие схемы динамических платформ, применяемых для тренажеров БТТ и др. техники, в достаточной мере обеспечивают имитацию перемещений оператора в реальной технике.

#### Литература

1. Величурский Г.А. Аппаратно-программные методы анализа надежности структурно-сложных систем. – Минск: Наука и техника, 1986. – 126 с.
2. Нечипоренко В.И. Структурный анализ и методы построения надежных систем. – М: Сов. радио, 1968. – 201 с.
3. Черкесов Г.Н., Можаяев А.С. Логико-вероятностные методы расчета надежности структурно-сложных систем. – М.: Знания, 1991. – 104 с.

4. Методы анализа и синтеза структур управляющих систем / Б.Г. Волик, Б.Б. Буянов, Н.В. Лубков и др.
5. Крайнев А.Ф. Словарь-справочник по механизмам – М. Машиностроение, 1987. – 75 с, 88 с, 256 с, 265 с.
6. Левитская О.Н., Левитский Н.И. Курс теории механизмов и машин – М. высшая школа, 1978. – 20 с, 21 с, 55 с, 103–112 с.
7. Платформа динамічна – «Опис до деклараційного патенту на корисну модель», Бюл. №8, 2002р – 1–2 с.

Bibliography (transliterated)

1. Velichurskiy G.A. Apparato-programmnyie metody analiza nadezhnosti strukturno-slozhnyih sistem. – Minsk: Nauka i tehnika, 1986. – 126 p.
2. Nechiporenko V.I. Strukturnyy analiz i metodyi postroeniya nadezhnyih sistem. – M: Sov. radio, 1968. – 201 p.
3. Cherkesov G.N., Mozhaev A.S. Logiko-veroyatnostnyie metodyi rascheta nadezhnosti strukturno-slozhnyih sistem. – M.: Znaniya, 1991. – 104 p.
4. Metodyi analiza i sinteza struktur upravlyayuschih system. B.G. Volik, B.B. Buyanov, N.V. Lubkov i dr.
5. Kraynev A.F. Slovar-spravochnik po mehanizam– M. Mashinostroenie, 1987. – 75 p, 88 p, 256 p, 265 p.
6. Levitskaya O.N., Levitskiy N.I. Kurs teorii mehanizmov i mashin – M. vysshaya shkola, 1978. – 20 p, 21 p, 55 p, 103–112 p.
7. Platforma dinamichna – «Opis do deklaratsiyynogo patentu na korisnu model», Byul. #8, 2002 – 1–2 p.

УДК 623.4.C47

Магерамов Л.К-А., Кроленко О.І., Сливар Є.Я., Нефьодов А.В., Гулевский Ю.В.

**АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ДИНАМІЧНИХ ПЛАТФОРМ ТРЕНАЖЕРІВ**

Проведено аналітичне дослідження шляхів рішення задачі по забезпеченню максимального приближення умов роботи оператора в кабіні тренажера до умов роботи в реальних виробках.

Mageramov L.K-A., Krolenko A.I., Slivar E.Ya., Nefedov A.V., Gulevsky Yu.V.

**ANALYSIS OF SIMULATORS DYNAMIC PLATFORMS DESIGN FEATURES**

An analytical study of the ways to solve the problem for provision of maximum approximation of the operator work in the simulator cabin to the operation conditions in real products has been carried out.

Оксенич Н.В., Долженко И.Ю., Комар Ю.Е., Лебедев В.А., Беличенко А.В.

## МОДУЛЬНЫЙ ПРИНЦИП ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСОВ ВООРУЖЕНИЯ ЛЕГКОЙ БРОНЕТАНКОВОЙ ТЕХНИКИ

**Введение.** Исторически сформированная триада требований к бронетанковой технике (БТТ) «подвижность–огневая мощь–защищенность», не смотря на уже свою столетнюю историю, и в XX веке не утратила своей актуальности.

Характер последних боевых столкновений на Ближнем Востоке, Северной Африке, а с недавних пор и на Донбассе определил все возрастающее доминирование мотопехотных мобильных соединений, которые используют легкую гусеничную и колесную технику. Представить современную армию без легкой БТТ, без моторизованных пехотных соединений невозможно – таковые уже стали основой наземных операций по всему миру.

Технический прогресс оказывает положительное влияние на внедрение в бронетанковую технику передовых технологий, которые, не смотря на высокий уровень функционального совершенства, предъявляя все возрастающие требования, как к уровню подготовки личного состава, так и к стоимости боевой единицы. В такой ситуации является закономерным и единственно верным стремление идеологов создания техники к интегрированию, как огневых средств поражения, так и задач, которые ставятся перед боевыми соединениями. Бронетранспортер, изначально предназначенный для доставки и легкого огневого прикрытия на поле боя десанта, стал слишком дорог, чтобы использовать его лишь для этих, довольно ограниченных, задач. Стремление обеспечить возможность самостоятельного ведения боевых и разведывательных действий против превосходящих огневой мощью и числом сил противника побуждал заказчиков выдвигать все новые и новые требования к перспективным образцам БТТ, а также к модернизации существующих.

### 1. Основные тенденции развития легкой БТТ

Рассматривая в целом систему «шасси-комплекс вооружения» можно выделить основные факторы, влияющие на оптимизацию полезной функции объекта легкой БТТ:

1. Совершенствование ходовых характеристик шасси (проходимость, маневренность);
2. Повышение уровня защищенности экипажа и десанта (применение композиционных материалов, навесного и разнесенного внешнего и внутреннего бронирования и экранирования);
3. Снижение уровня заметности (применение деформирующих и других специальных покрытий, уменьшение лобовой проекции);
4. Совершенствование средств навигации, связи, наблюдения;
5. Совершенствование комплекса вооружения (комплексирование нескольких средств поражения, применение комплекса управляемого ракетного вооружения, совершенствование систем управления огнем);
6. Стремление к модульности конструкции (универсализация и автономизация систем).

В данной публикации рассмотрен лишь вопрос совершенствования комплекса вооружения и место в нем модульного принципа проектирования как такового для объектов легкой БТТ.

Синтезируя различные способы повышения функционального совершенства комплекса вооружения можно выделить основные направления:

#### **1. Комплексирование (интеграция) средств поражения в едином блоке, что позволяет расширить номенклатуру поражаемых целей;**

- Пулеметно-пушечные системы. В состав, как правило, входит пулеметное либо пушечное вооружение калибра 7,62...12,7 мм и 20...30 мм соответственно. Получают распространение преимущественно в виде обитаемых (не дистанционно управляемых) установок. Этот факт у последних объясняется повышенным показателем критерия «эффективность–стоимость».

- ПТУР-системы. В качестве основного вооружения используются управляемые ракетные комплексы с числом пусковых направляющих от 1 до 4. В качестве вспомогательного вооружения – пулеметное калибра 7,62...12,7 мм.

- Многокомпонентные. Основное вооружение таких модулей – автоматическая пушка калибра 20...30 мм, вспомогательное – пулеметно-гранатометное вооружение, опционально – комплекс ПТРК, система постановки дымовых завес.

#### **2. Дистанционное управление комплексом;**

- Дистанционность управления модулем исключает нахождение оператора модуля в зоне действия подвижных частей.

- Дистанционное управление делает возможным управление модулем из нескольких точек (например, командир, оператор-стрелок) с соответствующим приоритетом выбора пульта управления с места командира.

**3. Вынесение боекомплекта и систем комплекса за бронированный объем;**

- Повышение защищенности экипажа и десанта в случае воздействия по боекомплекту.
- Значительное уменьшение (в случае частичного разнесения), либо полное исключение (в случае полного разнесения) загазованности обитаемого объема пороховыми газами, образующимися в результате применения оружия.

- Увеличение объема обитаемого отсека;

**4. Наличие совершенного комплекса управления огнем.**

- Стабилизированное наведение в двух плоскостях.
- Возможность обнаружения, опознавания, наведения и поражения с высокой вероятностью цели в любое время суток и при любой погоде.

- Наличие автономного панорамного прибора наблюдения с возможностью кругового обзора.

Интегрирование вооружения, а также систем его обеспечивающих определило предпосылки появления класса принципиально новых систем – дистанционно управляемых боевых модулей (ДУБМ)

**2. Предпосылки модульного подхода к проектированию комплексов вооружения**

Как известно, **модульный принцип** – особенность построения технических систем, заключающаяся в обеспечении возможности комплектования разнообразных технических систем с большим различием характеристик из небольшого, экономически обоснованного, количества типов и типоразмеров одинаковых первичных (типовых или стандартных) общих модуль-элементов (1). Характерными особенностями модульного принципа построения систем являются высокий уровень универсализации, унификации и автономизации их элементов.

Переход от интегральной к модульной схеме построения систем можно было отчетливо наблюдать с появлением персональных компьютеров. Именно модульной схеме обязан высочайший уровень унификации и взаимозаменяемости элементов этих систем в современном мире.

Ниже приведены положительные и отрицательные черты модульного метода проектирования технических систем.

Модульный принцип проектирования	
Достоинства	Недостатки
1. Минимальная степень интеграции элементов системы между собой.	1. Несколько большая трудоемкость на начальных этапах проектирования
2. Возможность перекомпоновки системы с учетом требований заказчика с минимальными временными и финансовыми затратами.	2. Необходимость решения многопараметрической оптимизационной задачи на этапах эскизного и технического проектов.
3. Технологичность и высокая степень готовности к крупноузловой кооперации на этапе подготовки производства и изготовления	
4. Возможность использования метода для создания техники двойного назначения.	

Характерной технической системой, воплотившей в себе модульную конструкцию, является бронетранспортер БТР-4 разработки ГП «ХКБМ». Решения, примененные при разработке его компоновочной схемы, позволили на основе базового БТР-4 (рис. 1) создать целое семейство специальных машин - бронированный ремонтно-эксплуатационный БТР, командирский БТР, командно-штабной и медицинский (рис. 2–рис. 4).



Рисунок 1 – БТР-4Е с ДУБМ «Парус»



Рисунок 2 – БРЭМ-4



Рисунок 3 – БСЭМ-4



Рисунок 4 – БТР-4КШ

### 3. Модульний принцип компоновки ДУБМ «Парус»

Перечисленные выше положительные стороны использования модульного подхода проектирования были локально применены специалистами ГП «ХКБМ» и при разработке ДУБМ «Парус» (рис. 5). (2)

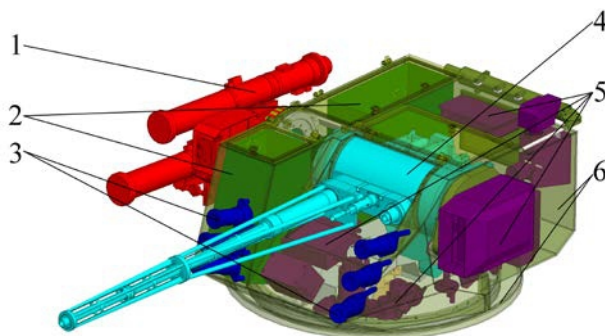


Рисунок 5 – Компоновка боевого модуля «Парус»

1 – пусковая установка; 2 – система боепитания; 3 – система постановки завесы (СПЗ); 4 – блок вооружения; 5 – элементы системы управления огнем (СУО); 6 – башня

Основными достоинствами ДУБМ «Парус» являются:

1. Высокая огневая мощь комплекса вооружения. Автоматическая пушка с двумя типами боеприпасов, пулемет и гранатомет обеспечивают поражение живой силы и легкобронированной техники. Наличие противотанкового управляемого ракетного комплекса обеспечивает огневое поражение потенциального противника с дистанции 5000 м, т.е. без риска вхождения в зону его огня.

2. Оснащенный двухплоскостным стабилизатором модуль обеспечивает высокую вероятность поражения цели с первого выстрела.

3. Полностью дистанционное управление боевым модулем обеспечивает:

3.1. Возможность управления модулем не только с места оператора, а также с места командира.

3.2. Возможность вынесения вооружения за пределы шасси, что обеспечивает большую защищенность десанта.

3.3. Снижение загазованности за счет разнесения внутреннего пространства модуля с внутренним пространством десантного отделения бронетранспортера с помощью защитных щитков.

4. Наличие панорамного устройства наблюдения, а также системы автоматического доворота модуля на точку визирования повышают тактические возможности бронетранспортера.

5. Боевой модуль не занимает внутреннее пространство внутри десантного отделения.

Достаточная автономность систем и значительный модернизационный потенциал ДУБМ «Парус» позволили в короткие сроки разработать и испытать новый блок вооружения с пушкой ЗТМ-2 или 2А42 (рис. 6) без значительного затрагивания остальных систем модуля.

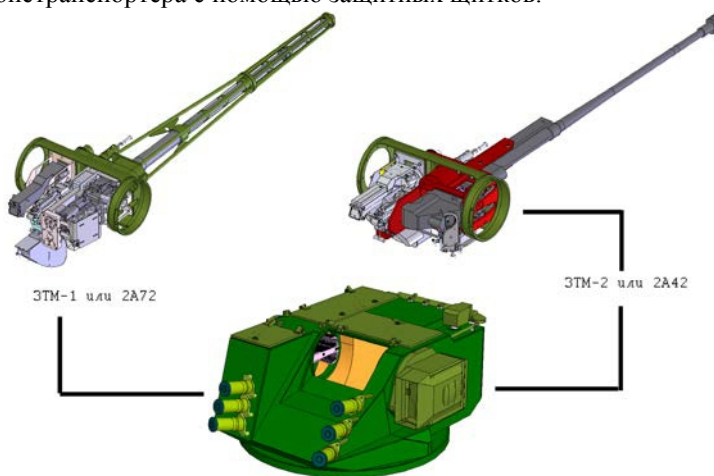


Рисунок 6 – Варианты блока вооружения с различными пушками в ДУБМ «Парус»



#### 4. Оценка уровня функционального совершенства комплексов вооружения легкой БТТ

Для обеспечения качественного анализа принятых технических решений было предложено использовать аппарат теории размерностей и подобия. Сформированные при помощи общих постулатов механики критерии подобия представляют собой безразмерные комплексы, объединенные одним общим принципом построения – отношением полезной функции объекта к затрачиваемой в эквивалентном выражении. (2,3).

Безразмерность представленных критериальных комплексов делает возможным системный анализ принципиально различных по характеристикам комплексов (4) с точки зрения реализации полезной функции.

В числитель выражения отнесем сумму начальных кинетических энергий снарядов, в том числе и ПТУР (при их наличии), а в знаменатель – некий эквивалент потенциальной энергии, характеризующий объемно-массовые характеристики модуля:

$$K_T = \frac{\sum_{n=1}^m (m_{0n} W_{0n}^2)}{2MgH},$$

где  $K_T$  – критерий массово-объемной мощности,  $m_0$  – масса снаряда у дульного среза,  $W_0$  – начальная скорость снаряда,  $M$  – масса боевого модуля,  $g$  – ускорение свободного падения,  $H$  – высота модуля,  $n$  – номер комплекса вооружения,  $m$  – общее количество комплексов вооружения.

Результаты анализа по данному критерию представлены в виде диаграммы на рис. 7.

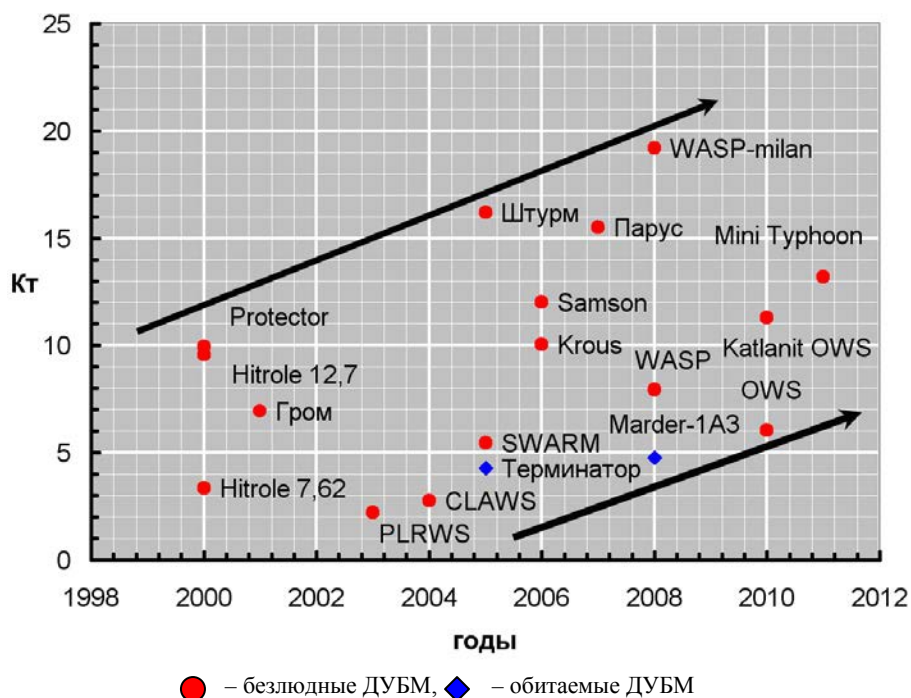


Рисунок 7 – Зависимость  $K_T$  от года выпуска ДУБМ

Данный критерий позволяет получить безразмерный коэффициент, который позволяет априорно оценить по базовым характеристикам модуля уровень функционального совершенства. Поскольку основным вооружением для боевых модулей являются пулеметно-гранатометные и пушечные системы малого калибра, то полезной функцией является суммарная кинетическая энергия залпа, что, однако, не может являться достаточной априорной оценкой. Данное соотношение позволяет качественно проанализировать уровень массово-габаритной мощности того или иного образца ДУБМ.

Анализ диаграммы позволяет сделать заключение об очевидном превосходстве безлюдных систем модульного типа по исследуемому параметру над обитаемыми. Построенный с использованием модуль-

ного принципа проектування ДУБМ «Парус» займає одну з лідируючих позицій по об'єктивному параметру масо-габаритної потужності.

#### Заключення

Модульний принцип проектування комплексів озброєння для легкої БТТ применительно к ДУБМ «Парус» подтвердил свою состоятельность, что подтверждается приведенным результатом критерийного исследования по объективным параметрам – по исследуемому показателю масо-габаритной мощности он не уступает ДУБМ ведущих мировых производителей.

#### Литература

1. Комплексный экономический анализ хозяйственной деятельности. Любушин Н.П. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Юнити-Дана, 2006. – 448 с.
2. Амброжевич А.В. Метод оценки энергетического совершенства импульсных тепловых машин с газообразным рабочим телом / А.В. Амброжевич, И.Ю. Долженко, А.В. Коломийцев и др. // Авиационно-космическая техника и технология. – №3/50, – 2008, – С. 5–10.
3. Борисюк М.Д., Метод формирования аэрогазодинамического облика перспективного броневойной оперенного подкалиберного снаряда (БОПС) / И.Ю. Долженко, Ю.К. Чернов и др. // Артиллерийское и стрелковое вооружение. - №3 (36), - 2010, - С. 3–8.
4. Электронные ресурсы, режим доступа: [www.militaryparitet.com](http://www.militaryparitet.com), [www.BTVT.narod.ru](http://www.BTVT.narod.ru).

#### Bibliography (transliterated)

1. Kompleksniy ekonomicheskiy analiz hozyaystvennoy deyatel'nosti. Lyubushin N.P. 3-e izd., pererab. i dop. – М.: Yuniti-Dana, 2006. – 448 p.
2. Ambrozhevich A.V. Metod otsenki energeticheskogo sovershenstva impulsnykh teplovykh mashin s gazoobraznyim rabochim telom. A.V. Ambrozhevich, I.Yu. Dolzhenko, A.V. Kolomiytsev i dr. Aviatcionno-kosmicheskaya tehnik i tehnologiya. – #3/50, – 2008, – P. 5–10.
3. Borisyuk M.D. Metod formirovaniya aerogazodinamicheskogo oblika perspektivnogo broneboynogo operennogo podkalibernogo snaryada (BOPS). I.Yu. Dolzhenko, Yu.K. Chernov i dr. Artilleriyskoe i strelkovoe vooruzhenie. #3 (36), 2010, P. 3–8.
4. Elektronnyye resursyi, rezhim dostupa: [www.militaryparitet.com](http://www.militaryparitet.com), [www.BTVT.narod.ru](http://www.BTVT.narod.ru).

УДК 623.52

Оксенич М.В., Долженко І.Ю., Комар Ю.Є., Лебедєв В.А., Беліченко О.В.

#### МОДУЛЬНИЙ ПРИНЦИП ПРОЕКТУВАННЯ КОМПЛЕКСІВ ОЗБРОЄННЯ ЛЕГКОЇ БРОНЕТАНКОВОЇ ТЕХНІКИ

Проведено аналіз тенденцій розвитку підвищення рівня функціональної досконалості легкої БТТ у частині комплексу озброєння, а також отримані критерії, що дозволяють апіорно оцінювати по базових характеристиках модуля рівень функціональної досконалості. Показана перспективність модульного підходу до проектування бойових модулів броньованих машин.

Oksenih N.V., Dolzhenko I.Y., Komar Y.E., Lebedev V.A., Belichenko A.V.

#### MODULAR PRINCIPLE OF ARMORED COMPLEXES OF ARMORED VEHICLES DEVELOPMENT

The analysis of progress of increase of level of functional perfection of easy armored vehicles trends is Conducted in part of complex of armament, and also a criterion is got allowing a priori to estimate the level of functional perfection on base descriptions of the module. The perspective of modular development method of overhead modules of armored vehicles is shown.



УДК 681.527

Слюсаренко Ю.А.

## СИНТЕЗ ЦИФРОВОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРО-ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КУРСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМОБИЛЯ КАТЕГОРИИ N<sub>3</sub>

### 1. Постановка задачи

Динамические характеристики автомобиля существенно зависят и от изменения внешней среды – разъезд на узких дорогах с транспортом, движущимся навстречу с большой относительной скоростью, создающий мощный боковой импульс давления, порывы ветра, выбоины, ямы и прочие случайные факторы, которые не позволяют сохранить прямолинейность движения автомобиля.

Исходя из этого, такой объект управления, как автомобиль, который является основным в цепочке водитель – рулевое управление – автомобиль – дорога, должен быть устойчивым в движении. При этом водитель транспортного средства должен иметь возможность управлять автомобилем таким образом, чтобы исключить возникновение опасных ситуаций, иметь возможность откорректировать, а затем и стабилизировать режим движения.

Если транспортное средство при движении автомобиля на прямолинейном участке дороги начинает уклоняться в сторону, то возникает необходимость корректировки направления движения поворотом рулевого колеса, что в свою очередь при неправильных действиях водителя может вызвать автоколебания управляемых колёс. Однако избыточная курсовая устойчивость автомобиля так же может спровоцировать ДТП, поскольку в этом случае машина ограничена в маневренности [5].

Современное автомобилестроение – компании: Mercedes-Benz, Honda, Volvo, Toyota, Renault и др. рассматривают вопрос курсовой устойчивости автомобиля с особой тщательностью и устанавливают на свои автомобили пропорциональные электрические или гидравлические усилители рулевого управления. По статистике 14% дорожно-транспортных происшествий автомобилей категории N<sub>3</sub> в мире происходит по причине потери управляемости на прямолинейном участке дороги. В протоколах автоинспекции в таких случаях чаще всего звучит причина ДТП – «водитель не справился с управлением», что в свою очередь позволяет ошибочно связать психо-эмоциональное состояние водителя со случившимся дорожно-транспортным происшествием. Но реальность не всегда такова. Во время движения автомобиля взаимодействуют такие обязательные факторы динамической системы как водитель – рулевое управление – автомобиль – дорога.

В процессе прямолинейного движения автомобиля категории N<sub>3</sub>, оборудованного гидроусилителем рулевого управления, обеспечивающим постоянное усилие на рулевом колесе, со скоростью более 60 км/час по относительно ровному и гладкому дорожному покрытию иногда возникают автоколебания управляемых колёс см. серию кадров видеорегистратора, приведенных на рисунке 1.1. Причинами возбуждения автоколебаний, в том числе с увеличивающейся амплитудой, могут послужить связанные с условиями движения (неровность дорожного покрытия, аква-планирование, порыв ветра и др.) ошибочные знакопеременные корректирующие воздействия водителя на рулевое колесо, не корректно учитывающие инерционность автомобиля.

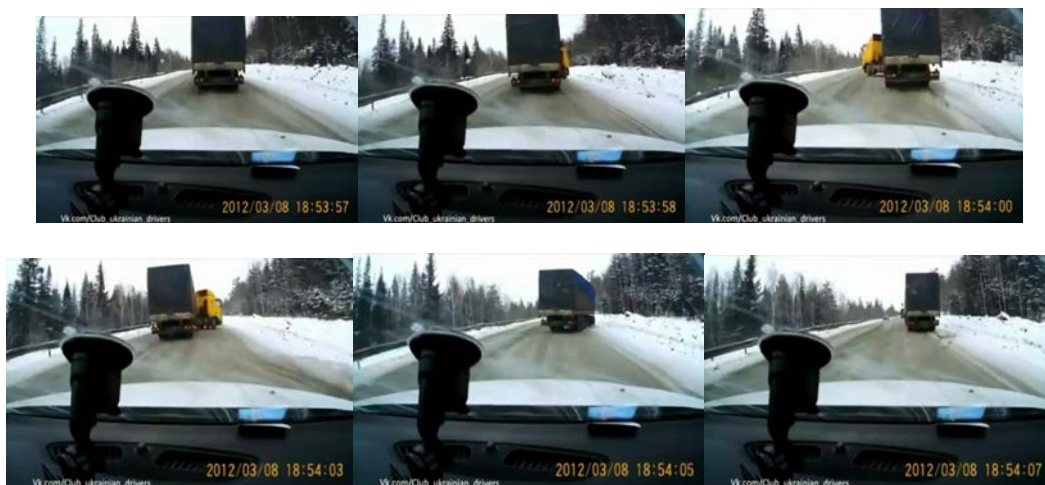


Рисунок 1.1 – Колебания управляемых колёс грузового автомобиля

Частота автоколебаний управляемых колёс в зависимости от опыта водителя и конструктивных особенностей рулевого управления может находиться в пределах 0,3÷3 Гц, а амплитуда может достигать десяти и более градусов.

Таким образом, задача повышения курсовой устойчивости автомобиля категории N<sub>3</sub> за счёт применения активного автоматизированного рулевого управления в виде цифровой автоматизированной системы курсовой устойчивости (АСКУ) является актуальной.

**2. Принцип работы цифровой автоматизированной электро-гидравлической системы курсовой устойчивости автомобиля, оборудованного гидроусилителем рулевого управления**

Принцип работы системы заключается в обеспечении пропорционального регулирования в пределах эргономических норм усилия (момента сопротивления вращению) на рулевом колесе в зависимости от скорости движения автомобиля – чем выше скорость движения автомобиля, тем больше момент сопротивления вращению рулевого колеса.

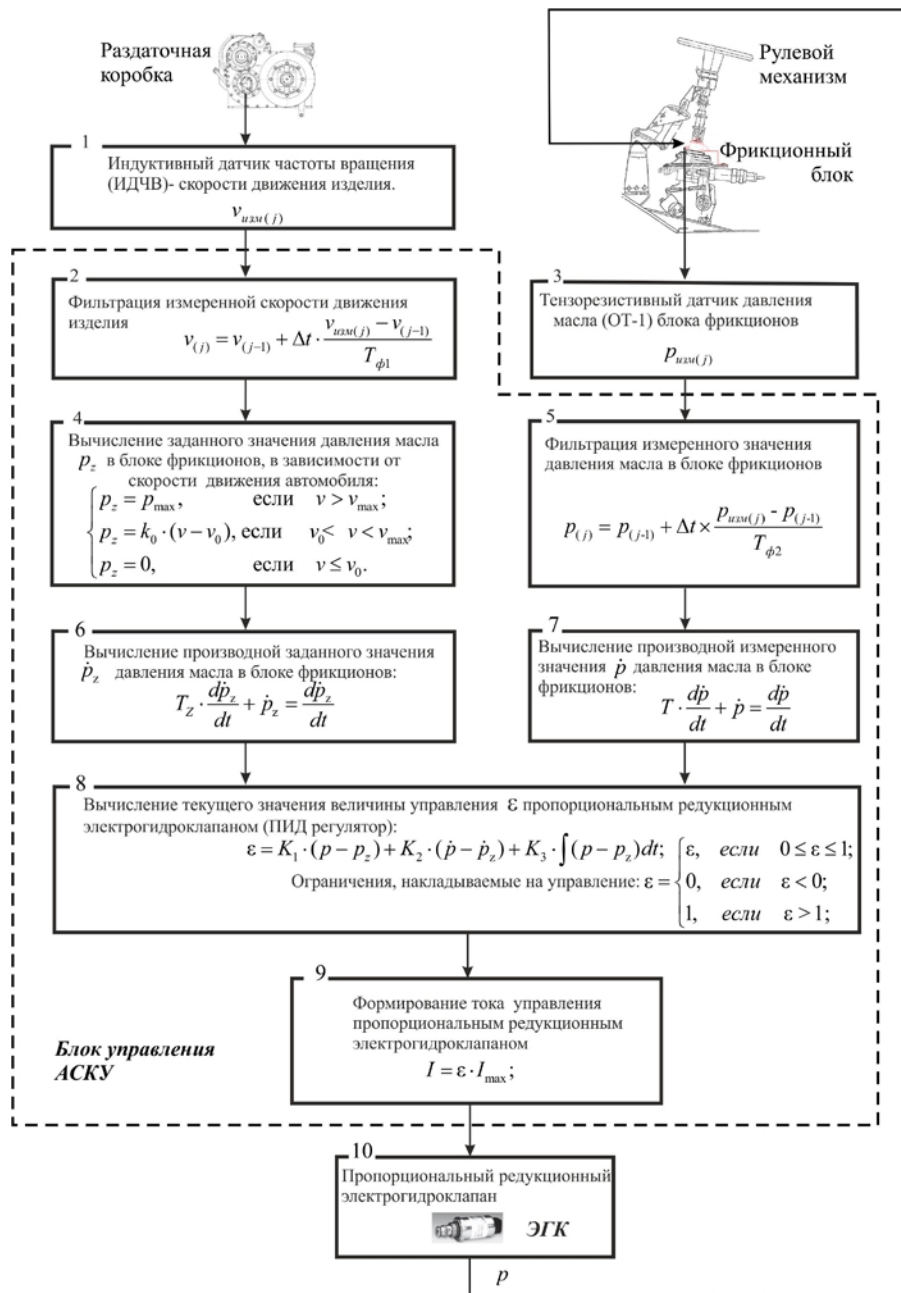


Рисунок 2.1 – Структурная схема АСКУ

Регулирование усилия на рулевом колесе обеспечивается за счет установки в штатный рулевой механизм специально разработанного гидромеханического фрикционного блока, конструкция и расчёт параметров которого приведены ниже.

Таким образом, система призвана препятствовать резкому повороту рулевого колеса при движении автомобиля на высоких скоростях.

Повышение курсовой устойчивости автомобиля категории  $N_3$  имеет существенное влияние на безопасность движения в диапазоне скоростей от средней 60 км/час до максимальной 110 км/час [6].

При управлении автомобилем на скоростях движения менее 60 км/час наоборот требуется повышенная маневренность, особенно в городских условиях, поэтому в этом случае система отключается.

Структурная схема предлагаемой цифровой автоматизированной электро-гидравлической системы курсовой устойчивости автомобиля, на примере бронетранспортёра БТР-4Е, приведена на рисунке 2.1. Здесь имеют место следующие обозначения:

$v_{изм(j)}$  – измеренное значение скорости движения автомобиля на текущем такте работы системы;

$v_{(j)}$  – фильтрованное значение измеренной скорости движения автомобиля;

$v_{(j-1)}$  – фильтрованное значение измеренной скорости движения автомобиля на предыдущем такте работы АСКУ;

$\Delta t$  – длительность такта работы АСКУ;

$T_{\phi 1}$  – постоянная времени фильтра;

$p_z$  – заданное значение давления масла в поршневой камере фрикционного блока;

$\dot{p}_z$  – производная заданного значения давления масла в поршневой камере фрикционного блока [8];

$p_{max}$  – максимальное значение давления масла в поршневой камере фрикционного блока;

$v_{max}$  – значение скорости движения автомобиля (110 км/час), соответствующее максимальному усилию на рулевом колесе;

$v_0$  – значение скорости движения автомобиля (60 км/час), при котором происходит выключение АСКУ;

$k_0 = \frac{p_{max}}{(v_{max} - v_0)}$  – коэффициент пропорциональности;

$T_Z$  – постоянная времени дифференцирующего звена;

$p_{изм(j)}$  – измеренное значение давления масла в поршневой камере фрикционного блока;

$p_{(j)}$  – фильтрованное значение измеренного давления в поршневой камере фрикционного блока;

$p_{(j-1)}$  – фильтрованное значение измеренного давления в поршневой камере фрикционного блока на предыдущем такте работы АСКУ;

$T_{\phi 2}$  – постоянная времени фильтра;

$\dot{p}$  – производная измеренного значения давления масла в поршневой камере фрикционного блока [8];

$T$  – постоянная времени дифференцирующего звена;

$\varepsilon$  – величина управления цифрового пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регулятора [9];

$K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$  – коэффициенты усиления при пропорциональной, дифференциальной и интегральной составляющей ПИД-регулятора соответственно;

$I$  – значение тока управления в обмотке электромагнита пропорционального редукционного электрогидроклапана (ЭГК);

$I_{max}$  – максимальное значение тока управления в обмотке электромагнита пропорционального редукционного электрогидроклапана (ЭГК).

Структурная схема АСКУ построена на базе цифрового ПИД-регулятора. Выбор оптимальных коэффициентов усиления  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$  выполняется вариационным методом [7] в результате математического моделирования работы системы. При этом, критерием оптимальности коэффициентов усиления служит минимальное значение интегрального квадратичного функционала вида:

$$F(v, K_1, K_2, K_3) = \min \left\{ \int_{t_1}^{t_2} (p - p_z)^2 dt \right\} \quad (2.1)$$

на фіксованому інтервалі часу  $t_1 \div t_2$ .

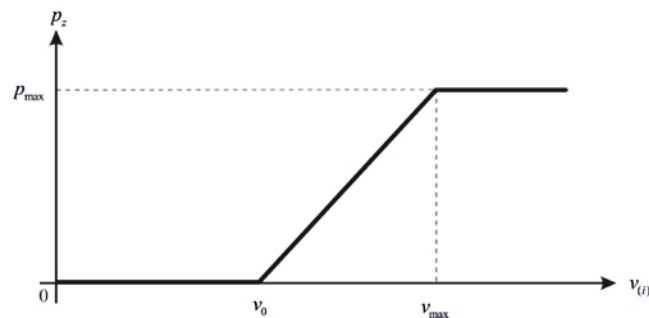


Рисунок 2.2 – Закон формування заданного значення тиску в поршневої камері фрикційного блоку

Закон формування заданного значення тиску  $p_z$ , а рівно зусилля на кермовому колесі  $F_{pk}$ , см. блок 4 на рисунку 2.1 і рисунок 2.2, може уточнюватися по результатам ходових випробувань при русі по рівних ділянках автомобільних доріг 1<sup>ї</sup> і 2<sup>ї</sup> категорії на основі експертної оцінки водія-випробувача і зовнішніх спостерігачів, русі слідом за іншим транспортним засобом.

### 3. Технічна реалізація АСКУ в изделиі БТР-4Е і принципи її функціонування

Фрикційний блок, зображений на рисунку 3.1, складається з нерухомого корпусу 2, закріпленого на підлозі кабіни, в якій знаходиться поршень 1 з ущільнювальними кільцями 10 і 11, корпусної шлицевої втулки 3 з ведомими дисками тертя 8. Підвижний вал 5 з ведучими дисками 9 і верхньої кришкою 6 встановлений в корпусі на бронзових втулках 7 і 12. Конструкція в зборі утримується стопорним кільцем 4.

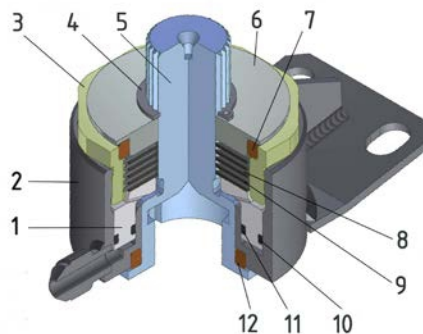


Рисунок 3.1 – Фрикційний блок

1 – поршень; 2 – корпус; 3 – втулка корпусна; 4 – кільце стопорне; 5 – вал; 6 – кришка верхня; 7 – втулка верхня; 8 – диск ведомий; 9 – диск ведучий; 10, 11 – кільця ущільнювальні; 12 – втулка нижня

Фрикційний блок встановлюється на валу між кермовим колесом і кермовим механізмом (рис. 3.2). Вал фрикційного блоку 3 з'єднаний з карданним валом 2 кермової колонки 1 і передає обертання останньої на кермовий механізм 4.

При подачі робочої рідини з певним тиском в поршкову камеру фрикційного блоку, поршень площею  $S_n = 15 \text{ см}^2$  стискає фрикційні диски з відповідним зусиллям. Виникаючі при цьому в дисках сили тертя створюють момент, протилежний напрямку обертання кермового колеса і приводять до збільшення зусилля на кермовому колесі до заданої електронним блоком величини.

При зменшенні тиску в поршковій камері фрикційного блоку стиснення дисків, а відповідно, і сила тертя в них послаблюється, зменшуючи зусилля на кермовому колесі.

В конструкції фрикціону застосовані раніше розроблені і добре зарекомендували себе в роботі в інших вузлах, сталі фрикційні диски з  $R_n = 2,45 \text{ см}$ ,  $R_g = 1,35 \text{ см}$ . По три ведучих і три ведомих диска складають шість пар тертя ( $z = 6$ ). Коефіцієнт тертя  $f_{mp}$  для пари «сталі по ста-

ли», працюючої всуху при малих швидкостях переміщення і чистій обробці поверхностей дисків прийнят рівним 0,1 [2].

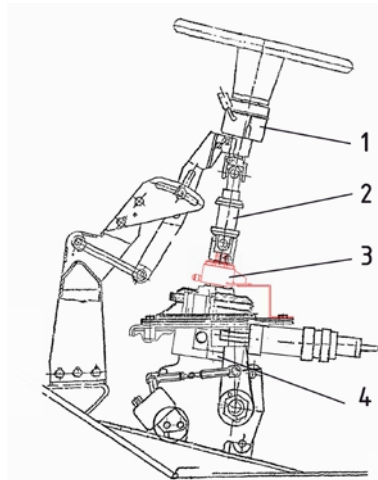


Рисунок 3.2 – Установка фрикционного блока  
1 – рулевая колонка; 2 – карданный вал; 3 – фрикционный блок; 4 – рулевой механизм

Для управления давлением в поршневой камере фрикционного блока в контуре рулевого управления гидросистемы бронетранспортера устанавливается пропорциональный редуцирующий электрогидроклапан *КР*. На рисунке 3.3 приведена схема гидравлическая принципиальная модифицированного контура рулевого управления БТР-4Е с исполнительными механизмами и датчиком давления АСКУ [10].

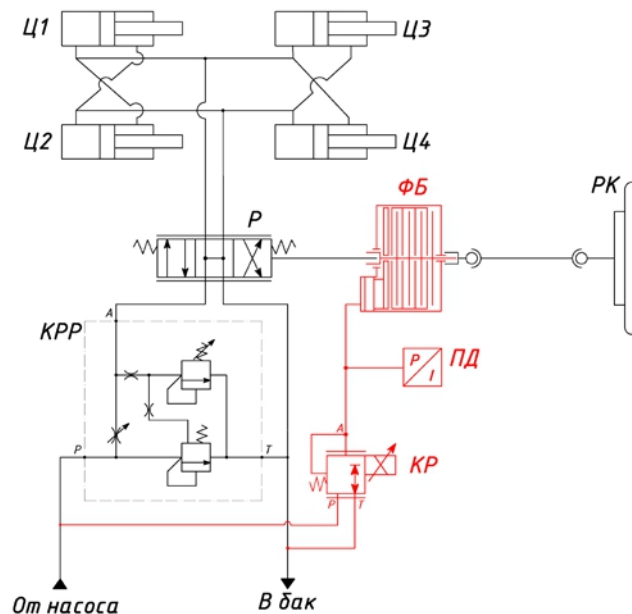


Рисунок 3.3 – Модифицированный контур рулевого управления с исполнительными механизмами и датчиком давления АСКУ. Схема гидравлическая принципиальная  
ФБ – фрикционный блок; Р – рулевой механизм; РК – рулевое колесо; КР – клапан редуцирующий пропорциональный; ПД – датчик давления; КРР – комбинированный регулятор расхода с предохранительным клапаном; Ц1...Ц4 – гидроцилиндр рулевого управления

#### 4. Описание конструкции и расчёт параметров фрикционного блока АСКУ

Для расчёта параметров фрикционного блока необходимо определить зависимость усилий на рулевом колесе, от величины силы трения в тормозящем фрикционе.

Условие равенства моментов на ведущем и ведомом конце рулевой колонки согласно [1] может быть записано в виде:

$$M_{pk} = M_{\phi} + M_{\Delta}, \text{ кгс}\cdot\text{см}, \quad (4.1)$$

где  $M_{pk}$  – момент рулевой колонки, возникающий при воздействии водителя на рулевое колесо, кгс·см;  $M_{\phi}$  – момент трения фрикционного блока, кгс·см;  $M_{\Delta}$  – постоянный момент, обеспечиваемый настройкой штатного гидроусилителя рулевого управления, кгс·см.

Момент рулевой колонки  $M_{pk}$  определяется по формуле:

$$M_{pk} = F_{pk} \cdot R_{pk}, \text{ кгс}\cdot\text{см}, \quad (4.2)$$

где  $F_{pk}$  – усилие, прикладываемое водителем к рулевому колесу, кгс;  $R_{pk}$  – радиус рулевого колеса, см.

Момент трения фрикциона  $M_{\phi}$  согласно [1] определяется выражением:

$$M_{\phi} = F_{\phi p} \cdot f_{mp} \cdot z \cdot R_c, \text{ кгс}\cdot\text{см}, \quad (4.3)$$

где  $F_{\phi p}$  – усилие, сжимающее диски трения, кгс;  $f_{mp}$  – коэффициент трения;  $z$  – число пар трущихся поверхностей;  $R_c$  – радиус приложения равнодействующей элементарных сил трения, возникающих на дисках трения, см.

Формула для вычисления усилия прижима фрикционных дисков  $F_{\phi p}$ :

$$F_{\phi p} = p \cdot S_n, \text{ кгс}, \quad (4.4)$$

где  $p$  – давление жидкости в поршневой камере тормозящего фрикциона, кгс/см<sup>2</sup> регулируемое пропорциональным редукционным электрогидроклапаном (рисунок 3.3);  $S_n$  – площадь поршня фрикциона, см<sup>2</sup>.

Радиус приложения равнодействующей элементарных сил трения  $R_c$ , см принято определять по формуле [1]:

$$R_c = \frac{R_n + R_g}{2}, \quad (4.5)$$

где  $R_n$  – наружный радиус диска трения, см;  $R_g$  – внутренний радиус диска трения, см.

Следовательно, величину усилия на рулевом колесе как функцию от давления в поршневой камере тормозящего фрикциона  $F_{pk} = f(p)$ , кгс можно записать как:

$$F_{pk} = p \cdot S_n \cdot f_{mp} \cdot z \cdot \frac{R_c}{R_{pk}} + \Delta. \quad (4.6)$$

Учитывая выражение (4.5) можно записать:

$$F_{pk} = p \cdot \frac{S_n \cdot f_{mp} \cdot z \cdot (R_n + R_g)}{2R_{pk}} + \Delta. \quad (4.7)$$

Поскольку двойной радиус рулевого колеса есть его диаметр, то

$$2R_{pk} = D_{pk}, \quad (4.8)$$

где  $D_{pk}$  – диаметр рулевого колеса.

Тогда выражение для расчёта усилия на рулевом колесе в зависимости от величины давления в поршневой камере фрикционного блока примет вид:

$$F_{pk} = p_n \cdot \frac{S_n \cdot f_{mp} \cdot z \cdot (R_n + R_g)}{D_{pk}} + \Delta, \text{ кгс}. \quad (4.9)$$

Параметры  $S_n$ ,  $R_n$ ,  $R_g$ ,  $z$  и  $D_{pk}$  определяются конструкцией фрикционного блока, а так же рулевого колеса и являются постоянными величинами; Коэффициент трения  $f_{mp}$  зависит от материала трущихся пар и в меньшей степени от температуры и скорости скольжения, его также в первом приближении можно считать постоянной величиной. Варьируя значениями давления в поршневой камере фрикционного блока  $p$  можно получить необходимые значения усилий на рулевом колесе. Фрикционный блок позволит пропорционально регулировать дополнительное усилие  $F_{pk}$  на рулевом колесе, диаметр которого  $D_{pk} = 40$  см, в диапазоне от 0 до 10 кгс при изменении давления в поршневой камере фрикционного блока от 0 до  $p_{max} = 1,8$  МПа. Учитывая постоянный момент с усилием на рулевом колесе  $\Delta \approx 6,5$  кгс, обеспечиваемый настройкой штатного гидроусилителя рулевого управления, при максимальном давлении 1,8 МПа в поршневой камере фрикционного блока суммарное усилие на рулевом колесе может достигать 16,5 кгс, что находится в пределах эргономических норм для водителей автомобилей категории N<sub>3</sub>.

### 5. Электрогидравлический исполнительный механизм и датчик давления АСКУ

Характеристики пропорционального редуцирующего электро-гидроклапана представлены в таблице на рисунке 5.1 [3].

Клапан редуцирующий пропорциональный FTDRE 2K	
Условный проход Ду, мм	2
Максимальное редуцируемое давление P <sub>A</sub> , бар	18
Максимальное входное давление P <sub>p</sub> , бар	100
Расход (при Δp = 7 бар), л/мин	2
Рабочая температура, °C	-30...+120
Температура жидкости, °C	-30...+80
Масса, не более, кг	0,16
Тип электрического тока	постоянный
Напряжение, В	24
Макимальный ток, А	0,8
Сопротивление обмотки (20 °C), Ом	12
Продолжительность включения	100%
Частота импульсов (рекомендуемая), Гц	150




Рисунок 5.1– Характеристики пропорционального редуцирующего электрогидроклапана

Регулирование давления на выходе редуцирующего клапана (канал А рисунок 3.3) осуществляется электронным блоком АСКУ, подающим управляющий электрический сигнал на обмотку электромагнита редуцирующего электрогидроклапана в зависимости от скорости движения автомобиля. Диаграмма работы пропорционального редуцирующего электрогидроклапана, согласно данным производителя, представлена на рисунке 5.2.

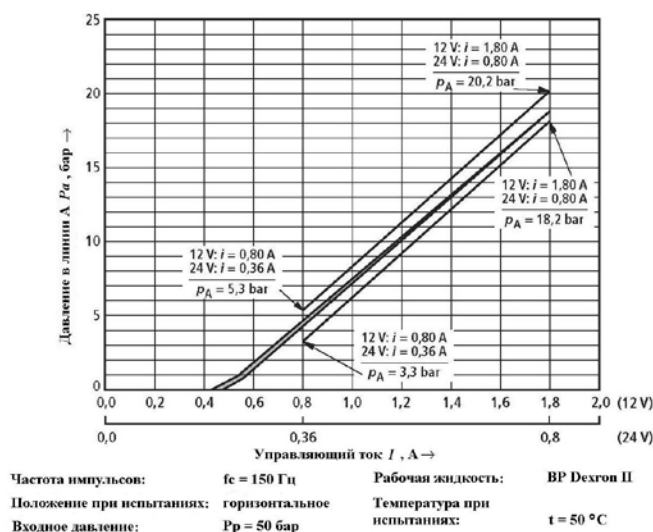


Рисунок 5.2 – Диаграмма работы пропорционального редуцирующего электрогидроклапана (ЭГК)



Обратная связь с электронным блоком АСКУ (блок 3 рисунок 2.1) осуществляется с помощью датчика (ПД рисунок 3.3), измеряющего давление в поршневой камере фрикционного блока.

Параметры тензорезистивного датчика давления представлены в таблице на рисунке 5.3 [4].

Производитель	WIKA Alexander Wiegand (Германия)	
Номер по каталогу	OT-1 (новое наименование) или МН-2 (устаревшее наименование)	
Тип	Тензорезистивный	
Диапазоны давления	0...25 бар	
Погрешность	1 %	
Выходной сигнал	4-20 мА (двухпроводное подключение)	
Питание	10...30 В постоянного тока	
Присоединение	G1/4	
T <sub>раб</sub> измеряемой среды	-40 °С...+125 °С	
T <sub>раб</sub> окружающей среды	-40 °С...+100 °С	
Защита от ударных нагрузок	500g (механический удар)	
Защита от вибрации	20g (вибрация в условиях резонанса)	
Материалы, контактирующие с измеряемой средой	Нержавеющая сталь с добавками CrNi	
Пылевлагозащита	IP67	
Масса	70 г	

Рисунок 5.3 – Тензорезистивный датчик давления OT-1

### 6. Выводы и рекомендации

1. Предложено решение проблемы повышения безопасности эксплуатации автомобилей категории N<sub>3</sub>, при прямолинейном движении на высоких скоростях по автомобильным дорогам общего пользования за счёт использования цифровой автоматизированной электрогидравлической системы курсовой устойчивости (АСКУ) автомобиля категории N<sub>3</sub>, построенной на базе пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора.

2. Выполнен параметрический синтез и предложена конструктивная реализация составных частей Системы курсовой устойчивости автомобиля на примере её интеграции в штатный контур рулевого управления бронетранспортёра БТР-4Е.

3. Предложенная в статье структурная схема Системы курсовой устойчивости, может быть адаптирована для автомобилей всех категорий, оборудованных штатным гидроусилителем рулевого управления с постоянным усилием на рулевом колесе.

### Литература

1. «Конструкция и расчет танков», д.т.н., проф., инженер-полковник А.Г. Козлов, к.т.н., доц., инженер-полковник К.А. Талу, М. Военная ордена Ленина академия бронетанковых войск им. И.В.Сталина, 1958 г.
2. «Трение, изнашивание и смазка», справочник, т.1, под ред. д.т.н., проф. И.В. Крагельского и к.т.н. В.В. Алисина, М. Машиностроение, 1978 г.
3. Каталог RE 58032, Bosch Rexroth AG, Industrial Hydraulics, D-97813 Lohr am Main, 2003.
4. Каталог RE 81.37, WIKA Alexander Wiegand GmbH & Co, 2002.
5. Литвинов А.С., Фаробин Я.Е., Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств. М.:Машиностроение, 1989г.– 240 с.
6. Смирнов Г.А., Теория движения колёсных машин. – 2е изд. доп. и перераб., М.:Машиностроение, 1990 г. – 352 с.
7. Слюсаренко Ю.А. Вариационный метод решения задачи поиска оптимальных параметров закона управления, в процессе синтеза системы автоматизированного управления поворотом боевой гусеничной машины. // «Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України», 2011 г., №1(17), – с. 54–62.
8. Летов А.М. Математическая теория процессов управления. – М.: Наука, 1981. –255 с.
9. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука, 1972. – 767 с.
10. Попов Д.Н. Динамика и регулирование гидро и пневмосистем.– М.: Машиностроение, 1982.–504 с.



Bibliography (transliterated)

1. «Konstruktsiya i raschet tankov», d.t.n., prof., inzhener-polkovnik A.G. Kozlov, k.t.n., dots., inzhe-ner-polkovnik K.A. Talu, M. Voennaya ordena Lenina akademiya bronetankovyih voysk im. I.V.Stalina, 1958.
2. «Trenie, iznashivanie i smazka», spravochnik, t.1, pod red. d.t.n., prof. I.V. Kragelskogo i k.t.n. V.V. Alisina, M. Mashinostroenie, 1978.
3. Katalog RE 58032, Bosch Rexroth AG, Industrial Hydraulics, D-97813 Lohr am Main, 2003.
4. Katalog RE 81.37, WIKA Alexander Wiegand GmbH & Co, 2002.
5. Litvinov A.S., Farobin Ya.E., Avtomobil: Teoriya ekspluatatsionnyih svoystv. M.:Mashinostroenie, 1989.– 240 p.
6. Smirnov G.A., Teoriya dvizheniya kolyosnyih mashin. – 2e izd. dop. i pererab., M.:Mashinostroenie, 1990.– 352 p.
7. Slyusarenko Yu.A. Variatsionnyiy metod resheniya zadachi poiska optimalnyih parametrov zakona upravleniya, v protsesse sinteza sistemyi avtomatizirovannogo upravleniya povorotom boevoy gusenichnoy mashinyi. «Zbirnik naukovih prats Akademiyi vnutrishnih viysk MVS UkraYini», 2011, #1(17), – p. 54–62.
8. Letov A.M. Matematicheskaya teoriya protsessov upravleniya. – M.: Nauka, 1981. –255 p.
9. Besekerskiy V.A., Popov E.P. Teoriya sistem avtomaticheskogo regulirovaniya.– M.: Nauka, 1972.–767 p.
10. Popov D.N. Dinamika i regulirovanie gidro i pnevmosistem. – M.: Mashinostroenie, 1982. –504 p.

УДК 681.527

Слюсаренко Ю.О.

**СИНТЕЗ ЦИФРОВОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ЕЛЕКТРО-ГІДРАВЛІЧНОЇ СИСТЕМИ КУРСОВОЇ СТІЙКОСТІ АВТОМОБІЛЯ КАТЕГОРІЇ N<sub>3</sub>**

В статті розроблені принципи створення автоматизованої цифрової Системи курсової стійкості на прикладі її інтеграції в контур кермового управління колісного бронетранспортера, обладнаного штатним гідро-підсилювачем, з метою підвищення безпеки руху на високих швидкостях.

Sljusarenko J.A.

**SYNTHESIS DIGITAL AUTOMATED ELECTRO-HYDRAULIC SYSTEM OF COURSE STABILITY FOR THE CAR OF CATEGORY N<sub>3</sub>**

In article principles of a building course stability System on an example its integration into a contour of a steering wheel armored personnel carrier equipped with the regular hydro-amplifier, for the purpose of increase safety moving on high speeds are developed.

Слюсаренко Ю.А., Шипулин А.А., Гриневич Ю.С., Максимов Р.В.

## ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ КРУПНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

### 1. Обзор современных сетевых технологий

Компьютерной сетью называют совокупность узлов (компьютеров, терминалов, периферийных устройств), имеющих возможность информационного взаимодействия друг с другом с помощью специального коммуникационного оборудования и программного обеспечения.

Размеры сетей варьируются в широких пределах – от пары соединенных между собой компьютеров, стоящих на соседних столах, до сотен миллионов компьютеров, разбросанных по всему миру (часть из них может находиться на космических объектах).

По широте охвата принято деление сетей на несколько категорий – локальные и глобальные.

*Локальные вычислительные сети (ЛВС) или LAN (Local-Area Network)*, позволяют объединять компьютеры, расположенные в ограниченном пространстве. Для локальных сетей, как правило, прокладывается специализированная кабельная система, и положение возможных точек подключения абонентов ограничено этой кабельной системой. Последние годы в локальных сетях всё чаще используют беспроводную связь (*Wireless*) с помощью Wi-Fi роутеров рисунок 1.1, но при этом возможности перемещения абонентов сильно ограничены радиусом действия роутера – не более 100 метров на «прямой видимости».



Рисунок 1.1 – Wi-Fi роутер

Локальные сети можно объединять в крупномасштабные образования [4]:

*CAN (Campus–Area Network)*– кампусная сеть, объединяющая локальные сети близко расположенных зданий;

*MAN (Metropolitan–Area Network)* – сеть городского масштаба;

*WAN (Wide–Area Network)* – широкомасштабная сеть;

*GAN (Global–Area Network)* – глобальная сеть.

Сетью сетей в наше время называют *глобальную сеть – Интернет*, в которой насчитываются сотни миллионов компьютеров и эта сеть расширяется с каждым днём.

Для крупных сетей устанавливаются специальные проводные и беспроводные линии связи или используется инфраструктура существующих публичных средств связи. В последнем случае абоненты компьютерной сети могут подключаться к сети в относительно произвольных точках, охваченных сетью телефонии или кабельного телевидения.

Понятие интранет (Intranet) обозначает внутреннюю локальную сеть организации, где важны два момента:

- изоляция или защита внутренней сети от внешней – Интернет;
- использование сетевого протокола IP и Web-технологий (прикладного протокола HTTP) с целью организации доступа пользователей к ресурсам оборудования, подключенного к локальной сети.

В аппаратном аспекте применение технологии *Интранет* означает, что все абоненты сети в основном обмениваются данными с одним или несколькими серверами, на которых сосредоточены основные информационные ресурсы предприятия, но при этом так же существует возможность и обмена между компьютерами (рабочими станциями или терминалами) пользователей.

В сетях применяются различные сетевые технологии. Каждой технологии соответствуют свои типы оборудования.

Оборудование компьютерных сетей подразделяется на активное – интерфейсные (сетевые) карты компьютеров, повторители, концентраторы и т.п. и пассивное – кабели, соединительные разъемы, коммутационные панели и т.п. Кроме того имеется вспомогательное оборудование – устройства бесперебойного питания, кондиционирования воздуха, монтажные стойки, шкафы, кабелепроводы.

Оборудование компьютерных сетей подразделяется на конечные системы (устройства), являющиеся источниками и/или потребителями информации, и промежуточные системы, обеспечивающие прохождение информации по сети. На рисунке 1.2 приведен пример локальной вычислительной сети, использующей локальное сетевое оборудование и туннели VPN сквозь глобальную сеть Интернет, с целью объединения территориально разнесенных пользователей различных филиалов в единую сеть предприятия.



Рисунок 1.2 – Оборудование компьютерных сетей

К конечным системам относят компьютеры, терминалы, сетевые принтеры, сканеры, факс-машины, кассовые аппараты, считыватели штрих-кодов, средства голосовой и видеосвязи и любые другие периферийные устройства.

К промежуточным системам относят концентраторы, повторители, мосты, коммутаторы, хабы, маршрутизаторы, роутеры, модемы и прочие телекоммуникационные устройства, а также соединяющая их кабельная или беспроводная инфраструктура.

Действием, *полезным* для пользователя сети, является обмен информацией между конечными устройствами и пользователями.

Для активного коммуникационного оборудования применимо понятие производительность. В идеале производительность коммуникационного оборудования должна быть столь высокой, чтобы обеспечивать обработку передаваемой информации, приходящейся на все интерфейсы сети, работающие на их полной скорости (*wire speed*).

Для организации обмена информацией в сети отделом информационных технологий предприятия должен быть разработан, внедрен и настроен комплекс программных и аппаратных средств, распределенных по всем устройствам сети, организована эксплуатационная поддержка пользователей сети.

## 2. Систематизация и унификация способов коммуникации между сетевыми устройствами

Для систематизации и унификации способов коммуникации между сетевыми устройствами *международной организацией ISO* [5] была разработана модель взаимосвязи открытых систем BOS-OSI (*Open System Interconnection*). Она основана на уровневых протоколах, что позволяет обеспечить:

- разделение логически сложной сети на обозримые части – уровни;
- стандартные интерфейсы между сетевыми функциями;
- аналогичность функций реализуемых в каждом узле сети;
- общий язык для взаимопонимания разработчиков различных частей сети.

Функции любого узла сети разбиваются на уровни, для конечных систем их семь. Внутри каждого узла взаимодействие между уровнями идет по вертикали. Взаимодействие между двумя узлами логически происходит по горизонтали – между соответствующими уровнями. Каждый уровень обеспечивает свой набор сервисных функций (сервисов), “прикладная ценность” которых возрастает с повышением уровня. Уровень, с которого посылается запрос, и симметричный ему уровень в отвечающей системе формируют свои блоки данных. Данные снабжаются служебной информацией (заголовком) данного уровня и спускаются на уровень ниже, пользуясь сервисами соответствующего уровня.

Служебная информация управляет процессами передачи и служит для контроля его успешности и достоверности. В случае возникновения проблем может быть сделана попытка их уладить на том уровне, где они были обнаружены. Если уровень не может решить проблему, он сообщает о ней на вызвавший

его вышестоящий уровень.

Стандарты на различные технологии и протоколы, как правило, охватывают один или несколько смежных уровней. Комплекты протоколов нескольких смежных уровней, пользующихся сервисами друг друга (сверху вниз), называют протокольными стеками (*protocol stack*). Пример протокольного стека, широко используемого в современных сетях – TSP/IP.

Уровни модели OSI удобно рассматривать сверху вниз:

«7» – Прикладной уровень (*application layer*) – высший уровень модели, который обеспечивает пользовательской прикладной программе доступ к сетевым ресурсам. Примеры задач уровня: передача файлов, электронная почта, управление сетью.

«6» – Уровень представления данных (*presentation layer*) – обеспечивает преобразование кодов, форматов файлов, сжатие и распаковку, шифрование и дешифрование данных. Пример протокола – SSL (*Secure Socket Layer*), обеспечивающий конфиденциальность передачи данных в стеке TSP/IP.

«5» – Сеансовый уровень (*Session Layer*) – обеспечивает инициацию и завершение сеанса – диалога между устройствами, синхронизацию и последовательность пакетов в сетевом диалоге, надежность соединения до конца сеанса (обработку ошибок, повторные передачи).

«4» – Транспортный уровень (*transport layer*) – отвечает за передачу данных от источника до получателя с уровнем качества (пропускная способность, задержка прохождения, уровень достоверности), требуемым сеансовым уровнем. Если блоки данных, передаваемые с сеансового уровня, больше допустимого размера пакета для данной сети, они разбиваются на несколько нумерованных пакетов. На этом уровне определяются пути передачи, которые для соседних пакетов могут быть разными. На приемной стороне пакеты собираются и в должной последовательности передаются на сеансовый уровень.

«3» – Сетевой уровень (*network layer*) – форматирует данные транспортного уровня и снабжает их информацией, необходимой для маршрутизации (нахождения пути к получателю). Уровень отвечает за адресацию (трансляцию физических и сетевых адресов, обеспечение межсетевое взаимодействия); поиск пути от источника к получателю; установление и обслуживание логической связи между узлами для установления связи как ориентированной, так и неориентированной на соединение. Форматирование данных осуществляется в соответствии с коммуникационной технологией (локальные и глобальные сети).

«2» – Канальный уровень (*data link layer*) – обеспечивает формирование фреймов (кадров), передаваемых через физический уровень, контроль ошибок и управление потоком данных.

«1» – Физический уровень (*physical layer*) – нижний уровень, обеспечивающий физическое кодирование бит кадра в электрические сигналы и передачу их по линиям связи. Определяет тип кабелей и разъемов, назначение контактов и формат физических сигналов.

В реальных сетях используются различные протокольные стеки, и далеко не всегда возможно практическое разделение систем на уровни модели OSI с возможностью обращения к каждому из них. Ради повышения производительности количество уровней уменьшается до 3–4 с объединением функций смежных уровней.

При всем разнообразии подходов к реализации верхних уровней стеков стандартизация на физическом, канальном и сетевом уровнях соблюдается довольно строго. Здесь играет роль необходимость обеспечения совместимости сетевых устройств от разных производителей.

### 3. Классификация локальных вычислительных сетей

Локальные сети можно классифицировать по топологии входящих в них элементов [6]. Локальные сети состоят из конечных и промежуточных устройств, соединенных кабельной системой или беспроводной связью.

Каждая сетевая технология имеет характерную для нее топологию соединения узлов сети и метод доступа к среде передачи данных. Различают физическую топологию, определяющую правила физических соединений узлов и логическую топологию, определяющую направление потоков данных между узлами сети. Логическая и физическая топологии относительно независимы друг от друга. Физические топологии – шина, звезда, кольцо, дерево, сетка. На рисунке 3.1 представлена топология локальных вычислительных сетей.

В логической шине информация, передаваемая одним узлом, одновременно доступна для всех узлов, подключенных к одному сегменту. Логическая шина реализуется на физической топологии шины, звезды, дерева, сетки. В логическом кольце информация передается последовательно от узла к узлу. Каждый узел принимает кадры только от предыдущего узла и посылает только последующему.

Методы доступа к сетевой среде делятся на вероятностные и детерминированные.

При вероятностном методе доступа узел, желающий послать кадр в сеть, прослушивает линию. Если линия занята или обнаружена коллизия (столкновение сигналов от двух передатчиков), попытка переда-

чи відкладається на некоторое время. Общій недолік вірогідних методів доступу – неопределенное время проходження кадра, різко зростаюче при збільшенні навантаження на мережу, що обмежує його застосування в системах реального часу.

При детермінованому методі вузли отримують доступ до середовища в передбаченому порядку. Послідовність визначається контролером мережі. Основна перевага методу – обмежене время проходження кадра, мало залежаче від навантаження.

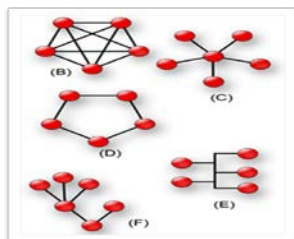


Рисунок 3.1 – Топологія локальних вичислювальних мереж: (В) – Ячеїста; (С) – Звезда; (D) – Кільце; (Е) – Обща шинна; (F) – Древоїдна

Мережі з великим навантаженням вимагають більш ефективних методів доступу. Один із способів підвищення ефективності – перенесення управління доступом від вузлів до кабельних центрів. При цьому вузол надсилає кадр в комунікаційне пристрій. Задача цього пристрою – забезпечити проходження кадра до адресату з оптимізацією загальної продуктивності мережі та забезпеченням рівня якості обслуговування, вимоги конкретними програмами, наприклад, Cero 2.0, Windchill, 1С:Підприємство і др.

#### 4. Склад і призначення мережевого обладнання

Сучасні комп'ютерні мережі представляють собою досить складні, розподілені апаратно-програмні комплекси, способи побудови яких неоднозначні і багатогранні. Кінцеве мережеве обладнання є одночасно джерелом і отримувачем інформації, передаваною по мережі.

**Комп'ютери**, підключені до мережі, є найуніверсальнішим вузлом. Практичне використання комп'ютерів в мережі визначається програмним забезпеченням і встановленим додатковим обладнанням. Установка мультимедійного обладнання в комп'ютер перетворює його в IP-телефон, відеотелефон, термінал відеоконференцзв'язі. Мережевий інтерфейс забезпечується адаптером локальної мережі і програмними засобами завантаженої операційної системи. Для дальніх комунікацій використовується модем внутрішній або зовнішній. З точки зору мережі, «лицем» комп'ютера є його мережевий адаптер – пристрій, що має унікальний MAC-адрес і забезпечує двосторонній обмін даними між вичислювальною машиною і локальною мережею. Тип мережевого адаптера повинен відповідати призначенню комп'ютера і його мережевій активності.



**Сервер** (або **головний сервер**) є спеціальним комп'ютером, розрахованим на високу мережеву активність. Якщо до мережі підключено більше 20 користувачів, то однорангова мережа, де комп'ютери виконують ролі і клієнтів, і серверів, може виявитися недостатньо продуктивною. Тому більшість мереж використовує виділенні головні сервери. Виділеним називається такий сервер, який функціонує тільки як сервер (виключаючи функції клієнта або робочої станції). Він спеціально оптимізований для швидкої обробки запитів від мережних клієнтів і для управління захистом файлів і каталогів. За останні 10 років мережі на основі сервера стали промисловим стандартом. З збільшенням розмірів мережі і обсягу мережевого трафіка необхідно пропорційно збільшувати кількість серверів. Розподілення завдань між кількома серверами гарантує, що кожна задача буде виконуватися найефективнішим способом з усіх можливих.



Серверні операційні системи Windows Server 2008\2012 R2 дозволяють створювати різні типи серверів.

**Файл-сервери** і **принт-сервери** – керують доступом користувачів відповідно до файлів і принтерів. Наприклад, щоб працювати з текстовим процесором, Ви, в першу чергу, повинні запуснути його на своєму комп'ютері. Документ текстового процесора, зберігається на файл-сервері, завантажується в



память Вашего компьютера, и, таким образом, Вы можете работать с этим документом на своем компьютере. Другими словами, файл-сервер предназначен для хранения файлов и данных.

На серверах приложений выполняются прикладные части клиент-серверных приложений, а также находятся данные, доступные клиентам. Например, чтобы упростить извлечение данных, серверы хранят большие объемы информации в структурированном виде. Эти серверы отличаются от файл- и принт-серверов. В последних файл или данные целиком копируются на запрашивающий компьютер. А в сервере приложений (например серверы 1С:Предприятие, Windchill – Creo 2.0 и др.) на запрашивающий компьютер пересылаются только результаты запроса. Приложение-клиент на удаленном компьютере получает доступ к данным, хранимым на сервере приложений. Однако вместо всей базы данных на Ваш компьютер с сервера загружаются только данные, сформированные в результате Вашего запроса.

*Почтовые серверы* управляют передачей электронных сообщений между пользователями сети.

*Факс-серверы* управляют потоком входящих и исходящих факсимильных сообщений через один или несколько факс-модемов.

*Коммуникационные серверы* управляют потоком данных и почтовых сообщений между этой сетью и другими сетями, мейнфреймами или удаленными пользователями через модем и телефонную линию.

*Служба каталогов (Active Directory)* в серверных операционных системах Windows Server 2008\2012 R2 позволяет организовывать централизованное управление всеми объектами сети, объединяя компьютеры в домены и домены между собой, интегрируясь с DNS, обеспечивая полнофункциональную систему защиты.

В расширенной сети использование серверов разных типов приобретает особую актуальность. Необходимо учитывать все возможные нюансы, которые могут проявиться при разрастании сети, с тем, чтобы изменение роли определенного сервера в дальнейшем не отразилось на работе всей сети.

*Сети построенные на основе сервера или группы серверов обладают следующими преимуществами:*

- разделение ресурсов – сервер спроектирован так, чтобы предоставлять доступ к множеству файлов и принтеров, обеспечивая при этом высокую производительность и защиту. Администрирование и управление доступом к данным осуществляется централизованно. Ресурсы, как правило, расположены также централизованно, что облегчает их поиск и поддержку;

- резервное копирование данных – поскольку жизненно важная информация расположена централизованно, т.е. сосредоточена на одном или нескольких серверах, нетрудно обеспечить ее регулярное резервное копирование (*backup*);

- избыточность – благодаря избыточным системам данные на любом сервере могут дублироваться в реальном времени, поэтому в случае повреждения основной области хранения данных информация не будет потеряна — легко воспользоваться резервной копией при наличии «Reid» массивов не менее двух жестких дисков, установленных на сервере;

- количество пользователей – сети на основе сервера способны поддерживать *тысячи* пользователей. Сетями такого размера, будь они одноранговыми, было бы невозможно управлять;

- аппаратное обеспечение компьютеров пользователей – так как компьютер пользователя не выполняет функций сервера, требования к его характеристикам зависят только от потребностей самого пользователя.

При подключении сервера к сети необходимо использовать полнодуплексные высокопроизводительные адаптеры. Серверы необходимо подключать к выделенному порту коммутатора в полнодуплексном режиме. При установке двух или более сетевых интерфейсов и соответствующего программного обеспечения (Windows Server 2008\2012 R2) сервер может обеспечивать подключение компьютеров к домену, управлять групповой политикой и распределять права доступа, играть роль файлового сервера, маршрутизатора или моста. При установке на жесткий диск сервера программного обеспечения SQL Server 2008 главный сервер, в дополнение к основным сетевым функциям, может играть роль сервера баз данных, обеспечивая одновременный доступ зарегистрированных пользователей к информации, размещенной в той или иной базе данных, согласно прав, установленных сетевым администратором. Серверы должны иметь возможность “горячей” замены дисковых накопителей, резервирование питания, блокировку несанкционированного доступа не зарегистрированных пользователей, средства мониторинга состояния (включая возможность сообщения о критических событиях на пейджер администратора). Серверы так же должны иметь высоко-производительную дисковую подсистему, в качестве интерфейса которой используют шину SCSI и достаточно большой объем дискового пространства и оперативной памяти.

*Терминалы*, алфавитно-цифровые и графические, используются в клиент-серверных системах в качестве рабочих мест пользователей, а также в качестве консолей для управления сетевым оборудованием. Терминалы, как правило, имеют последовательный интерфейс RS-232 и собственную систему команд. Терминал может эмулиро-



ваться и персональным компьютером, при этом в качестве интерфейса может выступать как COM – порт, так и сетевой интерфейс.



**Сетевые принтеры, сканеры и многофункциональные устройства (МФУ)**

обеспечивают сканирование и печать заданий от множества пользователей локальной сети. В общем случае для этого требуется принт-скан-сервер – средство выборки заданий из очереди и собственно принтер и/или сканер, логически подключенные к нему. В роли принт-скан-сервера может выступать обычный компьютер, подключенный к сети, при этом принтер, сканер или МФУ должны быть подключены к его порту. Принт-скан-сервер может встраиваться в собственно

сканер, принтер, МФУ или исполняться в виде отдельного сетевого устройства. Использование разделяемых принтеров, особенно лазерных в графическом режиме с высоким разрешением, значительно нагружает сеть. Принт-сервер (сетевой принтер) желательно подключать к выделенному порту, полный дуплекс ему не нужен. Подключение принтера кабелем параллельного интерфейса территориально привязывает принтер к компьютеру, поскольку кабель имеет длину 0,5–2 м. Для принтера это не всегда удобно. Сетевые принтеры в дополнение к локальным имеют встроенный сетевой интерфейс Ethernet на 10 или 100 Мбит в секунду. В этом случае у них должно присутствовать встроенное программное обеспечение, рассчитанное на тот или иной сетевой протокол. Сетевой принтер территориально может располагаться в любом месте помещения, где есть розетка кабельной сети.

**Аппаратный принт-сервер** представляет собой микроконтроллер, снабженный сетевым интерфейсом и несколькими последовательными, параллельными или USB портами. К портам подключаются обычные принтеры. Встроенное ПО обеспечивает выборку заданий из очереди на файл-сервере. Принт-сервер обычно поддерживает протокол какой-нибудь одной операционной системы, возможность перезаписи встроенного ПО в некоторых случаях позволяет сменить протокол или улучшить предоставляемый сервис.



**Коммуникационное сетевое оборудование** не является источником или конечным получателем данных, оно является средством их передачи. Приведем краткие характеристики коммуникационного оборудования локальных сетей.

**Повторитель** является средством объединения кабельных сегментов в единый логический сегмент. В сетях на витой паре повторитель является самым дешевым средством объединения конечных узлов и других устройств в единый разделяемый сегмент.

**Мост** является средством передачи кадров между двумя и более логическими сегментами. По логике работы является частным случаем коммутатора. Скорость обычно 10\100 Мбит в секунду.



**Коммутатор** является средством организации виртуальных цепей для передачи каждого кадра между двумя его портами. Скорости портов могут быть разными у разных портов одного устройства – 10, 100 или 1000 Мбит/сек. Реальная пропускная способность ниже из-за несимметричности загрузки портов коммутатора.



**Хаб** – устройство, к которому подключаются кабели от множества конечных узлов и коммуникационных устройств. Внутренняя структура может быть различной. Чаще всего под хабом подразумевают повторитель. Сегментирующий хаб является комбинацией нескольких повторителей, между которыми может присутствовать мост.



**Концентратор** считается синонимом хаба, но может трактоваться шире – может включать набор повторителей, коммутаторов Wi-Fi роутеров и мостов, соединяющих разные технологии.



**Преобразователь интерфейсов** позволяет осуществлять переходы из од-



ной среды передачи данных в другую без логического преобразования сигналов. Благодаря усилению сигналов, эти устройства могут позволять преодолевать ограничения на длину линий связи. Используются для связи оборудования с разнотипными портами.

**Маршрутизатор** – устройство с несколькими физическими интерфейсами, возможно, различных сетевых технологий. Выполняет передачу пакетов данных между интерфейсами, имеющими MAC адреса.

**Брандмауэр** – устройство или программное средство, по уровню функционирования аналогичное маршрутизатору, но с более развитой системой фильтрации и малым (как правило, 2) числом портов. Для сетевых узлов присутствие брандмауэра



не должно быть заметно. Используется для защиты локальных сетей от несанкционированного вмешательства извне. Обычно устанавливается между маршрутизатором и внешним интерфейсом глобальной сети. Может быть встроен в маршрутизатор или коммуникационное оборудование, подключенное к глобальной сети.

*Модем (факс-модем)* – устройство для передачи данных по выделенным или коммутируемым линиям. Интерфейс, обращенный к источнику и приемнику данных, может быть последовательным, параллельным или шиной USB.

*Модемный пул* – сборка из нескольких модемов, которые объединены общим портом с интерфейсом ЛВС. Каждый модем пула подключается к своей внешней линии. Устройство позволяет одновременно нескольким абонентам локальной сети пользоваться индивидуальными выходами во внешний мир или обеспечивать нескольким пользователям доступ к локальной сети.

*LAN-модем* – комбинация модема и маршрутизатора, имеющая в качестве интерфейса порт Ethernet (иногда несколько портов, объединенных повторителем). Позволяет одновременно пользоваться одним выходом во внешний мир группе абонентов локальной сети.

Отдельно стоит рассмотреть *концентраторы*, как неотъемлемую часть любой ЛВС. Концентраторы могут иметь различное конструктивное исполнение, каждый тип исполнения имеет определенную сферу применения:

Малогабаритные концентраторы с фиксированным числом портов (4–16) – самые дешевые устройства, применяемые в небольших сетях. Они занимают мало места и могут устанавливаться на столах, полках или подвешиваться на стену. Самые дешевые из них имеют выносной адаптер питания – блок с трансформатором и выпрямителем, смонтированный прямо на питающей вилке. Такое подключение питания не предусматривает заземления, что может приводить к выходу из строя портов при подключении «на горячо» абонентов локальной сети, а также к коллизиям при работе сети.

Концентраторы с фиксированной конфигурацией формата 19” находятся в средней ценовой категории. Они предназначены для установки в шкафах или на полках. Блок питания, как правило, встроенный, заземление предусмотрено, количество портов до 36.

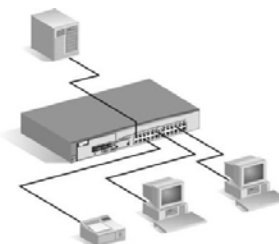
Модульные концентраторы выполняются в виде шасси с пассивной объединяющей шиной. Шасси снабжается источником питания. Количество портов исчисляется сотнями. Это дорогие устройства, которые оправдывают себя при большом количестве портов и высоких требованиях к надежности.

Стековые концентраторы представляют собой устройства с фиксированной конфигурацией, имеющие специальный интерфейс для объединения нескольких устройств в стек. Стек подразумевает, что несколько физических устройств выступают как единое устройство. Стек может быть локальным – устройства соединяются специальными короткими кабелями (0,3–1,5) или распределенным – устройства соединяются обычным 4-парным кабелем длиной до 100 м. Распределенный стек возможен только для повторителей 10 Мбит/с. Для коммутаторов стековый интерфейс может стать узким местом.

Одним из основных современных средств объединения локальных сетей в более крупные образования являются *маршрутизаторы*. Маршрутизатор представляет собой промежуточную систему с несколькими интерфейсами (портами), оперирующую информацией пакетов сетевого уровня, заключенных в кадры сети. Каждый порт имеет свой физический адрес (MAC-адрес), по которому к нему обращаются узлы, нуждающиеся в межсетевой передаче пакетов. С каждым из портов связываются один или несколько сетевых протоколов (IPX, IP, Apple Talk) и одна или несколько подсетей. Маршрутизатор пересылает между портами (подсетями) только те пакеты, которые предназначены адресатам подсети выходного порта. При этом возможна фильтрация – передача пакетов, удовлетворяющих определенным критериям. Маршрутизаторы используются и как средства обеспечения безопасности, препятствующие прозрачному взаимодействию между узлами разных подсетей. Маршрутизаторы необходимы для связи пространственно-удаленных подсетей, когда имеются жесткие ограничения на полосу пропускания каналов связи между ними. Маршрутизатор будет посылать в канал только те пакеты, которые действительно предназначены для получателей противоположной стороны.

Объединять подсети в более крупную сеть удастся не всегда, поскольку при увеличении числа узлов подсети возникает вероятность широковещательных «штормов». Выходов может быть три – увеличивать производительность маршрутизаторов, по возможности заменять маршрутизаторы коммутаторами с поддержкой виртуальной локальной сети (ВЛС) или увеличивать количество серверов.

Отдельно рассмотрим *коммутаторы*, которые предназначены для свя-





зи подсетей в локальных сетях. Коммутаторы строятся на определенной архитектуре – каждый порт имеет собственный специализированный процессор (ASIC), занимающийся анализом кадров и пакетов для определения их точки назначения, и общий управляющий процессор. Они выполняют те же функции, что и маршрутизаторы, но с большей скоростью и дополнительными возможностями. У них, как правило, большее количество портов, а подсети можно определять для групп портов.

Списком приведенных устройств не ограничивается весь ассортимент коммуникационного оборудования, которое выпускается множеством фирм. В настоящее время производители сетевого оборудования всё чаще выводят на рынок комбинированное коммуникационное оборудования локальных сетей, состоящее из нескольких устройств в одном корпусе (мост-повторитель, концентратор-коммутатор, маршрутизатор-хаб, факс-модем-маршрутизатор и т.п.).

### **5. Сетевые протоколы - ключ к обмену информацией**

Ключевым аспектом работы вычислительной сети являются сетевые протоколы. Сетевым протоколом называют набор спецификаций и стандартов, описывающих правила обмена информацией между периферийными устройствами, объединенными в единую сеть. В большинстве локальных вычислительных сетей используется один из трех протоколов, входящих в комплект поставки операционных систем MS Windows: это TCP/IP для больших доменных сетей или сетей с возможностью подключения к Интернет, Net BEUI для небольших локальных сетей и гораздо реже – IPX/SPX – совместимый протокол, в основном для сетей, включающих в себя серверы с программным обеспечением производства компании Novell.

Установив сетевое оборудование и настроив протоколы, необходимо открыть пользователям доступ к ресурсам сервера и входящих в сеть ПК. Аналогичную процедуру следует проделать с сетевыми сканерами и принтерами, после чего потребуется установить режим использования сетевых сканеров и принтеров на всех, подключенных к сети компьютерах. При необходимости можно настроить на каждом ПК доступ к сетевым дискам других ПК – это необходимо, например, при использовании бухгалтерских программ 1С:Предприятие, ПО Windchill и др. в многопользовательском режиме.

### **6. Постановка задачи повышения производительности труда и качества выпускаемой продукции**

Основная задача современного машиностроения - минимизация сроков разработки и производства изделия при уменьшении затрат. Это не только позволяет окупить производство, но и значительно повышает экономическую эффективность производства в целом. Условия жесткой конкуренции в сфере машиностроения, диктуют предприятиям необходимость вывести на рынок высокотехнологичную и качественную продукцию в максимально сжатые сроки и, таким образом, опередить конкурентов.

Единственно верный способ решения данной задачи – внедрение технологий CAE-CAD-CAM в структуру производственных процессов предприятия. Данный вариант базируется на распределенной структуре компьютерной локальной вычислительной сети, объединяющей все структурные подразделения предприятия. Учитывая данные факты, ГП Харьковское конструкторское бюро по машиностроению имени А.А. Морозова (ГП ХКБМ), выбрало именно этот путь модернизации производства, стремясь соответствовать современным требованиям.

### **7. Аспекты развития ЛВС в ГП ХКБМ и пути решения основных проблем**

Историческая справка. Первая компьютерная сеть в ГП «ХКБМ» появилась в 80-е годы на базе вычислительного центра. Тогда в единую сеть были объединены несколько управляющих вычислительных комплексов типа СМ – 2, СМ – 4 и устройства сопряжения, подключенные к датчикам испытательных стендов. С развитием компьютерной техники и появлением персональных компьютеров перед отделом информационных технологий (ИТ) были поставлены новые задачи внедрения САД систем. Это потребовало перейти на новый уровень развития и модернизации ЛВС.

Необходимо отметить, что в большинстве случаев, создание ЛВС на крупных промышленных предприятиях происходит хаотически. Если возникает необходимость соединить несколько ПК в разных помещениях, туда прокладывалась кабель, при необходимости охватить ЛВС еще одну комнату - прокладывалась другой кабель. В результате, со временем, ЛВС предприятия приобретает бессистемную структуру. Дальнейшее хаотичное развитие такой ЛВС приводит к снижению надёжности и увеличению затрат на её эксплуатацию, что негативным образом отражается на производительности труда конструкторов и других пользователей сети. Такая тенденция не обошла стороной и наше предприятие. По причине ограниченного финансирования в первую компьютерную сеть ГП ХКБМ были объединены только конструкторские подразделения с одним сервером (см. рисунок 7.1). Эта сеть была построена по принципу сетей кампусов [1] – объединения компьютеров и мелких сетей разных отделов одного предприятия в пределах

отдельного здания. Службы такой сети включали файловый обмен между мини-сетями отделов, доступ к общим данным на сервере, доступ к специализированной графической станции. Главными задачами этой сети были файловый обмен и совместное использование дорогостоящего оборудования: дисковых массивов большой емкости, графической станции формата А0 для печати конструкторской документации, цветного лазерного принтера.

В дальнейшем изначальная топология ЛВС типа "звезда" трансформировалась в "дерево"[2]. Причинами такой трансформации, являются несколько факторов, среди которых можно выделить как субъективные, так и объективные. Распределенное территориальное расположение подразделений ГП ХКБМ и ограниченное финансирование привело к тому, что мини-ЛВС разных структурных подразделений предприятия развивались обособленно друг от друга и до последнего времени не имели связи между собой. Только удешевление и упрощение технологии оптоволоконной связи позволили в последние годы начать процесс объединения всех мини-ЛВС в единую сеть предприятия.

В настоящее время ЛВС предприятия можно разделить на пять основных составляющих:

- главный сервер (ГС), точнее несколько главных серверов, на которых происходит обработка информации и хранение баз данных (БД);
- рабочие станции (РС), для ввода и обработки информации пользователями ЛВС;
- периферийные устройства (ПУ), для ввода (сканеры, мультимедийные гарнитуры), вывода (печатающие устройства, видеопроекторы) информации и связи (модем) с глобальной сетью Интернет;
- сетевое оборудование, для передачи служебной информации и пользовательских данных между главными серверами, рабочими станциями и периферийными устройствами;
- программное обеспечение (ПО) – серверные операционные системы, операционные системы рабочих станций, драйвера сетевых периферийных устройств и прикладные пользовательские программы обеспечивают управление доступом к базам данных, совместную работу пользователей в сети и эксплуатацию периферийных устройств.

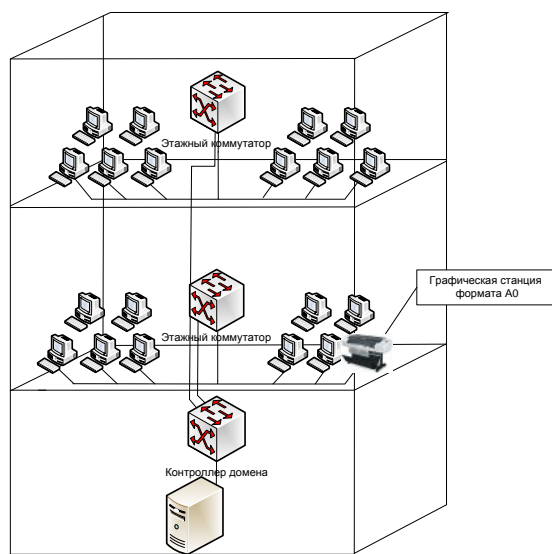


Рисунок 7.1 – Первая компьютерная локальная вычислительная сеть ГП ХКБМ

Ядром ЛВС являются главные сервера. ЛВС ГП ХКБМ существует уже более пятнадцати лет и особенности решения, поставленных перед нею, задач наложили свой отпечаток, как на специализацию главного сервера, так и на топологию сети.

Сегодня вычислительная мощь современных серверов позволяет закреплять за главным сервером выполнение сразу нескольких задач: поддержание работы сети, размещение БД и обработка запросов к ней, обеспечение доступа к Интернету и размещение корпоративного сайта. Однако, при таком подходе возникает вопрос с безопасностью находящейся на данном сервере информации, его отказоустойчивостью и временем восстановления работоспособности. К тому же немаловажным фактором при вводе в эксплуатацию такого мощного главного сервера являются немалые единовременные капиталовложения.

Подход к созданию и функционированию ЛВС ГП ХКБМ более традиционен: для решения конкретных задач и выполнения работ выделяется один физический сервер. Такой подход более рационален в плане надежности, так как выход из строя одного ГС не парализует работу сети предприятия в целом, с

другой стороны управление и поддержание работоспособности группы главных серверов более трудоемко и требует наличия высококвалифицированных специалистов отдела ИТ.

В настоящее время в ГП ХКБМ эксплуатируются 5 серверов. На рисунке 7.2 приведена Структурная схема современной компьютерной локальной вычислительной сети ГП ХКБМ:

– *главный сервер (контроллер домена)* с совмещенными функциями файлового сервера. Данный сервер развернут на базе операционной системы (ОС) Windows Server 2008 R2. Использование данной ОС позволило поднять необходимые серверные роли - DNS-сервер, службу каталогов Active Directory и файловые службы на бюджетной конфигурации сервера. В настоящее время сервер поддерживает сетевое взаимодействие между более чем 100 ПК в домене. Также данный сервер является хранилищем общей для всех подразделений ГП «ХКБМ» информации, объемом превышающим 600 Гб;

– *сервер (интернет шлюз)* с совмещенными функциями почтового сервера. Данный сервер используется для обеспечения доступа пользователей ЛВС ГП «ХКБМ» к ресурсам глобальной сети Интернет. Несмотря на то, что данный сервер эксплуатируется более 10 лет и его конфигурация претерпела минимальные изменения, однако программная конфигурация, позволяет обеспечивать возросшее в десятки раз количество активных абонентов, бесперебойным доступом к сети Интернет. Почтовый сервер, обрабатывает свыше 100 почтовых отправок за день. Следует отметить, что с целью обеспечения безусловной защиты информации интернет шлюз не имеют ни физической, ни логической связи с ЛВС предприятия;

– *сервер 1С:Предприятие.* В ГП «ХКБМ» произведена автоматизация бухгалтерского учета на базе бухгалтерских продуктов компании 1С. Для улучшения взаимодействия с различными подразделениями, использующими бухгалтерский учет в своей деятельности (плановый, юридический и другие отделы), было принято решение под эти задачи выделить отдельный сервер. Мощность данного сервера позволяет строить планы по дальнейшей автоматизации процесса производства в ГП «ХКБМ». Так, используя данный сервер как ядро системы, планируется в ближайшее время автоматизировать складской учет, что позволит на порядок повысить оперативность подготовки производства и качество управленческих решений. Для формирования отчетных материалов, анализа и обработки планово-экономической информации рабочие станции планового отдела, находящиеся под управлением главного сервера (контроллера домена) через защищенный тоннель VPN имеют доступ к базе данных бухгалтерии, расположенной на сервере 1С:Предприятие;

– *сервер Windchill.* В настоящее время в ГП ХКБМ развернуты компоненты системы по управлению жизненным циклом изделия от компании PTC (Windchill PDMLink, Windchill ProjectLink, Windchill Quality Solutions, Creo Parametric 2.0). Используя данное ПО и проведя обучение специалистов, наше предприятие планирует повысить качество разрабатываемой КД и снизить сроки разработки новых изделий.

За короткий срок эксплуатации нового ПО произошло сокращение времени, затрачиваемого на разработку КД новых изделий. Автоматизация процесса разработки КД и безусловное соблюдение стандартов в разы снизило количество ошибок при проектировании изделий. Возможность использования базы данных ранее разработанной КД на предварительном этапе разработки, позволяет выбрать оптимальные конструктивные решения при подготовке окончательного варианта проектируемого изделия. За счет использования общего защищенного хранилища информации об изделии, количество ошибок, связанных ручным переносом данных практически сведено к нулю;

– *сервер опытно-производственной базы* построен на базе операционной системы Linux. Использование данной операционной системы обусловлено антивирусной безопасностью хранящихся на сервере баз данных комплектующих планово-диспетчерского отдела для подготовки производства. Сервер опытно-производственной базы связан межкорпусной оптоволоконной линией с контроллером домена и стандартной линией связи (витая пара) с Сервером 1С:Предприятие. Второй оптоволоконной линией данный сервер связан с рабочими станциями, расположенными на производственных участках.

В настоящее время в ГП ХКБМ завершен первый этап внедрения PLM Windchill. Дальнейшее внедрение данной системы предполагает интеграцию в общую систему помимо инженеров-проектировщиков еще и технологов, что позволит исключить брак, доработки в процессе производства и в целом повысить качество изготавливаемых изделий, одновременно сократив сроки и издержки производства.

Внедрение PLM Windchill в перспективе предполагает «вертикальную» интеграцию, когда руководящие структуры предприятия получают всю полноту информации по любому аспекту функционирования предприятия в режиме реального времени.

Оперативная и достоверная информация повысит гибкость и эффективность управленческих решений, что в значительной мере улучшит конкурентоспособность ГП «ХКБМ» на мировом рынке бронетехники.



Рисунок 7.2 – Структурная схема современной компьютерной локальной вычислительной сети ГП ХКБМ

Стоит отметить, что в процессе укрупнения сети путём объединения мелких локальных подсетей отдельных подразделений возникали существенные проблемы с поддержанием работоспособности единой сети предприятия. На момент начала строительства ЛВС в ГП «ХКБМ» наиболее оптимальным решением являлось использование концентраторов (хабов), однако их пропускная способность была довольно низкой и составляла всего 10 Мбит/с, а надежность работы невысока. Поэтому для уменьшения задержек при передаче информации и, как следствие, снижения пропускной способности ЛВС, было принято решение об использовании по возможности минимального количества промежуточных каскадов между главным сервером и рабочими станциями. Однако, с появлением бюджетных высокоскоростных коммутаторов со скоростью передачи данных 100 Мбит/с от данной схемы в последствии пришлось отказаться.

С увеличением числа компьютеров до настоящего времени почти в каждом подразделении ГП ХКБМ самостоятельно, силами сотрудников, развивается своя мини-локальная сеть подразделения. При этом служба, отвечающая за развитие и эксплуатацию ЛВС из-за ограниченного финансирования не всегда в состоянии оптимально подключить всех новых абонентов в общую сеть ГП ХКБМ. Хабы в конструкторских подразделениях, устанавливаемые самостоятельно сотрудниками этих подразделений, не отличаются быстродействием, надежностью и качеством исполнения. С увеличением количества активного сетевого оборудования увеличилась и частота неисправностей – от выхода из строя отдельных портов концентраторов до отключения целых сегментов сети. Были случаи возникновения «широковещательного шторма», который неоднократно парализовывал работу всей сети [3]. Основная проблема данного явления заключается в том, что в разросшейся ЛВС оперативно выявить устройство, являющееся причиной данного явления достаточно затруднительно. За годы эксплуатации ЛВС ГП ХКБМ трижды подвергалась данному явлению, при этом все случаи произошли из-за выхода из строя, самовольно установленных в подразделениях, дополнительных хабов.

Решение данной проблемы требует достаточно больших финансовых затрат, необходимых на приобретение нового активного высокопроизводительного сетевого оборудования, в том числе новых главных серверов, серверных операционных систем, серверов баз данных и пользовательских лицензий. В настоящее время целостность и работоспособность сети обеспечивается в основном за счет высокой квалификации обслуживающего персонала ИТ отдела. Однако дальнейшее замораживание данной проблемы ста-

вит под вопрос, как нормальное функционирование существующей ЛВС, так и возможность её развития в будущем. Следует отметить, что сотрудниками ИТ отдела ГП ХКБМ на протяжении последних лет оперативно принимались и принимаются меры по минимизации времени восстановления работоспособности сетевого оборудования.

Перегрузка сети – это основная проблема, появившаяся с увеличением числа, подключенных к ней компьютеров. Здесь есть несколько вариантов решения.

Для повышения производительности сети представленную выше двухкаскадную структуру ЛВС можно превратить в оптоволоконную, установив на концах магистралей первого каскада пары конверторов медь – оптоволокно, и заменить «витую пару» на оптоволоконные линии (участки сети между поэтажными коммутаторами и сервером – контроллером домена). В этом случае можно повысить скорость передачи данных до 1Гб/с между этажными коммутаторами. Заменять имеющиеся коммутаторы на оптические пока нецелесообразно из-за их высокой стоимости. Освободившийся кабель «витая пара» можно использовать для подключения новых рабочих мест в подразделениях.

Дополнительно можно заменить недорогой коммутатор первого каскада на коммутатор с высокой пропускной способностью типа Cisco, позволяющий маршрутизировать IP – пакеты, разгружая тем самым главный сервер. Этот вариант решения уже используется в ГП ХКБМ.

Еще один предлагаемый вариант повышения производительности сети – установка дополнительного сервера. Так, в ГП «ХКБМ» с целью исключения перегрузки в общей ЛВС уже установлен отдельный сервер для решения бухгалтерских и планово – экономических задач.

#### **8. Выводы**

Компьютерная локальная вычислительная сеть ГП ХКБМ прошла практически все эволюционные этапы – от создания сетей отдельных подразделений, впоследствии развившуюся в сеть кампуса, до построения корпоративной сети, объединяющей большое количество компьютеров и периферийных устройств на всей территории предприятия.

В перспективе планируется дальнейшее укрупнение сети в первую очередь в конструкторских подразделениях, связанное с расширением внедрения САЕ-CAD-CAM технологий, создание и пополнение электронного архива конструкторской документации, автоматизации бухгалтерского и складского учета. В настоящее время ведутся работы по разработке Автоматизированной системы управления предприятием, Автоматизированной системы электронного документооборота. На предприятии внедрена электронная система ежедневной и ежемесячной отчётности структурных подразделений.

Координация совместной работы конструкторских подразделений, использование единых шаблонов конструкторской документации, возможность совместного использования архивов данных и периферийных устройств, возможность гибкого распределения и контроля выполнения работ являются результатом построения, развития и поддержания в работоспособном состоянии ЛВС ГП ХКБМ. Все это в конечном счёте приводит к повышению эффективности работы конструкторских подразделений ГП ХКБМ и предприятия в целом.

#### Литература

1. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / Олифер Н.А. // Спб.: Питер, 2010. – 944 с.
2. Руководство по технологиям объединенных сетей / [перевод с англ. и ред. А.Н. Крикун] – Четвертое изд. // М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 1040 с.
3. Кларк К. Принципы коммутации в локальных сетях Cisco. / Кларк К., Гамильтон К. //М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 976 с.
4. Новиков Ю.В., Кондратенко С.В. Основы локальных сетей. Курс лекций. – М.: Интернет-университет информационных технологий, 2005. – ISBN 5-9556-0032-9, – 705 с.
5. Самойленко В.В. Локальные сети. Полное руководство. – К., 2002. – ISBN 966-7140-28-8, – 680 с.
6. Локальные вычислительные сети: Справочник. В 3-х кн / Под редакцией С.В. Назарова. – М.: Финансы и статистика, 1994. – Т. Кн.1. Принципы построения, архитектура, коммуникационные средства. ISBN 5-279-01171-1, – 208 с.

Bibliography (transliterated)

1. Olifer V.G. Kompyuternye seti. Printsipyi, tehnologii, protokolyi. Olifer N.A. Spb.: Piter, 2010. – 944 p.
2. Rukovodstvo po tehnologiyam ob'edinennyih setey. [perevod s angl. i red. A.N. Krikun] – Chetvertoe izd. M.: Izdatelskiy dom «Vilyams», 2005. – 1040 p.
3. Klark K. Printsipyi kommutatsii v lokalnyih setyah Cisco. Klark K., Gamilton K. M.: Izdatelskiy dom «Vilyams», 2003. – 976 p.
4. Novikov Yu.V., Kondratenko S.V. Osnovy lokalnyih setey. Kurs lektsiy. – M.: Internet-universitet informatsionnyih tehnologiy, 2005. – ISBN 5-9556-0032-9, – 705 p.
5. Samoylenko V.V. Lokalnyie seti. Polnoe rukovodstvo. – K., 2002. – ISBN 966-7140-28-8, – 680 p.
6. Lokalnyie vyichislitelnyie seti: Spravochnik. V 3-h kn. Pod redaktsiyey S.V. Nazarova. – M.: Finansyi i statistika, 1994. – T. Kn.1. Printsipyi postroeniya, arhitektura, kommunikatsionnyie sredstva. ISBN 5-279-01171-1, – 208 p.

УДК 65.012.45

Слюсаренко Ю.О., Шипулін О.О., Гриневич Ю.С., Максимов Р.В.

### **ПРОБЛЕМИ ТА РІШЕННЯ ЛОКАЛЬНОЇ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ СІТКИ ВЕЛИКОГО ПІДПРИЄМСТВА**

В статті наведено огляд основних сучасних мережевих технологій та показана еволюція комп'ютерної локальної обчислювальної мережі крупного підприємства на прикладі ДП ХКБМ імені О.О. Морозова – від найпростіших міні-мереж підрозділів до корпоративної ЛОМ, яка дозволяє впровадити на великому підприємстві САЕ-CAD-CAM технології, а в майбутньому – Автоматизовану електронну систему управління підприємством.

Sljusarenko J.A., Shipulin O.O., Grinevich Yu.S., Maksimov R.V.

### **PROBLEMS AND DECISIONS OF THE LOCAL COMPUTER NETWORK OF THE LARGE ENTERPRISE**

In article there is a review of the basic modern network technologies and evolution local computer network of the large enterprise on an example of SE KMDB – from the elementary mini-networks of divisions to corporate a LAN is shown, allowing to introduce at large enterprise CAE-CAD-CAM of technology, and in the long term – the Automated electronic control system of the enterprise.

## АНАЛИЗ ТРАНСМИССИЙ СОВРЕМЕННЫХ ЛЕГКОБРОНИРОВАННЫХ КОЛЕСНЫХ ВОЕННЫХ МАШИН И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ ПОДВИЖНОСТИ

### 1. Введение

Легкобронированные колесные военные машины (ЛКВМ) относятся к особому классу транспортных машин, которые предназначены для выполнения боевых задач воинскими подразделениями на больших пространствах, как с развитой сетью дорог, в условиях городов, так и на операционных направлениях вне дорог, в условиях бездорожья, а также в условиях сильных разрушений, затоплений и искусственных заграждений. В связи с этим современные образцы ЛКВМ должны надежно работать в боевой обстановке при различных дорожных и климатических условиях и обладать высокими параметрами подвижности, маневренности, проходимости, экономичности. По этой причине конструкторы и ученые непрерывно решают научно-технические задачи, которые направлены на повышение тактико-технических характеристик ЛКВМ.

Существует два основных подхода решения задач повышения параметров подвижности, проходимости и экономичности при модернизации ЛКВМ: 1<sup>й</sup> – качественное улучшение конструкции энергетической установки и 2<sup>й</sup> – совершенствование конструкции трансмиссии. Однако, в виду того, что в настоящее время на всех ЛКВМ, как правило, применяется дизельный двигатель, наиболее удовлетворяющий по совокупности ряда особых требований, предъявляемых к энергетическим установкам военных машин, то в последнее время выше перечисленные характеристики ЛКВМ повышают путем разработки трансмиссий с наилучшими параметрами. Таким образом, научно-технические задачи разработки и совершенствования конструкций трансмиссий для ЛКВМ остаются актуальными и в настоящее время.

### 2. Анализ публикаций

Трансмиссия на современной ЛКВМ представляет собой совокупность агрегатов и механизмов, которые связывают коленчатый вал двигателя с ведущими колесами машины для передачи потока мощности, вырабатываемой двигателем, и распределения ее между ведущими колесами. Она должна в первую очередь удовлетворять общим требованиям, предъявляемым к трансмиссиям транспортных машин. К ним относятся обеспечение высоких тягово-скоростных и топливо-экономичных характеристик транспортной машины, высокий коэффициент полезного действия (КПД), минимальные габаритные размеры и вес, высокая надежность в эксплуатации, простота и легкость управления, технологичность конструкции, малый объем обслуживания и ремонтпригодность [1].

Выполнение выше перечисленных требований к трансмиссиям ЛКВМ достигается путем выбора наиболее рациональной кинематической схемы трансмиссии для соответствующего вида машины, правильным ее расчетом, применением современных агрегатов, автоматизацией управления, качественной конструктивной обработкой узлов и деталей, современной технологией их изготовления, применением новых материалов. Поэтому конструкторами и учеными разработано, исследовано и внедрено на транспортных машинах большое разнообразие конструкций трансмиссий. В зависимости от способа передачи, изменения и распределения крутящего момента на ведущие колеса ЛКВМ трансмиссии делятся на механические, гидромеханические, гидрообъемные, гидро-объемно-механические, электрические и электро-механические [2]. В свою очередь следует учесть, что на современных ЛКВМ устанавливают дизельные двигатели мощностью от 120 до 600 кВт в зависимости от веса машины, который лежит в пределах от 7 до 35 т. А для обеспечения повышенной проходимости на ЛКВМ внедряют только конструкции трансмиссий, которые раздают поток мощности на все колеса. По этим причинам не каждый тип трансмиссии подходит для внедрения на рассматриваемом классе машин.

Например, механические вариаторы скорости привлекают внимание разработчиков трансмиссий для автомобилей благодаря их высокому КПД до 96 %, большому диапазону непрерывного регулирования. Однако они не способны передавать мощность более 120 кВт от двигателя к колесам транспортной машины. Поэтому механические вариаторы скорости пока что применяют только на легкой технике – мопеды, мотороллеры, снегоходы, а также легковые автомобили весом до 2,5 т [3]. Тем не менее, работы по совершенствованию конструкций механических вариаторов скорости продолжают, так как в них энергия вращения коленчатого вала двигателя не преобразуется ни в какой другой вид энергии, а лишь изменяется частота и крутящий момент, передаваемый от коленвала двигателя к колесам машины, что позволяет обеспечивать высокий КПД данного типа передачи [4].

Передавать достаточные мощности от дизельного двигателя к колесам машины способны гидромоторы или электродвигатели, используя соответственно энергию гидронасоса или электрического генератора. В паре гидронасос – гидромотор или генератор – электродвигатель образуют гидравлическую или электрическую передачи. Однако эти типы передач имеют низкие значения КПД, в пределах 57–83 % в зависимости от режима работы [5]. Это происходит из-за того, что энергия вращения коленчатого вала двигателя сначала преобразуется в давление жидкости (скоростной поток жидкости) или электрический ток (электромагнитное поле), а затем в энергию вращения ведущего колеса. Т.е. в передаче энергии от коленвала двигателя к ведущим колесам участвуют промежуточные носители энергии – рабочая жидкость, электрическое и магнитное поля. Кроме того, при передаче мощностей более 50 кВт гидромоторы и электродвигатели имеют большие габаритные размеры и массу. Тем не менее, гидравлическая и электрическая передачи до сегодняшнего дня являются незаменимыми при проектировании трансмиссий для колесных машин особо большой грузоподъемности имеющих массу до 100 тон и более – карьерные экскаваторы и самосвалы, тягачи и т.п. В этих случаях проблема стоит в отсутствии возможности механически передавать большую величину управляемого крутящего момента на колеса подобной машины. Поэтому параметры экономичности трансмиссии для данного класса машин уходят на второй план. Также следует учесть, что гидравлическая и электрическая передачи дают преимущество в выполнении компоновки полноприводных транспортных машин, так как отсутствуют жесткие механические связи между элементами трансмиссии. Это позволяет реализовать различные варианты компоновки машины – расположения энергетической установки и её систем, выполнить разное количество приводных осей и разные варианты колесной формулы, а также увеличить внутреннее полезное пространство в транспортной машине.

Для повышения КПД гидравлической и электрической передач, а также уменьшения габаритно-массовых размеров гидромоторов и электродвигателей конструкторы и ученые занимаются совершенствованием их конструкций и объединением гидравлических и электрических передач с планетарными механическими передачами. В результате чего появились так называемые комбинированные трансмиссии для автомобилей. К ним относятся гидромеханические, гидро-объемно-механические и электромеханические трансмиссии [3].

Анализ ЛКВМ, которые находятся на вооружении армий зарубежных стран и Украины, с точки зрения применяемых трансмиссий показал, что на данном классе транспортных машин серийно устанавливаются механическая ступенчатая трансмиссия с ручным управлением и автоматизированная гидромеханическая трансмиссия (ГМТ). Результаты анализа представлены в таблице 2.1.

Одновременно продолжают опытно-конструкторские работы и исследования по внедрению гидро-объемно-механических и электромеханических видов трансмиссий для ЛКВМ.

С целью определения типа перспективной трансмиссии для рассматриваемого класса транспортных машин, выполним анализ технических характеристик существующих трансмиссий и оценим их влияние на подвижность машины.

### **3. Цель и постановка задачи**

Целью настоящей работы является проведение сравнительного анализа конструктивных особенностей трансмиссий, применяемых на ЛКВМ, и их технических характеристик, а также поиск новых конструкторских решений для разработчиков трансмиссий, которые позволят повысить параметры подвижности ЛКВМ отечественного производства.

### **4. Анализ технических характеристик трансмиссий и их влияния на параметры подвижности ЛКВМ**

Как уже было отмечено выше, некоторые производители ЛКВМ серийно устанавливают на машинах механические ступенчатые трансмиссии с ручным управлением. Это объясняется тем, что механическая ступенчатая трансмиссия обладает самым высоким КПД среди других типов трансмиссий, простотой конструкции, относительно небольшими габаритными размерами и массой, а также высокой надежностью в эксплуатации. Однако к недостаткам данной трансмиссии относят трудоемкость управления, особенно при наличии 6<sup>ти</sup> и более передач, значительный объем технического обслуживания, повышенные динамические нагрузки на агрегаты и механизмы, ступенчатость изменения крутящего момента, подводимого к колесам.

В связи с ограниченным диапазоном рабочих частот вращения коленвала двигателя и фиксированным числом передач существующие механические ступенчатые трансмиссии изменяют крутящий момент, подводимый к колесам транспортной машины, не плавно, а ступенчато, что приводит к не оптимальному использованию мощности двигателя. В результате этого уменьшается средняя скорость движения транспортной машины, снижается ее проходимость. По этой причине, для обеспечения лучшей приспособляемости при движении в различных дорожных условиях в транспортной машине с механической ступенчатой трансмиссией желательно иметь в коробке передач как можно больше ступеней, особенно для машин весом более 10 т. Однако с увеличением числа передач усложняется конструкция механической



коробки передач и управление ею, кроме того снижается отказоустойчивость и ремонтпригодность. С другой стороны, увеличение числа передач приводит к ухудшению разгонной характеристики, поскольку время разгона до заданной скорости увеличивается на суммарное время переключения передач [27]. Существуют различные способы выбора передаточных чисел в трансмиссии, при этом, как правило, каждый из них оптимален только для определенного типа дорожных условий движения. Универсального способа выбора передаточных чисел для механической ступенчатой трансмиссии, обеспечивающего оптимальные параметры при любых условиях движения не существует. С целью экономии средств выбор оптимальных, с точки зрения заданного критерия, передаточных чисел ступенчатой трансмиссии, как правило, определяется в результате математического моделирования динамических процессов движения изделия с целью построения разгонных и тормозных характеристик, при этом разрабатывается математическая модель двигателя [28], трансмиссии и взаимодействия колёсного движителя с грунтом, имеющим заданные характеристики.

Перечисленные недостатки механической ступенчатой трансмиссии с ручным управлением оказывают меньшее влияние на параметры подвижности ЛКВМ оборудованной гидромеханической трансмиссией благодаря наличию в её составе гидродинамической передачи (комплексного гидротрансформатора). На ЛКВМ большое распространение получила конструкция гидромеханической трансмиссии с последовательным соединением блокируемого комплексного гидротрансформатора и механических узлов, которые применяются в механической ступенчатой трансмиссии [6]. Такая конструкция смогла объединить в себе положительные свойства механической ступенчатой и гидравлической бесступенчатой трансмиссий. С одной стороны возможность блокировать комплексный гидротрансформатор на стационарных режимах движения транспортной машины позволяет повышать величину КПД гидромеханической трансмиссии до уровня величины КПД механической ступенчатой трансмиссии. С другой стороны комплексный гидротрансформатор обеспечивает в определенных пределах плавное изменение крутящего момента, передаваемого на ведущие колеса транспортной машины, и частоты их вращения в зависимости от сопротивления движению [7]. Кроме того он выполняет функции сцепления, которое применяется на механических ступенчатых трансмиссиях. Поэтому сцепление в гидромеханической трансмиссии не требуется.

Также к достоинствам гидромеханической трансмиссии следует отнести: легкость ее автоматизации, что позволяет упростить управление движением; снижение пиковых динамических нагрузок в трансмиссии, в результате чего увеличивается ресурс работы ее элементов; обеспечение передачи крутящего момента от двигателя к ведущим колесам без разрыва потока мощности при разблокированном гидротрансформаторе, что позволяет увеличить среднюю скорость движения ЛКВМ в сравнении с применением механической ступенчатой трансмиссии с ручным управлением; исключение возможности непреднамеренной остановки двигателя – «заглохания» при тяжелых условиях движения машины, и надежная работа в различных дорожных и климатических условиях [8]. Следует отметить, что при движении на повышенных передачах с целью повышения КПД в гидромеханической трансмиссии, как указывалось выше, включается блокировка гидротрансформатора. В этом случае гидромеханическая трансмиссия приобретает все недостатки механической ступенчатой трансмиссии.

С целью определения степени влияния конструктивных особенностей механической ступенчатой трансмиссии с ручным управлением и гидромеханической трансмиссии с микропроцессорной системой автоматического управления на подвижность ЛКВМ рассмотрим критерии ее оценки. Среди количественных критериев оценки подвижности военных машин основными являются удельная мощность машины, максимальная и средняя скорости движения, время разгона до величины средней скорости движения, запас хода по топливу [9].

Для сравнения количественных критериев оценки подвижности военных машин возьмем ЛКВМ, которые разрабатывались и модернизировались в Государственном предприятии «Харьковское конструкторское бюро по машиностроению им. А.А. Морозова» (ГП «ХКБМ»), а также образцы изделий зарубежных производителей.

В ГП «ХКБМ» была выполнена модернизация изделий БТР-70 и БТР-80 с целью улучшения их тягово-скоростных и эксплуатационных характеристик, которые получили в последующем индексы обозначения БТР-70М и БТР-3Е1. А также разработаны новые изделия БТР-3 и БТР-4Е.

На изделии БТР-70М заменили два карбюраторных двигателя ЗМЗ-4905 мощностью 115 л.с. на один дизельный двигатель УТД-20 мощностью 300 л.с. с соответствующим подбором передаточных чисел согласующего редуктора с двумя механическими ступенчатыми коробками передач в трансмиссии.

На изделии БТР-3Е1 заменили дизельный двигатель ЯМЗ-238М2 мощностью 240 л.с. на дизельный двигатель немецкой фирмы DEUTZ BF6M1015FC мощностью 326 л.с. и заменили механическую пятиступенчатую коробку переключения передач на автоматическую гидромеханическую шестиступенчатую коробку переключения передач американской фирмы Allison MD 3066.



Изделие БТР-3 было разработано на основе изделия БТР-80, в котором установили дизельный двигатель УТД-20С1 и полноприводную механическую трансмиссию с пятиступенчатой коробкой передач и двухступенчатой раздаточной коробкой.

Изделие БТР-4Е является полностью новой разработкой ГП «ХКБМ». Для этого изделия Государственным предприятием «Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению» была разработана новая модель дизельного двигателя ЗТДЗ-А мощностью в 500 л.с., а предприятием ГП «ХКБМ» разработаны корпус машины, боевой модуль и внедрены целый ряд новых узлов и агрегатов, к которым также относится гидромеханическая трансмиссия с микропроцессорной системой автоматического управления, являющаяся собственной разработкой ГП «ХКБМ» [10].

Среди ЛКВМ, разработанных зарубежными производителями, для сравнения возьмем изделия с колесной формулой 6x6 или 8x8, которые имеют удельную мощность в пределах диапазона 19–25 л.с./т. К ним относятся российский БТР-90, изготовленный Арзамасским машиностроительным заводом, швейцарская Piranha IV компании Mowag, немецкий Fuchs II компании Rheinmetall Landsysteme, австрийский Pandur II компании Steyr-Daimler-Puch Spezialfahrzeug AG.

Количественные критерии оценки подвижности рассматриваемых выше моделей ЛКВМ приведены в таблице 4.1. Они были получены в результате выполнения анализа следующих источников информации [11]–[18].

Следует отметить, что показатели подвижности: удельная мощность машины, максимальная скорость движения, запас хода по топливу в первую очередь зависят от параметров максимальной мощности применяемого двигателя, частоты вращения коленчатого вала двигателя при максимальной мощности, удельного расхода топлива и количества возимого топлива в баках изделия. Влияние параметров трансмиссии: вес трансмиссии, передаточное отношение на высшей передаче, КПД трансмиссии в этом случае является второстепенным. Поэтому однозначно сказать о том, что из-за улучшения перечисленных параметров трансмиссии улучшились соответствующие показатели подвижности можно только в том случае, когда сравниваемые изделия будут иметь одинаковый вес и на них будут установлены дизельные двигатели одинаковой мощности и удельного расхода топлива. Однако в результате сравнения величин средней скорости движения машины и времени разгона до величины средней скорости движения с учетом удельной мощности машины однозначно можно дать оценку качества, установленной в изделии, трансмиссии.

Например, если взять ЛКВМ в таблице 4.1 удельной мощностью менее 23,8 л.с./т. с установленной на них автоматической гидромеханической трансмиссией и сравнить их величины средней скорости движения и времени разгона до средней скорости движения с соответствующими величинами изделия БТР-70М, то получаем, что применение гидромеханической трансмиссии с микропроцессорной системой автоматического управления существенно улучшает рассматриваемые показатели подвижности. Кроме того, все ЛКВМ, на которых установлена автоматическая гидромеханическая трансмиссия, имеют наименьшую минимальную скорость движения вперед в сравнении с изделиями БТР-70М и БТР-3, на которых установлена механическая ступенчатая трансмиссия с ручным управлением. Такую возможность дают конструктивные свойства применяемых комплексных гидротрансформаторов в гидромеханических трансмиссиях.

Еще одним показателем оценки подвижности ЛКВМ является их проходимость. Проходимость автомобиля делится на профильную и опорную. Профильная проходимость характеризует возможность преодолевать неровности пути, препятствия и вписываться в требуемую полосу движения. Опорная проходимость определяет возможность движения в ухудшенных дорожных условиях по деформируемым грунтам.

На проходимость машины влияют технические характеристики дизельного двигателя, трансмиссии и ходовой части, которые установлены на машине. В частности трансмиссия характеризуется способностью увеличения максимального крутящего момента развиваемого дизельным двигателем с последующей передачей и распределением его на ведущие колеса машины.

Для достоверной оценки влияния конструктивных особенностей разных видов трансмиссий на проходимость ЛКВМ необходимо сравнивать машины одинакового веса, с одинаковой удельной мощностью и с одинаковыми параметрами колесного движителя. Таких машин с указанными одинаковыми параметрами в таблице 4.1 нет. Однако, если сравнить технические характеристики изделий БТР-70М, БТР-3, БТР-3Е1 и БТР-4Е на соответствие их техническим требованиям в части проходимости, то все машины должны двигаться по грунтовой и песчаной дороге, преодолевать подъемы с максимальным углом 30°, вертикальную стенку высотой 0,5 м, водную преграду шириной без ограничения. При этом отметим, что изделие БТР-4Е имеет наибольшую массу и мощность двигателя среди сравниваемых ЛКВМ. А соответственно трансмиссия на изделии БТР-4Е обеспечивает увеличение и передачу на ведущие колеса наибольшей величины крутящего момента, развиваемого дизельным двигателем, среди сравниваемых ЛКВМ. Кроме того в результате ходовых испытаний изделия БТР-4Е было отмечено, что оно способно преодолевать вертикальную стенку высотой 0,6 м [19]. Преодоление естественной и искусственных преград изделием БТР-4Е показано на фотографиях рисунок 4.1.





Рисунок 4.1 – Преодоление преград изделием БТР-4Е

В результате сравнительного анализа конструктивных особенностей и технических характеристик механической ступенчатой трансмиссии с ручным управлением и гидромеханической трансмиссии с микропроцессорной системой автоматического управления, а также параметров подвижности ЛКВМ получаем, что по всем показателям наиболее подходящей для установки на ЛКВМ является автоматизированная гидромеханическая трансмиссия.

Проведенный анализ теоретических и экспериментальных работ [20]–[22] показал, что все больше специалистов в области проектирования трансмиссий для ЛКВМ предлагают отказаться от применения механической ступенчатой и автоматизированной гидромеханической трансмиссий, в которых выполняется общее распределение и управление подводимой мощности к ведущим колесам, и перейти к индивидуальному подводу мощности на каждое колесо и индивидуальному управлению ею. Это связано с тем, что возможности совершенствования механической ступенчатой и автоматизированной гидромеханической трансмиссий, при применении многоколесного движителя на машине, практически исчерпаны.

Индивидуальный подвод мощности к каждому колесу машины и индивидуальное управление им позволят повысить проходимость ЛКВМ, благодаря предотвращению буксования колес на разных дорожных покрытиях, повысить маневренность ЛКВМ, за счет реализации возможности выполнения поворота с радиусом равным половине ширины колеи машины (разворот на месте), а также позволят реализовать функции антиблокировочной, антипробуксовочной систем и системы курсовой устойчивости машины.

Принципиально конструкцию трансмиссии с индивидуальным управлением и подводом мощности к каждому ведущему колесу можно реализовать путем применения гидро-объемно-механической или электромеханической передачи. Однако в последнее время конструкторы и ученые в области разработки трансмиссий для ЛКВМ все больше отдают приоритет применению электромеханической передачи, хотя по габаритно-массовым характеристикам современные тяговые электродвигатели мощностью до 60кВт имеют удельную массу в диапазоне 2..3,5 кг/кВт, а гидромоторы – 0,5..1,5 кг/кВт [5]. Причиной этому является то, что гидрообъемную передачу используют в небольшом диапазоне низких скоростей движения машины, а на высоких скоростях движения ее отключают из-за особенностей рабочих процессов в гидрообъемных машинах. Также при разработке гидрообъемных передач необходимо детально разрабатывать ее вспомогательные системы и оборудование. К ним относятся бак для запаса рабочей жидкости, система подпитки, силовые элементы системы управления, клапаны, регуляторы расхода, система прокачки трансмиссии, система дренажа для сбора и отвода в бак утечек жидкости, радиатор для охлаждения рабочей жидкости, фильтры и т.д. В результате громоздкость конструкции вспомогательных систем и оборудования оборачиваются существенным падением КПД, повышением массогабаритных показателей гидрообъемных передач и машины в целом.

Еще одним не маловажным фактором активного внедрения электромеханических передач на ЛКВМ является появление накопителей с большой плотностью накопления электрической энергии и удельной мощностью [23]. Это позволило построить электромеханическую трансмиссию для ЛКВМ с индивидуальным подводом и управлением мощности к ведущим колесам на совершенно новых принципах работы, в которых заложены функции накопления кинетической энергии машины при движении ее на спуске и в режиме торможения, а также во время работы дизельного двигателя на холостом ходу с последующим использованием накопленной энергии в режимах движения машины с перегрузкой. Такой вид трансмиссий в настоящее время получил название гибридной электромеханической трансмиссии. Она включает в себя все элементы электромеханической трансмиссии, блок накопителей электрической энергии и микропроцессорную систему автоматического управления их взаимодействием.

Проведем сравнительный анализ влияния конструкций гибридной электромеханической и автоматизированной гидромеханической трансмиссий на параметры подвижности ЛКВМ.

В 2002 году компания General Dynamics Land Systems создала разведывательный 4-х колесный автомобиль Shadow RST-V с гибридной электромеханической трансмиссией на базе тактического автомобиля армии США HUMVEE и 8-ми колесную полноприводную ЛКВМ ANEAD [24]. Со слов представителей компании, в результате ходовых испытаний Shadow RST-V и HUMVEE было получено, что Shadow RST-V имеет запас хода в 1,45 раза больше чем HUMVEE, и Shadow RST-V проходит трассу с препятствиями за 15 мин. 50 с., а

HUMVEE ту же трасу проходить за 32 мин. Кроме того, Shadow RST-V способен перемещаться на накопителях энергии без работающего дизельного двигателя до 30 км. О технических характеристиках ЛКВМ ANEAD имеется только общая описательная информация, а об особенностях конструкции ее гибридной электромеханической трансмиссии практически ничего не известно.

В 2013 году «Военно-промышленная компания» в рамках выполнения научно-исследовательской работы шифр «Крымск» разработала и испытала колесный макетный образец ЛКВМ с гибридной энергоустановкой и электромеханической трансмиссией на базе БТР-90 «Росток» [25]. В состав макетного образца входят корпус и ходовая часть БТР-90, дизельный двигатель с тяговым генератором вентильно-индукторного типа мощностью 300 кВт, блок молекулярных накопителей электрической энергии мощностью 80 кВт, восемь тяговых электродвигателей вентильно-индукторного типа с независимым возбуждением, номинальной мощностью 35 кВт и максимальной мощностью 40 кВт, бортовая микропроцессорная система управления с блоками силовой электроники и система охлаждения тяговых электрических машин и блоков силовой электроники [22].

В результате масса колесного макетного образца ЛКВМ без боевого модуля и защиты составила 22 т. Эта величина соответствует полной боевой массе БТР-90.

Макетный образец имеет максимальную скорость движения 97 км/ч и разгоняется до скорости 80 км/ч за 33 секунды.

БТР-90 имеет максимальную скорость движения 100 км/ч и разгоняется до скорости 80 км/ч за 49 секунд.

Запас хода по топливу у макетного образца составил 940 км при движении со средней скоростью 40 км/ч, а у БТР-90 – 800 км. Т.е. увеличился в 1,175 раза.

Обе машины БТР-90 и макетный образец преодолевают подъем углом 30°.

Возникает вопрос о запасе по величине силы тяги у макетного образца ЛКВМ на базе БТР-90 «Росток», в случае установки боевого модуля и защиты.

Рассчитаем максимальную силу тяги машины при получении максимального крутящего момента от восьми тяговых электродвигателей по формуле [26]:

$$P_{\text{тяги max}} = 8 \cdot \frac{M_{\text{ГЭД max}}}{R_{\text{вк}}} i_{\text{кр}} \eta_{\text{кр}}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{тяги max}}$  – максимальная сила тяги машины, Н;  $M_{\text{ГЭД max}}$  – максимальный крутящий момент на валу тягового электродвигателя, Н·м;  $R_{\text{вк}}$  – радиус ведущего колеса, м;  $i_{\text{кр}}$  – передаточное отношение колесного редуктора;  $\eta_{\text{кр}}$  – КПД колесного редуктора.

Из источника информации [22] известно, что  $M_{\text{ГЭД max}} = 610$  Н·м,  $i_{\text{кр}} = 13,6$ ,  $\eta_{\text{кр}} = 0,985$ . Зададимся величиной  $R_{\text{вк}} = 0,5$  м. В результате получим  $P_{\text{тяги max}} = 130,744$  кН. Для сравнения  $P_{\text{тяги max}}$  у изделия БТР-4Е составляет 119,5 кН.

Из формулы определения тяговых характеристик колесной машины найдем массу машины:

$$m = \frac{P_{\text{тяги max}}}{(f \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) \cdot 9,8}, \quad (2)$$

где  $m$  – масса машины в кг;  $P_{\text{тяги max}}$  – максимальная сила тяги машины, Н;  $f$  – коэффициент сопротивления качению;  $\alpha$  – угол наклона дороги к горизонту.

Принимаем  $P_{\text{тяги max}} = 130$  кН,  $f = 0,045$  и  $\alpha = 30^\circ$ . В результате получаем  $m = 24600$  кг. Таким образом, на макетный образец ЛКВМ можно добавить вес 2600 кг.

Если предположить, что вес защиты машины будет составлять до 1000 кг, то на такой макетный образец можно устанавливать боевые модули БАУ-23, Штурм и Парус, но при этом полученные преимущества по запасу хода и времени разгона несколько ухудшатся.

Таким образом, получаем, что в результате применения гибридной электромеханической трансмиссии на ЛКВМ в сравнении с применением автоматизированной гидромеханической трансмиссией увеличивается вес машины и соответственно уменьшается ее удельная мощность. Незначительно уменьшилась максимальная скорость движения машины. Это может быть исправлено путем изменения передаточных чисел колесных редукторов и увеличения скоростного диапазона тяговых электродвигателей. Увеличились запас хода машины, средняя скорость движения и уменьшилось время разгона. Улучшилась маневренность машины благодаря появлению возможности выполнять поворот с радиусом равным половине ширины колеи машины.

Также следует отметить, что имеются проблемы с отводом тепла от тяговых электродвигателей при температурах окружающей среды от +45 °С и выше. А это снижает надежность работы гибридной элек-

тримеханичної трансмісії в порівнянні з автоматизованою гидромеханичною. І ще одним недолугом даного типу трансмісії являється висока ціна виготовлення її складних частин. Вона приблизно в три рази дорожче виготовлення автоматизованої гидромеханичної трансмісії.

Тем не менше, роботи по удосконаленню конструкцій гибридных електромеханичних трансмісій для ЛКВМ продовжуються. Оскільки вони наділяють даний клас машин новими бойовими властивостями: здатністю рухатися поки на невеликі відстані безшумно і з більш меншим тепловиділенням на накопичувачах енергії при неработаючому двигателі і можливістю в майбутньому застосування електромеханічного озброєння, яке буде працювати на нових фізичних принципах, завдяки наявності на борту ЛКВМ потужного джерела електричної енергії і молекулярних накопичувачів енергії, які дозволяють акумулювати і за короткий проміжок часу звільнити її великі об'єми.

## 5. Висновки

Проведений аналіз конструктивних особливостей різних видів трансмісій, які встановлюють на ЛКВМ, їх технічних характеристик і параметрів рухливості ЛКВМ показав:

1. Гибридна електромеханична трансмісія забезпечує найкращу рухливість ЛКВМ в частині збільшення запасу ходу машини, її середньої швидкості руху і маневрування, але при цьому у неї низька надійність роботи при температурах оточуючої середовища більш +45 °С, і вона має високу ціну виготовлення. По цим причинам даний тип трансмісії поки ще серійно не встановлюється на ЛКВМ, і продовжуються науково-дослідницькі роботи по удосконаленню конструкції тягового електродвигача для ЛКВМ.

2. Друге місце по підвищенню рухливості на ЛКВМ займає гидромеханична трансмісія з мікропроцесорною системою автоматичного управління. Вона також надійно працює в різних дорожніх і кліматичних умовах, в усьому діапазоні температур оточуючої середовища і не значуще дорожче в виготовленні порівнянні з ступінчастою механічною трансмісією. Тому, в нинішній час даний тип трансмісії серійно встановлюється на більшості ЛКВМ.

## Література

1. Многоцелевые гусеничные и колесные машины: Конструкция: Учеб. для вузов/ Г.И. Гладов, А.В. Вихров, В.В. Кувшинов, В.В. Павлов; Под редакцией Г.И. Гладова. – М.: Транспорт, 2001. – 272 с.
2. Проектирование полноприводных колесных машин: В 2 т. Т. 1. Учебн. для вузов / [ Б.А. Афанасьев, Н.Ф. Бочаров, Л.Ф. Жеглов и др. ]; под ред. А.А. Полунгина. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 488 с.
3. Динамика транспортно-тяговых колесных и гусеничных машин / [Александров Е.Е., Волонцевич Д.О., Карпенко В.А. и др.]; под ред. А.Н. Туренко. – Харьков: ХГАДТУ(ХАДИ), 2001. – 642 с.
4. Супервариатор – перспективная бесступенчатая коробка передач для автомобилей / Н.В. Гулия, И.В. Бессуднов // Наука и техника. – 2004 – №3. – С. 31–37.
5. Колесные транспортные средства особо большой грузоподъемности. Конструкция. Теория. Расчет. / Б.Н. Белоусов, С.Д. Попов / Под общ. ред. Б.Н. Белоусова. – М.: Из-во МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2006. – 728 с.
6. Микропроцессорные системы автоматического управления гидродинамическими трансмиссиями легкобронированных колесных военных машин / С.В. Стримовский // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2012. – №4. – С. 80–87.
7. Математическая модель рабочего процесса гидротрансформатора / А.И. Веретенников, В.М. Соловьев, С.В. Стримовский, В.А. Толстолицкий, В.А. Кошман, С.В. Журавлев // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2010. – №3. – С. 50–57.
8. Перспективы применения гидромеханической трансмиссии с микропроцессорной системой управления на военных машинах / Е.Е. Александров, С.В. Стримовский // Механіка та машинобудування. – 2006. – №1. – С. 92–98.
9. Концептуальное проектирование объектов бронетанковой техники: монография / О.Б. Анипко, М.Д. Борисюк, Ю.М. Бусяк. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – 196 с.
10. Розробка та впровадження автоматичної трансмісії легкоброньованих колісних військових машин для підвищення параметрів рухливості В 2 т. Т. 2. Монографія / В.М. Соловйов, С.В. Стримовський, В.О. Толстолицький. – Харків: КП «ХКБМ», 2010. – 200 с.
11. Austria infantry fighting vehicle takes shape. /Christopher F Foss. // Jane's Defence Weekly. – 5 November 2007. – P. 12–14.
12. MOWAG Piranha IV multipurpose armoured vehicle. / Christopher F Foss. // Jane's Defence Weekly. – 24 March 2007. – P. 15–17.

13. Complete Guide Medium Armoured Vehicles 2009. / Eric H. // armada.– 2009.–№1.– 40 с.
14. Российский БТР-90 – машина XXI века / Дмитрий Галкин. // Военный парад. – 2006. – июль-август. – С. 12–13.
15. Акт № 191 від 29.08.03 державних випробувань бронетранспортера БТР-70М. Шифр «Привод-1». /Кондратьев В.В., Большаков А.К. // КП ХКБМ, 2003. – 223 с.
16. Акт №226 от 12.08.04 предварительных испытаний опытного образца шасси БТР-ДА. / Борисюк М.Д., Веретенников А.И. //КП ХКБМ, 2004.– 184 с.
17. Акт №81 від 30 березня 2007 року попередніх випробувань дослідного зразка бронетранспортера БТР-3Е, виготовленого КП КРМЗ по конструкторській документації КП ХКБМ ім. О.О. Морозова. / Глебов В.В., Гур'єв М.Ю., Богомолів В.І. // КП ХКБМ, 2007. – 318 с.
18. Акт № 161 от 21 сентября 2007 Об испытаниях изделия БТР-4 пробегом по маршруту Харьков-Ровно-Харьков. / Воронин С.Е., Мормило Я.М., Щерба В.А. // КП ХКБМ, 2007.
19. Акт № 72 от 3 июля 2008 года Об испытаниях изделия БТР-4 пробегом по маршруту Харьков-Кременчуг-Харьков. / Воронин С.Е., Павлюченко А.А. // КП ХКБМ, 2008.
20. Перспективные направления повышения тягово-скоростных и топливо-экономических характеристик военных машин / С.В. Стримовский // Механіка та машинобудування. – 2012. – №2. – С. 165–177.
21. Применение электромеханической трансмиссии для машин класса бронетранспортеров / А.В. Поторока, Е.И. Решетило, Г.П. Гращенков и др. // Механіка та машинобудування. – 2012. – №2. – С 152–158.
22. Разработка системы управления для электротрансмиссии с тяговыми вентильно-индукторными двигателями: Автореферат диссертации / М.М. Лашкевич. – Москва 2013.– 20 с.
23. Автомобильный справочник BOSCH: [справ. пособие для студ. высш. учеб. зав. и инж.] / Роберт Босш. – [1-е изд.]. – пер. с англ. Ф.П. Тарасенко. // М.: За рулем, 2009.
24. Военное применение гибридных электроприводов / Сергей Вэй// [http://army\\_guide.com](http://army_guide.com), 2002.
25. Новый БТР «Крымск» сделают из русских деталей. РОСИНФОРМБЮРО <http://rosinform.ru>, 2013.
26. Тягово-скоростные характеристики быстроходных гусеничных и полноприводных колесных машин: Теория и расчет: [учеб. пособие для студ. высш. учеб. зав.] / [Александров Е.Е., Епифанов В.В., Медведев Н.Г., Устиненко А.В. ]; под ред. В.В. Епифанова – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – 124 с.
27. Выбор параметров алгоритма управления движением гусеничной машины со ступенчатой трансмиссией. / Слюсаренко Ю.А., Александров Е.Е., Александрова Т.Е. и др. // «Інтегровані технології та енергозбереження», – Харків: 2004, №2. –с. 147–153.
28. Математическая модель вращения коленчатого вала дизельного двигателя для моделирования динамических процессов криволинейного движения ВГМ. / Слюсаренко Ю.А. // «Інтегровані технології та енергозбереження», – Харків: 2012, №4, –с. 54–61.

#### Bibliography (transliterated)

1. Mnogotselevyie gusenichnyie i kolesnyie mashiny: Konstruktsiya: Ucheb. dlya vuzov. G.I. Gladov, A.V. Vihrov, V.V. Kuvshinov, V.V. Pavlov; Pod redaktsiey G.I. Gladova. – М.: Transport, 2001. – 272 p.
2. Proektirovanie polnoprivodnyih kolesnyih mashin: V 2 t. T. 1. Uchebn. dlya vuzov [ B.A. Afanasev, N.F. Bocharov, L.F. Zheglov i dr. ]; pod red. A.A. Polungyana.– М.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 1999.– 488 p.
3. Dinamika transportno-tyagovyih kolesnyih i gusenichnyih mashin [Aleksandrov E.E., Volontsevich D.O., Karpenko V.A. i dr.]; pod red. A.N. Turenko. – Harkov: HGADTU(HADI), 2001. – 642 p.
4. Supervariator – perspektivnaya besstupenchataya korobka peredach dlya avtomobiley. N.V. Guliya, I.V. Bessudnov. Nauka i tehnika. – 2004 – #3. – P. 31–37.
5. Kolesnyie transportnyie sredstva osobo bolshoy gruzopod'emnosti. Konstruktsiya. Teoriya. Raschet. B.N. Belousov, S.D. Popov. Pod obsch. red. B.N. Belousova. – М.: Iz-vo MGTU imeni N.E. Baumana, 2006. – 728 p.
6. Mikroprotsessornyie sistemyi avtomaticheskogo upravleniya gidrodinamicheskimi transmissiyami legkobronirovannyih kolesnyih voennyih mashin. S.V. Strimovskiy. Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya. – 2012. – #4. – P. 80–87.
7. Matematicheskaya model rabocheho protsessa gidrotransformatora. A.I. Veretennikov, V.M. Solovev, S.V. Strimovskiy, V.A. Tolstolutskiy, V.A. Koshman, S.V. Zhuravlev. Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya. – 2010. – #3. – P. 50–57.
8. Perspektivnyi primeneniya gidromehanicheskoy transmissii s mikroprotsessornoy sistemoy upravleniya na voennyih mashinah. E.E. Aleksandrov, S.V. Strimovskiy. Mehanika ta mashinobuduvannya. – 2006. – #1. – P. 92–98.
9. Kontseptualnoe proektirovanie ob'ektov bronetankovoy tehniki: monografiya. O.B. Anipko, M.D. Borisyuk, Yu.M. Busyak. – Harkov: NTU «HPI», 2008. – 196 p.



10. Rozrobka ta vprovadzheniya avtomatichnoyi transmisiyi lekobronovanih kolisnih viyskovih mashin dlya pidvischennya parametriv ruhливosti V 2 t. T. 2. Monografiya. V.M. Solovyov, S.V. StrImovskiy, V.O. Tolstolutskiy. – Harkiv: KP «HKBM», 2010. – 200 p.
11. Austria infantry fighting vehicle takes shape. Christopher F Foss. Jane's Defence Weekly. – 5 November 2007. – P. 12–14.
12. MOWAG Piranha IV multipurpose armoured vehicle. Christopher F Foss. Jane's Defence Weekly. – 24 March 2007. – P. 15–17.
13. Complete Guide Medium Armoured Vehicles 2009. Eric H. armada.– 2009.–#1.– 40 p.
14. Rossiyskiy BTR-90 – mashina XXI veka. Dmitriy Galkin. Voennyiy parad. – 2006. – iyul-avgust. – P. 12–13.
15. Akt # 191 vid 29.08.03 derzhavnih viprobuvan bronetransportera BTR-70M. Shifr «Privod-1». Kondratyev V.V., Bolshakov A.K. KP HKBM, 2003. – 223 p.
16. Akt #226 ot 12.08.04 predvaritelnyih ispytaniy opyitnogo obraztsa shassi BTR-DA. Borisyuk M.D., Veretennikov A.I. KP HKBM, 2004.– 184 p.
17. Akt #81 vid 30 bereznaya 2007 roku poperednih viprobuvan doslidnogo zrazka bronetransportera BTR-3E, vigotovlennogo KP KRMZ po konstruktorskiy dokumentatsiyi KP HKBM im. O.O. Morozova. / Glebov V.V., Gur'Ev M.Yu., Bogomolov V.I. // KP HKBM, 2007. – 318 p.
18. Akt # 161 ot 21 sentyabrya 2007 Ob ispytaniyah izdeliya BTR-4 probegom po marshrutu Harkov-Rovno-Harkov. Voronin S.E., Mormilo Ya.M., Scherba V.A. KP HKBM, 2007.
19. Akt # 72 ot 3 iyulya 2008 goda Ob ispytaniyah izdeliya BTR-4 probegom po marshrutu Harkov-Kremenchug-Harkov. Voronin S.E., Pavlyuchenko A.A. KP HKBM, 2008.
20. Perspektivnyie napravleniya povyisheniya tyagovo-skorostnyih i toplivo-ekonomichnyih karakteri-stik voennyih mashin. S.V. Strimovskiy. Mehanika ta mashinobuduvannya. – 2012. – #2. – P. 165–177.
21. Primenenie elektromekhanicheskoy transmisiyi dlya mashin klassa bronetransporterov. A.V. Potoroka, E.I. Reshetilo, G.P. Graschenkov i dr. Mehanika ta mashinobuduvannya. – 2012. – #2. – P 152–158.
22. Razrabotka sistemyi upravleniya dlya elektrotransmissii s tyagovyimi ventilno-induktornyimi dvigatelyami: Avtoreferat dissertatsii. M.M. Lashkevich. – Moskva 2013.– 20 p.
23. Avtomobilnyiy spravochnik BOSCH: [sprav. posobie dlya stud. vyissh. ucheb. zav. i inzh.] Robert Bossh. – [1-e izd.]. – per. s angl. F.P. Tarasenko. M.: Za rulem, 2009.
24. Voennoe primeneniye gibridnyih elektroprivodov. Sergey Vey. [http://army\\_guide.com](http://army_guide.com), 2002.
25. Novyy BTR «Krymsk» sdelayut iz russkih detaley. ROSINFORMBYURO <http://rosinform.ru>, 2013.
26. Tyagovo-skorostnyie karakteristiki bystrohodnyih gusenichnyih i polnoprivodnyih kolesnyih mashin: Teoriya i raschet: [ucheb. posobie dlya stud. vyissh. ucheb. zav.] [Aleksandrov E.E., Epifanov V.V., Medvedev N.G., Ustinenko A.V. ]; pod red. V.V. Epifanova – Harkov: NTU «HPI», 2007. – 124 p.
27. Vyibor parametrov algoritma upravleniya dvizheniem gusenichnoy mashinyi so stupenchatoy transmisiyey. Slyusarenko Yu.A., Aleksandrov E.E., Aleksandrova T.E. i dr. «Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya», – Harkiv: 2004, #2. –p. 147–153.
28. Matematicheskaya model vrascheniya kolenchatogo vala dizelnogo dvigatelya dlya modelirovaniya dinamicheskikh protsessov krivolineynogo dvizheniya VGM. Slyusarenko Yu.A. «Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya», – Harkiv: 2012, #4, –p. 54–61.

УДК 621.85.52

Стримовский С.В., Слюсаренко Ю.О., Соловйов В.М.

#### **АНАЛІЗ ТРАНСМІСІЙ СУЧАСНИХ ЛЕГКОБРОНЬОВАНИХ КОЛІСНИХ ВІЙСЬКОВИХ МАШИН ТА ЇХ ВПЛИВ НА ПАРАМЕТРИ РУХОМОСТІ**

В статті виконано порівняльний аналіз конструктивних відмінностей різних типів трансмісій, які використовуються на легкоброньованих колісних військових машинах, їх технічних характеристик та параметрів рухомості. Визначені напрямки підвищення рухливості легкоброньованих колісних військових машин.

Strimovskij S.V., Sljusarenko J.A., Solovjov V.M.

#### **THE ANALYSIS OF TRANSMISSIONS MODERN EASY-ARMOUR WHEEL MILITARY VEHICLES AND THEIR INFLUENCE ON MOBILITY PARAMETERS**

In article the comparative analysis design features various types of transmissions which are applied on easy-armor wheel military vehicles, their technical characteristics and mobility parameters is made. Directions of increase of mobility of is easy-armor wheel military vehicles are defined.

Токарь С.Е., Дудко В.В., Афонский П.В, Мормило Я.М., Каторгин А.Н.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ВРАЩЕНИЮ В ПОВОРОТНОЙ ОПОРЕ ЛОПАСТИ ВЭУ

#### Постановка проблемы

Важным направлением развития современной энергетики, является создание экологически чистых источников энергии, использующих возобновляемые ресурсы. Ветроэнергетические установки (далее ВЭУ) – один из таких ресурсосберегающих источников.

Создание ВЭУ представляет собой сложную инженерную задачу. И как показал опыт эксплуатации подобных установок, одним из наиболее сложных и ответственных элементов конструкции ВЭУ является поворотная опора лопасти. В КП ХКБМ им. А.А. Морозова разработаны и изготовлены 3-и поворотные опоры для ВЭУ-500 (ГКБ «Южное»), которые по сравнению с существующими опорами имеют меньший момент сопротивления вращению при воздействии эксплуатационных нагрузок. Ввиду значительных внешних силовых воздействий и ограничения габаритов – высоты и диаметра опоры, предложена конструкция с двухрядным расположением шаров (рис. 1), одной внутренней обоймой (подвижной 1), двумя наружными обоймами (неподвижными 2) и двумя резиновыми манжетами (верхней 3 и нижней 4).

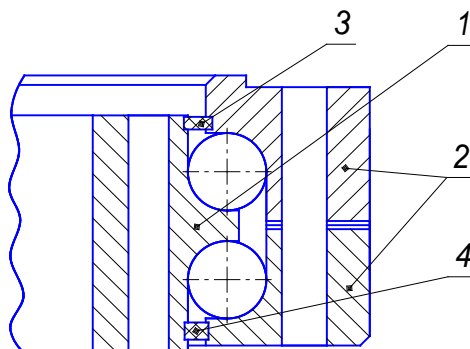


Рисунок 1 – Конструкция поворотной опоры

Обоснование проекта на начальных этапах выполняется расчетным методом, моделированием, изучением прототипов и аналогов. Экспериментальные исследования на этих этапах служат подтверждением расчетных условий, силовых и кинематических схем, выбранных критериев и конструкционных материалов.

Таким образом, для оптимизации и усовершенствования конструкции одного расчетного метода недостаточно, а поэтому требуется подтверждение правильности выбора конструкции и при необходимости улучшение технико-экономических показателей на основе экспериментальных исследований

#### Анализ последних достижений и публикаций

В процессе разработки конструкции для обеспечения ее надежности обычно ограничиваются рядом прочностных расчетов. Расчеты основаны на методах определения усилий и напряжений в опорах кранов [1] и поворотных шариковых опор башен танков [2]. Ресурс опор оценивается согласно нормативным документам [3 - 5].

Проведенный анализ определения сопротивления вращению в опорах [3] показал, что расчет не учитывает момента страгивания, являющегося существенным показателем для выбора мощности привода изменения угла поворота лопастей. Кроме того, при определении момента сопротивления вращению в опорах исходят из общих коэффициентов и ряда допусков, которые не в полной мере отражают действующие факторы.

Для решения указанной задачи – определения моментов сопротивления вращению и страгивания, в испытательной установке должна быть обеспечена возможность проворота обойм под нагрузкой. Такая схема может быть реализована с использованием дополнительного подшипникового узла, который, в свою очередь, должен выдерживать действующие нагрузки, и иметь заранее известный собственный момент сопротивления вращению. Готовых же стендов, позволяющих создать такие нагрузки, на Украине не существует.

### Цель и постановка задачи

Определение опытным путем моментов сопротивления вращению и страгивания поворотной опоры при всех эксплуатационных нагрузках. Разработка и реализация схемы нагружения, позволяющая без значительных трудозатрат изменять требуемые режимы нагружения (опрокидывающий момент и осевую силу), разработка методики проведения испытаний и на этапе конструкторско-доводочных испытаний определение путей повышения качества, надежности и прочности.

### Расчет момента трения в испытуемой поворотной опоре.

В этой части проведено сопоставление экспериментальных данных с расчетными величинами. Расчет момента трения в опоре поворотной вычисляется по формуле[3]:

$$M = M_0 + M_1, \quad (1)$$

где  $M_0$  – момент трения, зависящий от конструкции подшипника, частоты вращения и вязкости смазки, кгс·м;  $M_1$  – момент трения, зависящий от нагрузки на опору, кгс·м. Как видим, в этой формуле не учитывается момент трения манжет  $M_m$ , увеличивающий момент сопротивления вращению в опоре. Поэтому в последующем расчете учитывался момент трения манжет, который определялся экспериментально.

$$M_0 = f_g \cdot 10^{-8} \cdot (vn)^{2/3} d_0^3, \quad (2)$$

где  $d_0$  – диаметр расположения ряда шаров,  $d_0=1,085$  м;  $f_g$  – коэффициент, зависящий от типа подшипника,  $f_g=4$ ;  $\nu$  – вязкость смазочного материала;  $n$  – эквивалентные обороты. Эквивалентные обороты  $n = \frac{1}{30}$  мин<sup>-1</sup>. Вязкость вычислена по данным [8, 9] как распределение между значениями для температур от минус 50 до 30 °С по экспоненциальному закону  $1 \cdot e^{\frac{b(30+50)}{30+273}} = 1100$ , откуда  $b=26,524$ . Испытания опор проводились при температуре 15 °С, таким образом, вязкость  $\mu = 1 \cdot e^{\frac{b(30-T)}{30+273}} = 3,72 \text{ Па} \cdot \text{с}$ , при этом динамическая вязкость  $\nu = 10^6 \cdot \frac{\mu}{\rho}$ , где  $\rho=900$  кг/м<sup>3</sup>, составляет  $\nu=4133$  сст. Учитывая что  $(\nu \cdot n)=138 < 2000$ , то принимаем  $(\nu \cdot n)^{2/3}=160$ .

$$M_1 = f_j \cdot P \cdot \left( \frac{P}{C_0} \right)^c \cdot d_0, \quad (3)$$

где  $P$  – статическая эквивалентная осевая нагрузка;  $C_0$  – статическая эквивалентная осевая грузоподъемность подшипника  $f_j, c$  – коэффициенты, зависящие от типа подшипника. Принимаем  $f_j=0,0012, c=0,33$ .

Статическая эквивалентная осевая нагрузка рассчитана по формуле [1]:

$$P = 2,3 \cdot F_r + F_a, \quad (4)$$

где  $F_r$  – радиальная нагрузка,  $F_a$  – осевая нагрузка.

Радиальная нагрузка в условиях данной схемы нагружения поворотной опоры  $F_r = 0$ . Осевая нагрузка рассчитана по формуле:

$$F_a = T + 4,5 \cdot \frac{M_{on}}{d_0}, \quad (5)$$

где  $T$  – осевая нагрузка,  $M_{on}$  – опрокидывающий момент.

Базовая статическая осевая грузоподъемность находится по формуле [5]:

$$C_0 = 5 \cdot z \cdot d_0^2 \cdot \sin \alpha, \quad (6)$$

где  $z$  – количество тел качения в одном ряду  $z = 81$ ;  $\alpha$  – номинальный угол контакта (угол между линией действия нагрузки и плоскостью, перпендикулярный к оси подшипника)  $\alpha = 45^\circ$ .

Результаты расчетов и эксперимента приведены в таблице и представлены в виде графика на рисунке 2.

Таблица

T, кН	M <sub>оп</sub> , кН·м	P, кН	M <sub>0</sub> , кН·м	M <sub>1</sub> , кН·м	M <sub>м</sub> , кН·м	M <sub>расч</sub> , Н·м	M <sub>эксп</sub> , Н·м	
							M <sub>стр</sub>	M <sub>вр</sub>
9,22	2,55	2018	80	4	120	204	230	219
55,33	74,48	37121		215		415	348,5	334
101,44	146,40	72147		520		720	565,5	537
147,54	218,33	107589		885		1085	855	681

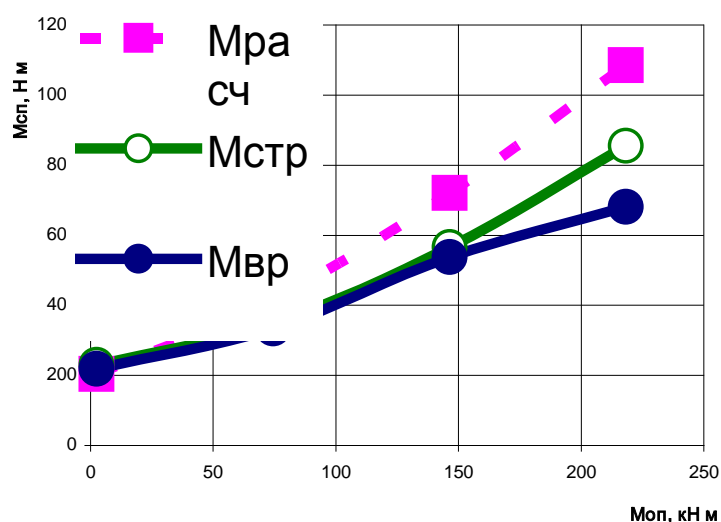


Рисунок 2 – Момент трения в опоре от опрокидывающего момента

Учитывая, что опора будет работать и при отрицательной температуре, то с учетом температурной поправки,  $M_0$  при температуре минус 20 °С увеличится с 80 Н·м до 103 Н·м, т.е. увеличится незначительно. Это обусловлено тем, что проворот опоры осуществляется с малой скоростью и следовательно вязкость смазочного материала при температуре в диапазоне от минус 20 до 50°С практически не влияет на момент трения. Таким образом, общий момент трения в опоре, зависит в основном от приложенной нагрузки. Поэтому экспериментальные данные могут быть основой для дальнейшего расчета выбора приводных механизмов и кинематических схем.

#### Экспериментальные исследования

В КП ХКБМ на основе стэнда объемного нагружения была разработана и изготовлена компактная экспериментальная установка, в которой вместо дополнительного подшипникового узла использовалась вторая (аналогичная из комплекта) поворотная опора. Установка (рис. 3) состоит из двух поворотных опор, жестко скрепленных между собой по наружным обоймам. Внутренняя обойма нижней опоры (1) закрепляется на монтажной плите (основании стэнда), а к внутренней обойме верхней опоры (3) через переходную деталь (4) крепится нагружающий рычаг (5). Требуемое осевое усилие  $P$  и опрокидывающий момент  $M$  создаются приложением к рычагу вертикального усилия от гидродомкрата стэнда на расстоянии  $L$ . Проворот пакета из двух подвижных (наружных) обойм относительно внутренних (неподвижных) осуществляется лебедкой с червячным приводом (7) через динамометр (6). Такая конструкция, с использованием 2-х одинаковых опор, устраняет неконтролируемые моменты сопротивления (страгивания и вращения) и позволяет ускорить процесс обкатки поворотных опор.

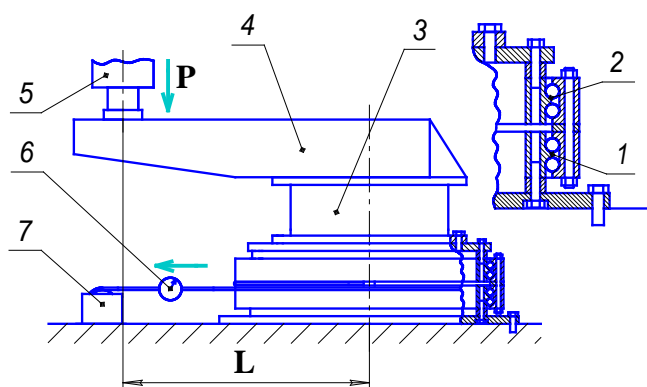


Рисунок 3 – Схема нагружения поворотных опор

При испытаниях определяется суммарный момент сопротивления двух поворотных опор. Для определения характеристик каждой опоры необходимо провести испытания с тремя аналогичными опорами, используя все комбинации.

Дополнительно для подтверждения прочностных расчетов и ресурса опоры, а также выбора режима термообработки и конструктивных улучшений, были проведены испытания на образцах свидетелей. Статические (для проверки прочности) и динамические (ресурсные испытания) нагрузки рассчитывались по методам расчета подшипников качения [5]. Стендовые испытания подтвердили прочность и ресурс опоры, определенные расчетным путем в процессе ее проектирования.

Экспериментальная оценка позволяет выполнять опережающие разработки принципиально новых узлов, соединений, деталей с целью получения ожидаемых лучших характеристик по прочности, долговечности, изнашиванию и т.д. по сравнению с данными известных технических решений.

### Выводы

1. Разработана и создана установка, позволяющая определять опытным путем моменты сопротивления страгивания и вращению крупногабаритных поворотных элементов (таких как поворотные опоры лопастей ВЭУ), а также проводить их обкатку и ресурсные испытания.

2. Экспериментальные исследования образцов свидетелей вносят существенные поправки, направленные на повышения прочности и ресурса опоры на стадии изготовления.

3. Экспериментальное определение момента трения в опоре является одним из важных и необходимых мероприятий оценки качества изготовления крупногабаритных поворотных опор.

4. Экспериментальное определение момента трения в опоре подтвердило правильность выбора расчета, уточнив при этом моменты сопротивления страгивания и вращению.

Полученные результаты измерений могут быть использованы для уточнения расчетов аналогичных узлов.

### Литература

1. М.П. Александров Подъемно-транспортные машины. Учебник для вузов. М. «Высшая школа», 1985.

2. С.С.Буров Конструкция и расчет танков. М. 1973. Академия противотанковых войск.

3. Подшипники качения, Справочник. Безельман Р.Д., Цыпкин Б.В., Перель Л.Я., Машиностроение. 1975.

4. Г.П.Алексеев, И.С.Мазовер Справочник конструктора машиностроителя. Судпромгиз. Ленинград. 1961.

5. ГОСТ 1885494 (ИСО 76-87) Межгосударственный стандарт. Подшипники качения. Статическая грузоподъемность.

6. ГОСТ 18855-94 (ИСО 281-89) Межгосударственный стандарт. Подшипники качения. Динамическая расчетная грузоподъемность и расчетный ресурс.

7. ГОСТ 17594-87 (ИСО 898/1-78) Болты, винты и шпильки. Механические свойства и методы испытаний.
8. ГОСТ 8773-73 Смазки ЦИАТИМ-203 Технические условия.
9. ГОСТ 62774 Смазка ЦИАТИМ-201 Технические условия. 10. ВЭУ 500.008 РР-01 Расчет прочности поворотного кольца ВЭУ-500.

Bibliography (transliterated)

1. M.P. Aleksandrov Pod'emno-transportnye mashiny. Uchebnik dlja vuzov. M. «Vysshaja shkola», 1985.
2. S.S.Burov Konstrukcija i raschet tankov. M. 1973. Akademija protivotankovyh vojsk.
3. Podshipniki kachenija, Spravochnik. Bezel'man R.D., Сypkin B.V., Perel' L.Ja., Mashinostroenie. 1975.
4. G.P.Alekseev, I.S.Mazover Spravochnik konstruktora mashinostroitelja. Sudpromgiz. Leningrad. 1961.
5. GOST 1885494 (ISO 76-87) Mezghosudarstvennyj standart. Podshipniki kachenija. Sticheseskaja gruzopod'emnost'.
6. GOST 18855-94 (ISO 281-89) Mezghosudarstvennyj standart. Podshipniki kachenija. Dinamicheskaja raschetnaja gruzopod'emnost' i raschetnyj resurs.
7. GOST 17594-87 (ISO 898/1-78) Bolty, vinty i shpil'ki. Mehanicheskie svojstva i metody ispytanij.
8. GOST 8773-73 Smazki CIATIM-203 Tehnicheskie uslovija.
9. GOST 62774 Smazka CIATIM-201 Tehnicheskie uslovija. 10. VJeU 500.008 RR-01 Raschet prochnosti povorotnogo kol'ca VJeU-500.

УДК 623.205

Токар С.С., Дудко В.В., Афонський П.В., Мормило Я.М., Каторгін О.М.

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МОМЕНТУ ОПОРУ ОБЕРТУ  
У ПОВОРОТНІЙ ОПОРІ ЛОПАСТІ ВЕУ**

Розроблено та створено установку, яка дозволяє визначати дослідним шляхом момент опору зрушуванню та обертанню великогабаритних елементів, а також проводити їхню обкатку та ресурсні випробування.

Tokar S.E., Dudko V.V., Afonskiy P.V., Mormilo J.M., Katorgin A.N.

**EXPERIMENTAL DETERMINATION MOMENT OF THE RESISTANCE TO ROTATION  
IN THUMB FULL TILT OF THE BLADES WEI (WINDS-ENERGY INSTALLATION)**

It is designed and created installation allowing defines experienced way moments resistances touch and rotation greater thumb element as well as conduct there smooth by rolling and resources of the test.

УДК-632.438.14

Токарь С.Е., Каторгин А.Н., Дудко В.В., Сергиенко А.А., Павлов А.Е.

## АНАЛИЗ ДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОД УСТАНОВКУ МИНОМЕТА КАЛИБРА 120 мм НА ШАССИ БРОНЕТРАНСПОРТЕРА

**Актуальность темы.** Минометы остаются важным элементом артиллерии сухопутных войск. Навесной огонь минометов позволяет эффективно поражать различные цели, недоступные обычным артиллерийским системам, и поддерживать действия пехоты. Главной тенденцией развития минометов в последние годы стало создание самоходных минометных установок на шасси боевых бронированных машин (ББМ). Применение самоходных шасси в качестве платформы для размещения миномета положительным образом сказывается на его возможностях. Во-первых, повышается мобильность оружия, во-вторых, броня базовой машины защищает расчет миномета от пуль и осколков. Наконец, характеристики базовых шасси позволяют увеличить боекомплект и оптимизировать ряд других характеристик минометной системы.

В ГП «ХКБМ» разработана и создана самоходная минометная установка на базе шасси бронетранспортера БТР-3Е, вооруженная минометом калибра 120-мм.

При стрельбе из стандартного армейского миномета сила отдачи, в основном, воспринимается его плитой, которая установлена на грунт. Ударный импульс 120-мм миномета, возникающий при отдаче, достигает порядка 120...140 тонн длительностью 6...7 мс.

При установке миномета на шасси, силу отдачи выстрела воспринимают элементы конструкции корпуса, подвеска и колеса. Кроме того, значительные ударные ускорения, в основном, в вертикальном направлении, оказывают негативное воздействие на боевой расчет миномета. Поэтому, актуальной становится задача по снижению воздействия ударного импульса на шасси и боевой расчёт самоходного миномета во время стрельбы.

Для снижения ударного импульса используются механические, гидравлические, пневматические и комбинированные противооткатные устройства. Ввиду значительной энергии отката при выстреле такие противооткатные устройства имеют сложную конструкцию. К таким системам предъявляются высокие требования по надежности и прочности, что приводит к удорожанию их конструкции.

В данной статье описывается методика испытаний, и приводятся демпфирующие свойства различных материалов, как альтернатива к вышеупомянутым противооткатным устройствам, предназначенным для снижения ударных нагрузок на шасси при выстреле из миномета.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Elbit Systems представила 120-ти миллиметровую автономную минометную систему с мягкой отдачей Soltam SPEAR, предназначенную для легких колесных платформ. Новая система представляет собой второе поколение минометных систем CARDOM, получившие широкое распространение в армии США на колесных бронетранспортерах (БТР) Stryker и в Армии обороны Израиля на БТР М-113, известные под названием Keshet.

Запатентованная система отдачи, используемая в этой системе, снижает силу отдачи при стрельбе (около 120-и тонн) до 10 тонн, таким образом, позволяя относительно легким шасси в течение нескольких секунд справиться с сотрясением, возникающим в результате стрельбы.

**Цель и постановка задачи.** Оценка демпфирующих свойств различных материалов и элементов конструкций, предназначенных для снижения ударных нагрузок, действующих при стрельбе из миномета калибра 120 мм, установленного на шасси бронетранспортера БТР-3Е.

**Основная часть.** Проведенные испытания в ГП «ХКБМ» различных материалов и элементов конструкции (далее образцы) выполнялись по следующей методике.

Испытания образцов проводились в стендовых условиях при двух вариантах:

- статические испытания – определение жесткости и гистерезиса испытываемых образцов;
- динамические испытания – определение ударных нагрузок (усилий и ускорений) при сбрасывании на образцы груза на копровом стенде.

Статические испытания образцов проводились на испытательной машине Р-5. Диаграммы нагруженных образцов определялись с помощью измерительного комплекса LTR. Для этого использовались силоизмеритель ДОСМ-5 с наклеенным на него тензорезистором и датчик перемещения типа Вт.

Динамические испытания образцов проводились на копровом стенде. Груз кубической формы и весом 700 кгс сбрасывался на образцы с высот от 200 до 1000 мм. Для измерения ударного импульса и его

длительности образцы устанавливались на силоизмерительную платформу (три силоизмерителя ТПА-12), а датчик ускорения ДУ-5С-100 жестко закреплялся на грузе в вертикальном направлении.

Регистрация параметров проводилась с помощью измерительного комплекса LTR, обработка – с помощью программного комплекса автоматизации экспериментальных и технологических установок «ACTest».

Испытания проводились со следующими материалами и элементами конструкции: резиной (твёрдостью Р66, Р72 и Р92), полиуретаном СКУ-7Л, цилиндрической пружиной (подвеска железнодорожного состава, имеющая жесткость  $C=800$  Н/мм) и амортизатором пушки ЗТМ-1 (2А72). Амортизатор пушки состоит из набора чередующихся кольцевых колец с наружными и внутренними коническими поверхностями. Для статических испытаний образцы из резины и полиуретана вырезались площадью  $12 \text{ см}^2$  и высотой 40 мм, а для динамических –  $48 \text{ см}^2$  и высотой 40, 80 и 120 мм.

Диаграммы сжатия образцов из резины и полиуретана приведены на рисунке 1, амортизатора пушки ЗТМ-1 – на рисунке 2.

Величина рассеивание энергии внутри материала  $\Psi$ , % определялась по формуле:

$$\psi = \frac{\int_0^s P_1 \partial s - \int_0^s P_2 \partial s}{\int_0^s P_1 \partial s} \cdot 100, \%$$

где  $P_1$  – усилие при прямом ходе нагружения, тс;  $P_2$  – усилие при обратном ходе нагружения, тс;  $s$  – деформация, мм.

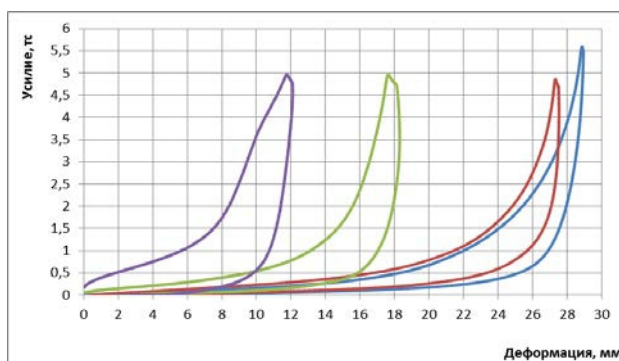


Рисунок 1 – Зависимость усилия (нагрузка – разгрузка) от деформации полиуретана и резины площадью  $12 \text{ см}^2$  и высотой 40 мм

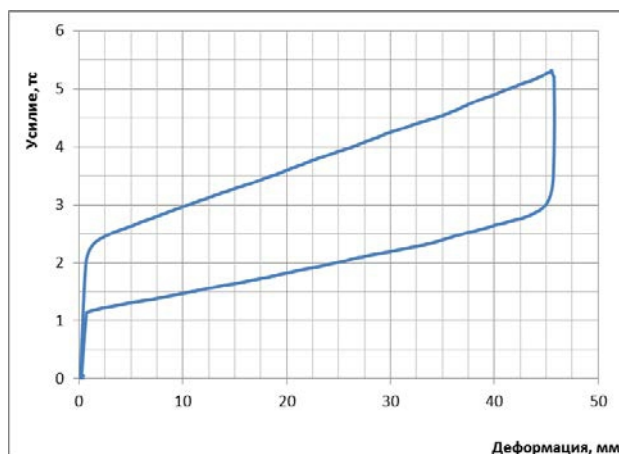


Рисунок 2 – Зависимость усилия (нагрузка – разгрузка) от деформации амортизатора пушки ЗТМ-1

Высоким коэффициентом рассеивания энергии обладает амортизатор пушки ЗТМ-1. Силы трения, возникающие при перемещении колец, обуславливают высокую демпфирующую способность кольцевых



пружин. Примерно 70 % энергии, воспринимаемой пружиной за цикл нагружения, переходит в необратимую работу трения и рассеивается в виде теплоты в окружающую среду. У резины P92 и P78 коэффициент рассеивания составил 77 % и 76 % соответственно, у резины P66 и полиуретана – 63 %.

Из приведенных диаграмм видно, что повышение твердости резины приводит к повышению остаточной деформации. Полиуретан, в отличие от резины, полностью восстанавливает свою первоначальную форму после приложения нагрузки.

Результаты испытаний образцов на копрвом стенде приведены в таблице 1.

Цилиндрические пружины, как и кольцевые, снижают ударный импульс, увеличивая время его воздействия, но при этом затухание колебаний происходит медленно (20...30 колебаний), а у кольцевых, при тех же условиях испытаний – 3...4 колебания. Максимальная энергия, которую могут аккумулировать эти пружины, составляет 2000...2500 Дж. Поэтому, испытания были продолжены с резиной и полиуретаном, результаты которых приведены в таблице 2 и на рисунках 3–5.

Прикладываемая энергия к образцам на копрвом стенде определялась по формуле:

$$E = mgh, \text{ Дж},$$

где  $m$  – масса сбрасываемого груза, кг;  $h$  – высота падения, м.

Таблица 1 – Результаты испытаний образцов на копрвом стенде

Вид удара	Высота падения груза, мм	Сила реакций тензоизмерителей P, тс	Ударный импульс a, g	Длительность импульса t, с
Жесткий удар	235	70	100	0,006
Амортизатор пушки	300	6,0	9,0	0,102
Амортизатор пушки	215	5,0	7,5	0,100
Цилиндрическая пружина	210	5,6	8,0	0,102
Полиуретан (40 мм)	200	23,1	33	0,025
Резина P66 (40 мм)	200	42	60	0,024
Резина P78 (40 мм)	200	29,4	42	0,027
Резина P92 (48 мм)	200	27,0	39	0,021
Полиуретан (80 мм)	200	12,5	18	0,075
Резина P66 (80 мм)	200	17,8	0,073	0,073
Резина P78 (80 мм)	200	12,9	0,065	0,065
Резина P92 (70 мм)	200	18,4	0,030	0,030
Полиуретан (120 мм)	200	9,6	0,108	0,108
Резина P66 (120 мм)	200	12,5	0,114	0,114
Резина P78 (120 мм)	200	9,1	0,100	0,100
Резина P92 (120 мм)	200	12,8	0,044	0,044

Таблица 2 – Результаты сравнительных испытаний резины и полиуретана на копрвом стенде

Материал	Толщина	Реакции силоизмерителя, тс (длительность, мс)				
		Высота падения груза, мм (потенциальная энергия, Дж)				
		200(1370)	400(2750)	600(4120)	800(5490)	1000(6870)
Полиуретан	40	23,1 (25)	50,0 (20)	80 (17)	–	–
	80	12,5 (75)	27,0 (60)	51,0 (45)	–	–
	120	9,6 (108)	21,6 (80)	32,4 (75)	45,0 (63)	56,4 (47)
Резина P66	40	42,0 (24)	80,0 (18)	–	–	–
	80	17,8 (73)	35,1 (35)	65,0 (25)	–	–
	120	12,5 (114)	25,0 (63)	45,0 (48)	70,0 (23)	90 (10)
Резина P78	40	29,4 (27)	47,7 (18)	70,0 (15)	–	–
	80	12,9 (65)	23,3 (39)	44,6 (31)	–	–
	120	9,1 (100)	16,3 (69)	24,8 (56)	38,0 (42)	47,3 (31)
Резина P92	48	27,0 (21)	37,6 (17)	65,0 (15)	–	–
	70	18,4 (30)	29,6 (24)	48,0 (20)	–	–
	120	12,8 (44)	19,7 (37)	28,5 (34)	35,6 (30)	43,5 (28)

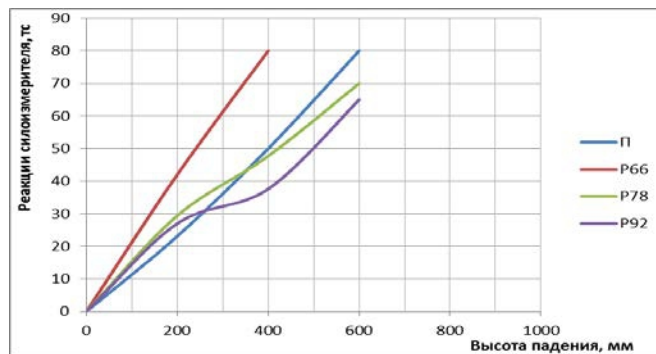


Рисунок 3 – Зависимость реакции силоизмерителя от высоты падения груза на образцы площадью 48 см<sup>2</sup> и высотой 40 мм

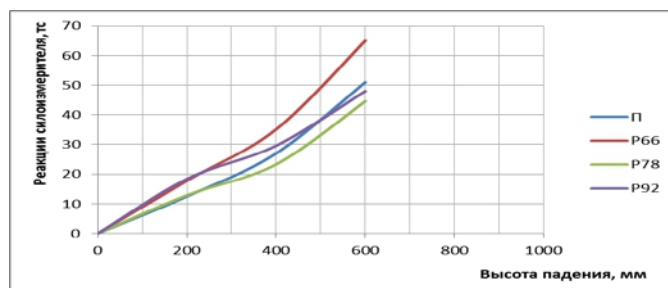


Рисунок 4 – Зависимость реакции силоизмерителя от высоты падения груза на образцы площадью 48 см<sup>2</sup> и высотой 80 мм

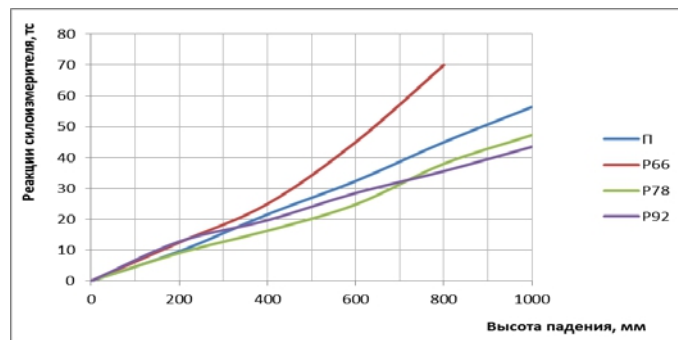


Рисунок 5 – Зависимость реакции силоизмерителя от высоты падения груза на образцы площадью 48 см<sup>2</sup> и высотой 120 мм

Из приведенных результатов испытаний видно, что полиуретан и резина (Р78 и Р92) имеют практически одинаковые демпфирующие свойства. Но в процессе испытаний, с увеличением высоты падения груза на испытываемые образцы, происходило разрушение резины Р92 (образование трещин и надломов) и появление остаточных деформаций у резины Р78 и Р66. Разрушение полиуретана и изменение его формы не происходило.

Таким образом, для снижения ударных нагрузок при стрельбе из миномета калибра 120 мм лучшие показатели имеют амортизирующие устройства, в которых в качестве демпфирующего элемента используется полиуретан, так как он обладает большой удельной энергоемкостью, высоким внутренним трением, надежностью и устойчивостью к разрушению, а также минимальными массогабаритными параметрами.

Результаты статических и динамических испытаний, проведенных по вышеуказанной методике, позволили выбрать материал, рассчитать количество и геометрию упругих элементов в демпфирующей опоре.

Разработанная и изготовленная в ГП «ХКБМ» демпфирующая опора под установку миномета калибра 120 мм на шасси бронетранспортера БТР-3Е позволила значительно снизить ударное воздействие на шасси и боевой расчет самоходного миномета, что было подтверждено стрельбовыми испытаниями.

#### Выводы

1. Предложенная методика оценки демпфирующих свойств различных материалов при статических и динамических испытаниях позволила выбрать материал и его массогабаритные параметры для снижения ударных нагрузок при выстреле из миномета.
2. Стрельбовые испытания подтвердили правильность выбора демпфирующего материала, применение которого значительно снизило ударные нагрузки на самоходное шасси и экипаж.
3. Полученные результаты испытаний могут быть использованы для выбора различных буферных устройств и для уточнения теоретического расчета демпфирующих конструкций.

#### Литература

1. Результаты определения ударных нагрузок на самоходном миномете БТР-3Е: акт ГП «ХКБМ» им. А.А. Морозова. – Харьков, 2012. – 8 с.
2. <http://www.elbitsystems.com> – официальная веб-страница компании “Elbit Systems”.
3. Орлов П.И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. Кн.2.– М.: Машиностроение, 1988. – 560 с.

#### Bibliography (transliterated)

1. Rezul'tati opredelehiya udarnyh nagruzok na samohodnom minomete BTR-3E: akt GP “HKBM” im. A.A. Morozova. – Har'kov, 2012. – 8 p.
2. <http://www.elbitsystems.com> – oficial'na veb-stranica kompanii “Elbit Systems”.
3. P.I. Orlov. Osnovy konstruirovaniya: Spravochno-metodicheskoe posobie. Kn.2. – M.: Machinostroenie, 1988. – 560 p.

УДК-632.438.14

Токар С.Є., Каторгін О.М., Дудко В.В., Сергієнко О.О., Павлов О.Є.

#### АНАЛІЗ ДЕМПФУВАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РІЗНИХ МАТЕРІАЛІВ ПІД ВСТАНОВЛЕННЯ МІНОМЕТА КАЛІБРА 120 мм НА ШАСІ БРОНЕТРАНСПОРТЕРА

У статті наведені результати досліджень різних матеріалів, що дозволяють зменшити динамічні навантаження самохідної установки при стрільбі з міномету калібром 120 мм, встановленому на шасі бронетранспортера БТР-3Е.

Tokar S.E., Katorgin O.M., Dudko V.V., Serhiienko O.O., Pavlov O.E.

#### ANALYSIS OF THE DAMPING PROPERTIES OF VARIOUS MATERIALS USED FOR INSTALLING A 120 mm MORTAR ON THE ARMoured PERSONNEL CARRIER

The article describes the results of studying various materials that make it possible to decrease dynamic loads of the self-propelled system when firing 120 mm mortar installed on the BTR-3E armoured personnel carrier.

Явников В.А., Клименко И.В., Липовец В.В., Гращенков Г.П.

**ПОВЫШЕНИЕ АКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ БРОНЕТРАНСПОРТЕРА «ДОЗОР-Б» ЗА СЧЕТ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИВОДА РАБОЧЕЙ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ ИЗДЕЛИЯ**

**Введение.** Повышение безопасности военных легкобронированных машин остается одним из основных направлений в развитии военного машиностроения. В настоящее время все мировые машиностроительные предприятия идут по пути создания различных автоматических систем управления, функциональные возможности которых уже сейчас во многом превышают возможности водителя.

Тормозные системы являются важнейшим элементом обеспечения безопасности движения изделия, а особенно привод рабочей тормозной системы. Привод рабочей тормозной системы бронетранспортера «Дозор-Б» пневмо-гидравлический, двухконтурный. Схема комбинированная структурная рабочей тормозной системы изделия «Дозор-Б» приведена на рис. 1.

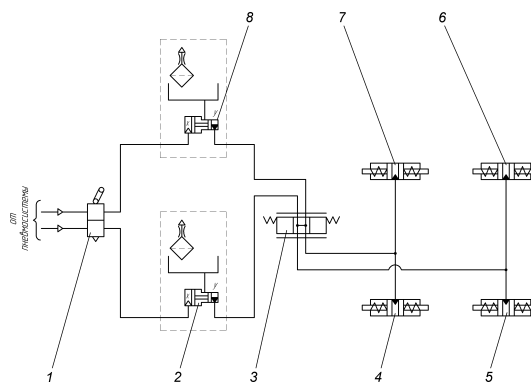


Рисунок 1 – Схема комбинированная структурная рабочей тормозной системы изделия «Дозор-Б»  
 1 – кран тормозной двухсекционный; 2, 8 – пневмогидроусилители; 3 – уравниватель тормозных сил;  
 4, 5, 6, 7 – колесные тормозные цилиндры

При нажатии на педаль тормоза усилие передаётся через систему рычагов и тяг педального узла на рычаг двухсекционного тормозного крана 1 (рис. 1). Сжатый воздух, подведенный из соответствующего ресивера пневмосистемы через верхнюю секцию тормозного крана, поступает к пневмогидроусилителю 8 I-го контура. При этом в нем создается необходимое давление рабочей жидкости, поступающей через уравниватель тормозных сил 3 в колесные тормозные цилиндры 4, 7 переднего моста.

Одновременно через нижнюю секцию тормозного крана, сжатый воздух поступает к пневмогидроусилителю 2 II-го контура и создающееся в нем давление рабочей жидкости, поступает через уравниватель тормозных сил 3 в колесные тормозные цилиндры 5, 6 заднего моста.

При выходе из строя одного из контуров привода второй остается работоспособным.

Уравниватель тормозных сил установленный в приводе управления рабочей тормозной системы предназначен для предотвращения юза и возможного заноса. Действие уравнивателя основано на ограничении тормозных сил на задних колесах, или ограничении давления в приводе передних колес при торможении с малой интенсивностью для сохранения управляемости на скользких дорогах. Уравниватель тормозных сил задает оптимальное распределение тормозных сил между передними и задними колесами, обеспечивая максимальную эффективность. Такое соотношение выполняется при соблюдении следующей зависимости [2]:

$$\frac{P_{\text{тор1max}}}{P_{\text{тор2max}}} = \frac{R_{z1\text{max}}}{R_{z2\text{max}}} = \frac{b + \varphi h_g}{a - \varphi h_g}, \tag{1}$$

где  $P_{\text{тор1}}$  и  $P_{\text{тор2}}$  – сумма оптимальных распределений тормозных сил между передними и задними колесами;  $R_{z1}$  и  $R_{z2}$  – сумма нормальных реакций на передних и задних колесах;  $a$  и  $b$  – расстояние от центра масс от передней и задней оси;  $\varphi$  – коэффициент сцепления;  $h_g$  – высота центра масс.

Приведенное отношение зависит от коэффициента сцепления и от полезной нагрузки, так как при изменении нагрузки меняется также положение центра масс.

Уравнитель обеспечивает при любой степени загрузки и аварийном торможении на дорожном покрытии с коэффициентом сцепления 0,15...0,8 максимально возможное замедление при одновременной блокировке всех колес изделия или опережающей блокировке колес переднего моста. Однако наличие уравнителя тормозных сил связано с некоторой потерей тормозной эффективности на 10...15 %, так как предотвращение юза задних колес достигается их «недотормаживанием». Кроме того, при экстренном торможении, особенно на скользких дорогах, приводит к полной блокировке всех колес.

Новым этапом в совершенствовании тормозной системы стало создание антиблокировочной системы (АБС), которая обеспечивает повышение активной безопасности изделия. Принцип, заложенный в конструкцию любой АБС, заключается в поддержании относительного скольжения тормозящих колес в узком диапазоне, обеспечивая высокое значение коэффициента сцепления колес с дорожным полотном при любом состоянии его покрытия, что позволяет сохранить устойчивость изделия при торможении и сократить тормозной путь.

Таким образом, повышение активной безопасности бронетранспортера «Дозор-Б» за счет обеспечения возможности совместного функционирования привода рабочей тормозной системы и системы АБС, является актуальной и перспективной задачей.

**Цель и задачи исследования.** Целью данной работы является рассмотрение вопросов повышения активной безопасности бронетранспортера «Дозор-Б» за счет обеспечения возможности совместного функционирования привода рабочей тормозной системы и системы АБС.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– выполнить анализ существующих схем управления приводом рабочей тормозной системы, и определить направления дальнейших исследований в части улучшения тормозной эффективности бронетранспортера «Дозор-Б».

– разработать схему управления рабочей тормозной системы и выполнить теоретическую оценку качества регулирования процесса торможения предложенной схемы.

**Объект исследования** – привод управления рабочей тормозной системы изделия «Дозор-Б».

**Предмет исследования** – показатели тормозной эффективности и устойчивости бронетранспортера «Дозор-Б» при совместном функционировании рабочей тормозной системы и системы АБС.

**Методы исследования,** используемые в работе – системный подход при изучении и решении проблемы повышения активной безопасности и эффективности работы тормозных систем бронетранспортеров «Дозор-Б» при движении, особенно по дорогам общего назначения, за счёт оптимизации привода рабочих тормозных систем изделий на базе научных положений теории автоматического управления, теории механизмов и машин, деталей машин.

**Научная новизна полученных результатов** заключается в следующем. Получила дальнейшее развитие теория повышения безопасности изделия «Дозор-Б», в части решения проблемы улучшения тормозной эффективности, за счет оптимизации привода рабочей тормозной системы.

**Анализ существующих схем управления приводом рабочей тормозной системы.** В настоящее время в двухосных транспортных средствах применяются следующие схемы управления двухконтурным приводом рабочей тормозной системы [3]:

Исходя из вышеприведенных существующих схем, а именно с точки зрения технической и экономической целесообразности, применение схемы №4 (таблица 1) в разработке привода управления рабочей тормозной системы является наиболее рациональным.

**Теоретическая оценка качества регулирования процесса торможения разработанной схемы.** Формирование функциональных характеристик тормозной системы основывается на выборе схемы взаимодействия контуров управления исполнительными механизмами колес изделия.

В данной статье применение получили две из них: диагональное управление рабочими контурами системы и низкопороговое управление исполнительными механизмами системы АБС по «слабому» колесу (Select Low) – SL. На рис. 2 представлена схема комбинированная структурная рабочей тормозной системы изделия «Дозор-Б» обеспечивающая установку элементов системы АБС.

Таблиця 1

№ п/п	Схема управління рабочей тормозной системой	Принцип функционирования	Примечания
1.		Один контур действует на передние тормозные механизмы, второй – на задние.	Данная схема в настоящее время применяется в изд. «Дозор-Б». С точки зрения простоты, средств и реализации она является оптимальной, однако при выходе из строя контура передней оси – происходит значительное снижение эффективности торможения.
2.		Один контур действует на тормозные механизмы всех колес, второй – только на передние.	Схема является более сложной и требует значительных финансовых средств для реализации. Данная схема применяется в основном в транспортных средствах полная масса которых составляет менее 3,5 т.
3.		Каждый из контуров системы действует на все тормозные механизмы.	Данная схема является наиболее сложной и дорогостоящей по сравнению с вышеприведенными схемами.
4.		Один контур действует на тормозные механизмы переднего левого и заднего правого колеса, второй – на тормозные механизмы переднего правого и заднего левого колеса.	Данная диагональная схема с точки зрения простоты, средств и реализации является наиболее оптимальной. При выходе из строя одного контура сохраняется 50 % тормозной эффективности изделия. Применение данной схемы не ограничивается массой транспортного средства.

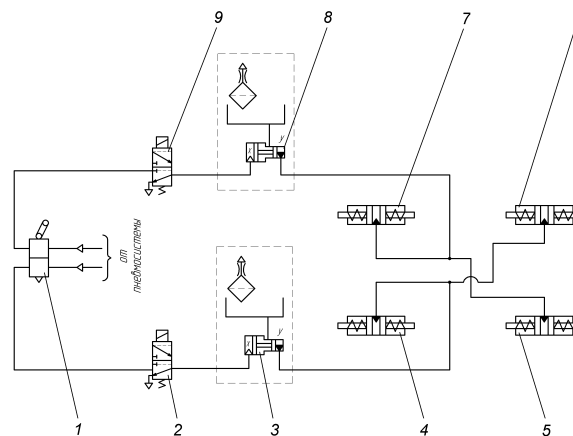


Рисунок 2 – Схема комбинированная структурная рабочей тормозной системы изделия «Дозор Б» с модуляторами системы АБС

1 – кран тормозной двухсекционный; 2, 9 – модуляторы системы АБС; 3, 8 – пневмогидроусилители; 4, 5, 6, 7 – колесные тормозные цилиндры

Отличие данной комбинированной структурной схемы от используемой на серийном бронетранспортере «Дозор-Б» заключается в изменении схемы управления приводом рабочей тормозной системы и в установке в контуры системы вместо уравнителя тормозных сил модуляторов системы АБС.

При торможении без срабатывания системы АБС, нажатие на педаль тормоза обеспечивает передачу усилия через систему рычагов и тяг педального узла на рычаг двухсекционного тормозного крана 1 (рис. 2). Сжатый воздух, подведенный из соответствующего ресивера пневмосистемы через верхнюю секцию тормозного крана, поступает к модулятору системы АБС 9 и далее к пневмогидроусилителю 8 I-го контура. При этом в нем создается необходимое давление рабочей жидкости, под действием которого

приводяться в действие колесные тормозные цилиндры (правого колеса переднего моста 7 и левого колеса заднего моста 5).

Одновременно через нижнюю секцию тормозного крана, сжатый воздух поступает к модулятору системы АБС 2 и далее к пневмогидроусилителю 3 II-го контура, в свою очередь, создающееся в нем давление рабочей жидкости, воздействует на колесные тормозные цилиндры (левого колеса переднего моста 4 и правого колеса заднего моста 6).

При отпускании педали, обе секции тормозного крана соединяются с атмосферой, и сжатый воздух из пневмогидроусилителей и модуляторов через выпускное отверстие тормозного крана выходит в атмосферу. Рабочая жидкость вытесняется при торможении в магистраль – тормозная система полностью растормаживается.

Распределение тормозных усилий производится по диагональной схеме. При применении вышеуказанной схемы, предположим при выходе из строя I-го контура пневмо-гидропривода, в точках контакта колес с дорогой II-го контура возникают тормозные силы, соответственно  $F_{mn}$  и  $F_{mз}$ .

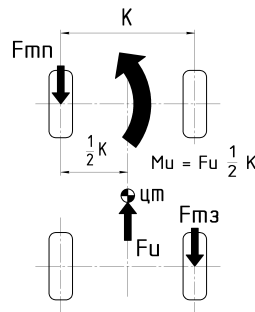


Рисунок 3 – Схема действия сил на изделие во время торможения при срабатывании только II-го контура в раздельном диагональном приводе рабочей тормозной системы

$F_{mn}$  – тормозная сила, приложенная к переднему колесу;  $F_{mз}$  – тормозная сила, приложенная к заднему колесу;  $F_u$  – сила инерции при торможении;  $K$  – величина колеи изделия;  $M_u$  – момент от силы инерции, разворачивающий изделие;  $цт$  – центр тяжести

Момент от силы инерции  $M_u$ , приложенной в центре тяжести  $цт$  изделия на плече, равном половине колеи, стремится разворачивать само изделие вокруг переднего левого колеса. При этом момент силы инерции  $F_{mз}$  будет разворачивать изделие в противоположном направлении вокруг заторможенного заднего правого колеса, обеспечивая остаточную устойчивость и управляемость.

В предложенной комбинированной структурной схеме рабочей тормозной системы изделия «Дозор Б» применяются одноканальные модуляторы АБС WABCO диафрагменной конструкции. Исходя из проведенного комплексного анализа научно-технической информации мировых производителей исполнительных механизмов систем АБС [1, 4, 5], именно модуляторы фирмы WABCO имеют наиболее высокое (15 м/с) быстродействие и высокую надежность – отказы составляют 0,2 %.

Модуляторы WABCO (рис. 4) имеют два электроклапана 1, 6 и два пневмоклапана 3 и 5. Выходы модулятора подключены: I – к тормозному крану, II – к пневмогидроусилителю, III – соединение с атмосферой.

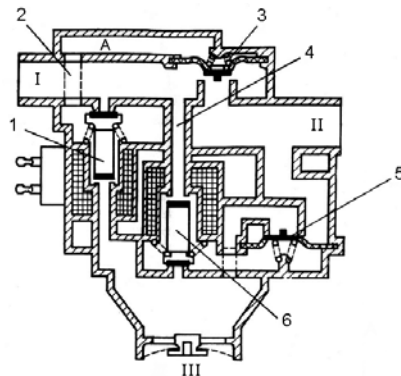


Рисунок 4 – Модулятор фирмы WABCO

1, 6 – электроклапаны; 2 – канал соединения полости А с выходом к тормозному крану; 3, 5 – пневмоклапаны; I – выход к тормозному крану; II – выход к пневмогидроусилителю; III – выход соединения с атмосферой

При торможении с работающей системой АБС, модулятор обеспечивает трехфазный рабочий цикл. В фазе сброса давления на оба электроклапана модулятора подается напряжение от электронного блока управления. Электроклапан 1 закрывает атмосферный выход и одновременно пропускает воздух из выхода 1 через канал 2 в полость А. Давление с обеих сторон диафрагмы пневмоклапана 3 выравнивается и он усилием пружины закрывается. Одновременно, вследствие срабатывания электроклапана, 6 открывается пневмоклапан 5. Через него воздух из пневмогидроусилителя выходит в атмосферу.

Выдержка тормозного давления (вторая фаза) на постоянном уровне производится при подаче напряжения только на электроклапан 1. В этом случае оба пневмоклапана закрыты.

Для третьей фазы – увеличения давления, модулятор переводится в положение, показанное на рис. 4. Электроклапаны в этом случае обесточены и воздух проходит из тормозного крана в пневмогидроусилитель.

Установка трехфазных модуляторов позволяет реализовать принцип низкого порога регулирования, т.е. регулирование, предусматривающее подачу команд на растормаживание и затормаживание обоих колес одной диагонали одновременно по сигналу датчика колеса, находящегося в худших по сцеплению условиях – «слабого» колеса (Select Low) – SL. При этом создается равенство тормозных сил на обоих колесах, что способствует сохранению курсовой устойчивости изделия.

Применяемые в предложенной схеме рабочей тормозной системы модуляторы АБС работают в соответствии с алгоритмом функционирования по замедлению тормозящего колеса.

Рассмотрим процесс работы модуляторов и системы АБС в целом по этому алгоритму.

Уравнение движения тормозящего колеса имеет вид [4]:

$$J_k \xi_{mk} = M_{\text{тор}} - M_{\varphi}, \quad (2)$$

где  $J_k$  – момент инерции колеса;  $\xi_{mk} = d\omega_{mk} / dt$  – угловое замедление колеса;  $M_{\text{тор}}$  – момент, создаваемый тормозным механизмом;  $M_{\varphi}$  – момент, возможный по сцеплению колеса с опорной поверхностью.

Используя это уравнение, можно построить график процесса работы модуляторов и системы АБС в целом по замедлению (рис. 5). На рисунке нанесены следующие зависимости:

– зависимость момента на тормозящем колесе, реализуемого по сцеплению, от относительного скольжения  $M_{\varphi} = f(S)$ ;

– зависимость момента, создаваемого тормозным механизмом на тормозящем колесе, от относительного скольжения в процессе автоматического регулирования  $M_{\text{тор}} = f(S)$ .

Относительное скольжение в свою очередь определяется выражением [4]:

$$S = (v - \omega_{mk} r_0) / v, \quad (3)$$

где  $v$  – скорость изделия;  $\omega_{mk}$  – угловая скорость тормозящего колеса;  $r_0$  – свободный радиус колеса.

Нажатие на педаль тормоза вызывает рост тормозного момента (участок 0 – 1 –2). На всем этом участке  $M_{\text{тор}} > M_{\varphi}$ , что вызывает замедление колеса, сопровождающееся увеличением относительного скольжения. Особенно быстро замедление нарастает на отрезке 1–2, где разность  $M_{\text{тор}} - M_{\varphi}$  резко увеличивается в результате снижения  $M_{\varphi}$ , а замедление прямо пропорционально этой разнице:

$$\xi_{mk} = (M_{\text{тор}} - M_{\varphi}) / J_k. \quad (4)$$



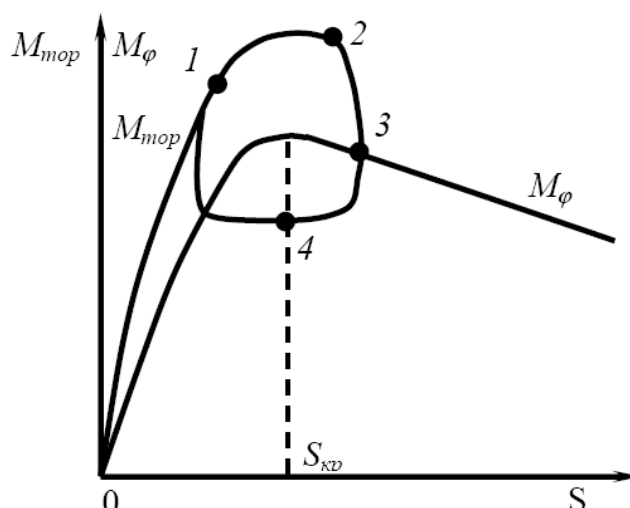


Рисунок 5 – График процесса работы модуляторов и системы АБС в целом по замедлению

Резкий рост замедления свидетельствует о том, что относительное скольжение стало несколько больше  $S_{кр}$  – величины относительного скольжения, соответствующей максимуму. Это служит основанием для подачи блоком управления в точке 2 команды модулятору на снижение давления в тормозном приводе. Точка 2 соответствует первой команде. По данному сигналу тормозной момент снижается и в точке 3 становится равным моменту по сцеплению  $M_{тор} = M_{\phi}$ , а замедление  $\xi_{mk} = 0$ . Нулевое значение замедления служит второй командой, по которой модулятор поддерживает в тормозном приводе постоянное давление и, следовательно, постоянный тормозной момент  $M_{тор}$ . В этой фазе  $M_{тор} > M_{\phi}$  и  $\xi_{mk} = (M_{\phi} - M_{тор}) / J_k$ , т.е.  $\xi_{mk}$  меняет знак и колесо начинает ускоряться. Максимальное значение ускорения соответствует максимальной разнице  $M_{тор} > M_{\phi}$ , что имеет место в точке 4 и является третьей командой. В точке 4 блок управления дает сигнал модулятору на увеличение давления в тормозном приводе, и описанный цикл повторяется с частотой до 5 Гц, позволяя поддерживать относительное скольжение в интервале, обеспечивающем высокое значение продольного и поперечного коэффициента сцепления, что способствует устойчивому движению изделия при торможении на дорогах с различным коэффициентом сцепления.

**Выводы.** Оптимизация привода рабочей тормозной системы бронетранспортера «Дозор-Б» обеспечивает возможность совместного функционирования рабочей тормозной системы и системы АБС, что способствует повышению активной безопасности изделия, за счет:

- поддержания в процессе экстренного торможения относительного скольжения колес в узких пределах вблизи  $S_{кр}$ ;
- обеспечения постоянного контроля за силой сцепления колес с дорожным покрытием;
- перераспределения давления в ветвях привода рабочей тормозной системы, при этом не допуская блокирования колес и вместе с тем достигая максимальной силы торможения без потери курсовой устойчивости и управляемости.

#### Литература

1. Фрумкин А.К., Попов А.И., Алышев И.И. «Современные антиблокировочные системы и противобуксовочные системы грузовых автомобилей, автобусов и прицепов». – М.: ЦНИТЭИАвтопром. 1990. – 57 с.
2. «Тормозные системы. Диагностика неисправностей. АБС». (Устройство, принцип действия, проверка и регулировка.) / Ассоциация независимых издательств. – М., 1998.
3. Автомобильный справочник/ Перевод с англ. Первое русское издание. – М.: Издательство «За рулем», 2000. – 896 с.

4. Тарасик В.П., Рынкевич С.А. «Интеллектуальные системы управления автотранспортными средствами». – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – 510 с.
5. Bosch Technische Unterrichtung. Pkw-Bremsanlagen. Robert Bosch GmbH, 1989. Postfach 30 02 20, D-7000 Stuttgart 30.

Bibliography (transliterated)

1. Frumkin A.K., Popov A.I., Alyishev I.I. «Sovremennyye antiblokirovochnyye sistemy i protivobuksovochnyye sistemy gruzovykh avtomobiley, avtobusov i pritsepov». – М.: TsNITEIAvtoprom. 1990. – 57 p.
2. «Tormoznyye sistemy. Diagnostika neispravnostey. ABS». (Ustroystvo, printsip deystviya, proverka i regulirovka.). Assotsiatsiya nezavisimyykh izdatelstv. – М., 1998.
3. Avtomobilnyy spravochnik. Perevod s angl. Pervoe russkoe izdanie. – М.: Izdatelstvo «Za rulem», 2000. – 896 p.
4. Tarasik V.P., Rynkevich S.A. «Intellectualnyye sistemy upravleniya avtotransportnyimi sredstvami». – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – 510 p.
5. Bosch Technische Unterrichtung. Pkw-Bremsanlagen. Robert Bosch GmbH, 1989. Postfach 30 02 20, D-7000 Stuttgart 30.

УДК 621.85.52

Явніков В.О., Клименко І.В., Липовець В.В., Гращенко Г.П.

**ПІДВИЩЕННЯ АКТИВНОЇ БЕЗПЕКИ БРОНЕТРАНСПОРТЕРА «ДОЗОР-Б» ЗА РАХУНОК ОПТИМІЗАЦІЇ ПРИВОДА РОБОЧОЇ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ ВИРОБУ**

Запропоновано метод підвищення активної безпеки бронетранспортера «Дозор-Б», за рахунок забезпечення можливості спільного функціонування привода робочої гальмівної системи та системи АБС.

Yavnikov V.A., Klymenko I.V., Lipovets V.V., Grashchenkov G.P.

**INCREASED ACTIVE SAFETY FOR ARMORED PERSONNEL CARRIER «DOZOR-B» BY OPTIMIZING THE SERVICE BRAKING SYSTEM**

The method of increasing of «Dozor-B» active safety due to the providing of the interoperability drive braking system and ABS is described.

УДК.632.438.32

Климов В.Ф., Магерамов Л.К.-А., Михайлов В.В., Шипулин А.А.

## К ВОПРОСУ ВЫБОРА ЭЖЕКТОРА СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ТАНКОВ С ДВУХТАКТНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

**Актуальность темы.** Условия эксплуатации танков довольно разнообразны, что ставит перед его создателями повышенные требования к проектированию систем силовой установки. Рассматривая различные режимы, доказано, что в любых условиях система очистки воздуха должна обеспечивать высокую степень очистки воздуха, что определяется уровнем очистки воздуха собственно воздухоочистителем и системой автоматического удаления пыли. Последовательное развитие систем очистки воздуха для бронированной техники, разрабатываемой Харьковским конструкторским бюро по машиностроению им. А.А. Морозова показало, что наиболее благоприятной системой является многоступенчатая комбинированная, отличительной особенностью которой является высокоэффективная первая ступень в виде инерционной решетки с отсосом за счет энергии эжекционной системы охлаждения, малогабаритные циклоны сравнительно низкого сопротивления с высокой эффективностью и двухслойные накопительные каскады. Для надежной работы систем очистки воздуха на всех режимах эксплуатации танков необходима эффективная система автоматического удаления пыли.

Сложность решения этой проблемы определяется постоянным изменением аэродинамических характеристик системы очистки воздуха и параметров двигателя, находящихся в прямой зависимости от режимов эксплуатации. Исходя из этого, весьма актуальной является создание надежных систем очистки воздуха, что, в конечном счете, определяет долговечность и надежность двигателя.

**Цель работы.** Целью данной статьи является обоснование технических решений выбора способов удаления пыли от инерционной решетки и воздухоочистителя в целом для танков с двухтактными двигателями.

**Основная часть.** Рассматривая особые режимы эксплуатации танков следует остановиться на эксплуатации танков в пустынных условиях, движении в режимах «Брод» и «ПХ», движении при низких и высоких температурах окружающего воздуха в условиях высокогорья на различных видах топлива. Это далеко не все «особые» режимы эксплуатации танков. Однако перечисленные режимы наиболее полно отражают изменение исходных характеристик, определяющих работу системы очистки воздуха. Общим для всех этих режимов является изменение аэродинамических характеристик системы очистки воздуха и газодинамических показателей двигателя.

**Преодоление водных преград и глубокого брода.** Одной из характеристик танка является его способность преодолевать водные преграды. Танки разработки ХКБМ им. А.А. Морозова способны преодолевать водные преграды глубиной до 1,8 м без предварительной подготовки. Высота танка Т-84 и «Оплот» по силовому отделению составляет 1,4 м. Танки Т-64А, Т-80УД, Т-84 «Оплот» брод глубиной до 1,8 м преодолевают без предварительной подготовки и без выхода экипажа из танка. Это достигается за счет разработки специальных герметизирующих устройств и воздухозаборного устройства с телескопическими трубами, приводимыми в положение «Брод» специальными устройствами.

Преодоление водных преград глубиной до 5 м осуществляется после подготовки танка на суше. В этом состоянии танк может двигаться со скоростью до 25 км/ч на расстояние до 20 км. После преодоления водных преград воздухозаборная и выхлопная труба сбрасываются автоматически путем поворота башни и в дальнейшем танк способен двигаться по суше без каких-либо ограничений. В режимах «Брод» и «Движение под водой» аэродинамическое сопротивление резко повышается из-за увеличения сопротивления входных элементов и превышает предельно допустимые величины для режимов нормальной эксплуатации. Исходя из этого в случае преодоления водных преград, система сигнализации предельного сопротивления отключается. Но и в этом случае для очистки воздуха необходимо обеспечивать коэффициент отсоса не менее 5 %. В сравнении с танками зарубежных стран, танки украинской разработки имеют значительное преимущество по возможности преодоления водных преград глубиной до 1,8 м. Зарубежные танки не имеют устройств для преодоления глубокого брода без предварительной подготовки и без выхода членов экипажа из танка. Учитывая, что почти все танки имеют высоту по моторному отделению на уровне 1,4 м, то они способны двигаться через водную преграду глубиной не более 1,2 м.

**Движение в пустыне.** Для пустынной местности характерны высокое содержание пыли в воздухе и повышенная температура окружающей среды. Пустыни представляют собой, как правило, такыры и барханы. Пустынная пыль значительно более мелкая в сравнении с пылью Средней полосы европейской

части. Сравнительный анализ пылей в различных районах эксплуатации показал, что наиболее благоприятным для системы очистки воздуха является район г. Чугуева, где запыленность воздуха в среднем находится на уровне 0,5 г/кг. В то время как в пустыне Кара-Кум (Туркменистан) Средняя запыленность составляет  $\cong 2,5 \dots 3,0$  г/кг при пиковых значениях более 10,0 ... 15,0 г/кг. Кроме того, в пустынной пыли содержится большее количество мелких фракций от «0» до 10  $\mu\text{к}$ . За счет этого коэффициент пропуска циклонного аппарата на всех режимах работы двигателя увеличивается в 2,0 ... 2,5 раза. С увеличением коэффициента пропуска пыли увеличивается и количество пыли, пропускаемой циклонным аппаратом, что уменьшает длительность движения танка без обслуживания кассет. Испытания показали, что пробег танка Т-80УД в пустыне Кара-Кум без обслуживания кассет составляет около 1000 км, в районе Чугуева – до 6000 км пробега. Наибольшее количество пыли мелких фракций характерно для такыра и более крупные фракции пыли содержатся на барханах и сыпучих песках. В большей степени исследована пыль пустыни Кара-Кум и в меньшей степени – пустыни Тар (Пакистан). Однако пыль пустыни Тар содержит кроме глинистых фракций значительное количество мелких каменистых составляющих, что ставит ее в один ряд практически с пылью, рекомендуемой ГОСТ В18185-72 для оценки эффективности циклонных аппаратов и воздухоочистителей в целом любых объектов бронированной техники. Немаловажную роль играет величина начальной запыленности воздуха, которая зависит от множества причин, главными из которых являются – скорость движения объекта, скорость и направление ветра, состояние трассы пробега изделия, глубина разбитого покрова местности, формы изделия и уровень защиты воздухозаборных устройств. И если ряд причин, влияющих на уровень запыленности воздуха, практически невозможно изменить или повлиять на их вероятность снижения, то за счет глубокого изучения всех факторов возможно значительно снизить запыленность воздуха на входе в воздухоочиститель и увеличить, таким образом, продолжительность движения танка без обслуживания кассет для кассетных воздухоочистителей.

При эксплуатации танков в условиях повышенных температур окружающего воздуха, уровень запыленности воздуха и эффективность циклонного аппарата изменяются незначительно. Высокие температуры влияют в большей степени на эффективность систем отвода тепла. Однако следует отметить, что с ростом температуры воздуха снижается плотность воздуха и уменьшается объемная производительность компрессора наддувочного воздуха, что в свою очередь приводит к некоторому снижению общего сопротивления системы очистки воздуха.

**Способы удаления пыли из пылесборника воздухоочистителя.** В настоящее время существует 2 способа удаления пыли из пылесборника воздухоочистителя – эжекционный и вентиляторный. Каждый из этих способов имеет множество конструктивных решений, главное и которых основной источник, создающий энергию, способную удалять пыль, накапливаемую в пылесборнике. Основное правило работы эжектора – пылесборник постоянно чист и пыль удаляется автоматически в минимально возможное время.

Источником энергии для эжекционных систем могут быть либо сжатый воздух, отбираемый после компрессора наддувочного воздуха, либо выпускные газы, отбираемые в количестве, необходимом для создания заданного коэффициента отсоса. Для двухтактных двигателей использование сжатого воздуха более предпочтительно, так как компрессор создает давление не менее 3,5 атм, что дает возможность при выборе характеристик эжектора более свободно проектировать эжектор с учетом широкого поля значений величин разрежения в пылесборнике для режимов нормальной эксплуатации и «Брод». Учитывая, что разрежение в пылесборнике воздухоочистителя может изменяться от 1,0 до 10 кПа, выбор характеристик следует вести исходя из оптимизации масштаба эжектора и изменения сопротивления входных устройств.

Уравнение эжектора можно представить в виде:

$$\Delta P_3 = a + v \left( q \sqrt{\Delta^2} \right)^2 - c \left( 1 + q / \sqrt{\Delta^2} \right)^2.$$

Это наиболее простое и полное выражение, характеризующее геометрические и гидравлические характеристики эжектора в данном уравнении:

$\bar{\Delta P}_3$  – статический напор эжектора;  $a, v, c$  – коэффициенты уравнения эжектора;  $q$  – коэффициент эжекции, равный отношению  $\frac{G_2}{G_1}$ , где  $G_2$  – расход эжектируемого воздуха,  $G_1$  – расход эжектирующего воздуха.

Коэффициенты  $a, v$  и  $c$  характеризуют качество самого эжектора, изменение величин которых дает возможность приблизить эжектор к требуемым характеристикам по напорности и производительности по воздуху.

Важним критерием любого эжектора является его масштаб – « $m$ », который равен соотношению:

$$m = H_{\kappa} \frac{B_{\gamma}}{f_c},$$

где  $H_{\kappa}$  – высота камеры смешения;  $B_{\gamma}$  – ширина проходного сечения камеры смешения;  $f_c$  – суммарная площадь сопел соплового аппарата эжектора.

Выбрав масштаб эжектора, коэффициент « $a$ » определится из формулы

$$a = \frac{2}{m}.$$

Коэффициент « $\epsilon$ » определяет минимальные потери давления за счет оптимизации входного участка камеры смешения и выражается следующей зависимостью:

$$\epsilon = \frac{(1 - \xi_{ex})(m - 2)}{[m(m - 1)^2]},$$

где  $\xi_{ex}$  – коэффициент сопротивления входного участка.

Коэффициент « $c$ » определяет условия выхода газа в диффузор и геометрические особенности диффузора с точки зрения полного использования энергии эжектора с минимальными потерями статического давления. Для этого для любого варианта эжектора вычисляется коэффициент качества « $A$ » по формуле:

$$A = (2 - \gamma_e) K_3 + \xi_m,$$

где  $\gamma_e = [1 - 2(K_3 - 1)] \gamma_{e1}$ .

Величины  $\gamma_{e1}$  и  $K_3$  определяются экспериментальными исследованиями и как правило равны 0,92 и 1,04 соответственно. Тогда коэффициент « $c$ » легко вычислить по формуле:

$$C = \frac{A}{m^2}.$$

Из приведенных формул значимости коэффициентов  $a$ ,  $\epsilon$  и  $c$  видно, что именно они дают возможность оптимально в условиях реальной компоновки эжектора и системы охлаждения выбрать такое сочетание размеров, которое могло бы удовлетворить условиям создания необходимой производительности эжектора.

После определения основных коэффициентов эжектора, уравнение эжектора можно представить в более масштабном виде:

$$\frac{\Delta P_{omc}}{n_1} = \frac{2}{m} + \frac{m - 2}{(m - 1)^2} \frac{1}{m} \left( \frac{0,01}{\sqrt{\Delta}} \cdot \frac{q_{omc}}{G} \right)^2 - \frac{A}{m^2} \left( 1 + \frac{0,01}{\sqrt{\Delta}} \cdot \frac{q_{omc}}{G} \right)^2.$$

Динамическое давление ( $d_1$ ) и температурный фактор ( $\Delta$ ) определяются из следующих уравнений:

$$\eta_1 = \frac{g}{2\rho_1 F_c^2};$$

$$\Delta = \frac{P_{omc}}{F_c},$$

где  $\rho$  – плотность пылевоздушной смеси;  $F_c$  – площадь сопел истечения воздуха.

Учитывая, что количество пыли, содержащейся в воздухе не превышает 3 %, возможно представить плотность воздуха при заданной температуре без учета пыли, удельный вес которой примерно в 2,5 раза выше.

Создание эжектора для систем очистки воздуха с двигателями любой мощности технически решается более просто, без значительных потерь объектовой мощности. Модернизация любых бронированных

об'єктів завжди направлена на установку більш потужного двигателя. В цьому випадку оптимізація ежектора для задоволення технічних вимог по всім параметрам, пред'являемим до системи очищення повітря, вирішується за рахунок зміни геометричних розмірів ежектора і вибору діаметра сопел ежектора.

Хоча слід врахувати, що збільшення діаметра сопел виходу повітря пов'язано з збільшенням витрати повітря, відбираемого після компресора наддувочного повітря. Втрати потужності на відбір повітря від компресора виражаються як частину потужності, затраченої на привод компресора наддувочного повітря.

Для танків української розробки, починаючи з танка Т-64 і до танка БМ «Оплот» використовувалась ежекційна система видалення пилу з пылесборника. Поступово збільшувалась потужність двигателя з 700 (515) л.с./кВт до 1200 (882) л.с./кВт і продуктивність компресора наддувочного повітря з 1,2 до 1,85 кг/с. Незважаючи на це допустиме аеродинамічне опір, що представляє собою суму втрат статичного тиску, залишалось для всіх типів танків незмінним на рівні  $\cong 13$  кПа. Однак для кожного танка постійно оптимізувались ежектори, виходячи з реальних значень продуктивності компресора і тисків наддувочного повітря. Експериментальними дослідженнями було встановлено, що відбір стиснутого повітря від компресора для ежектора на рівні 0,1 кг/с еквівалентен втратам потужності  $\cong 25$  л/с.

Таким чином, ежекційні системи для видалення пилу з пылесборника воздухоочистителя, що використовуються на танках української розробки, дозволяють вирішувати завдання збереження потрібних параметрів для кожного варіанта танка на основі оптимізації основних геометричних параметрів (по коефіцієнтам  $a, b, c$ ) і масштабу ( $m_s$ ).

Ежектори, що працюють на енергії оброблених газів більш прийнятні для чотирьохтактних двигателів, оскільки для таких двигателів вимагається менша продуктивність вентиляторів подачі повітря на живлення двигателя і менша ступінь підвищення тиску повітря. Оптимізація ежектора проводилась в більшій ступені збільшенням витрати газу, і зміною проточної частини самого ежектора і дифузійної частини.

Для чотирьохтактних двигателів характерно широке змінювання витрати повітря, температури і тиску газів. Тому необхідно забезпечити розрахункове значення коефіцієнта відбору на самих небажаних режимах. В цьому випадку масштаб ( $m_s$ ) вибирається виходячи з умов:

$$m_{opt} = A \left( \frac{1 + 0,01q_{omc}}{\sqrt{\Delta}} \right).$$

Враховуючи, що коефіцієнт якості ежектора ( $A$ ) для ежекторів подібного типу практично не впливає на характеристику ежектора, можна передбачити, що найбільш оптимальними можуть бути умови, при яких буде збережено наступне рівняння:

$$\left( \frac{\Delta P_{omc}}{\eta_1} \right)_{max} = \frac{1}{m_{opt}}.$$

При виборі ежектора незалежно від його типу, найбільш важливим елементом є масштаб ежектора ( $m$ ). Саме він визначає ефективність видалення пилу на всіх експлуатаційних режимах руху танка або будь-якого іншого об'єкта спеціального призначення.

Це рівняння найбільш повно відображає вибрану величину ежектора і зміну ( $m_{opt}$ ) дуже небажано як в меншу, так і в більшу ступінь. Зміна параметрів вихідних газів пов'язано з протидавленням виходу, створюваного ежектором і пов'язано з динамічним тиском наступним співвідношенням; визначеном з рівняння Бернуллі:

$$P_2 = \eta_1 - \Delta P'_{omc} - \eta_{кол} (1 - \xi_{кол}),$$

$\eta_{кол}$  – динамічний тиск газу в вихідному перерізі вихідного колектора двигателя;  $\xi$  – коефіцієнт втрат на ділянці траси від колектора до соплового апарату.

Для ежекторів, що працюють на енергії вихідних газів характерно менше впливання втрат потужності при відборі газів на ежектор відбору пилу з пылесборника воздухоочистителя. Однак з зміною кількості газів і відсмолюваного з пылесборника повітря змінюються коефіцієнти опору

ления ( $\xi$ ) и качества ( $A$ ), что и определяет потери мощности противодействия системы выпуска отработавших газов.

### ВЫВОДЫ

1. К системам очистки воздуха объектов бронированной техники предъявляются особые требования обеспечения надежной работы во всех режимах эксплуатации, связанных с изменением аэродинамических характеристик и повышенным содержанием пыли в воздухе.

2. Одним из элементов, обеспечивающем надежную работу системы очистки воздуха является эжектор автоматического удаления пыли от первой ступени и пылесборника воздухоочистителя.

3. Для двухтактных двигателей отличительной особенностью которых является высокая степень давления воздуха после компрессора и эжекционная система охлаждения, оптимальными являются газовые эжекторы, обеспечивающие надежную работу систем очистки воздуха с минимальными затратами мощности двигателей.

### Литература

1. Теория танка, 10-томное изд. под редакцией П.П.Исакова, Ленинград, т.4, 1984 г.
2. Конструирование и расчет танка, проф. Талу К.А. Военная ордена Ленина бронетанковая академия, 1958 г.
3. Климов В.Ф. Модульный метод проектирования систем очистки воздуха для объектов бронированной техники / Михайлов В.В., Кудреватых Д.Н., Шипулин А.А. // Интегрированные технологии и энергосбережение, №1.– 2013.– С. 18–21.
4. Климов В.Ф. Оценка эффективности систем очистки воздуха военных гусеничных машин / Магерамов Л.К.-А., Михайлов В.В., Шипулин А.А., Кудреватых Д.Н. // Механіка та машинобудування НТУ «ХПІ» Харків, 2, 2012, с. 105–110.
5. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М. Госэнергоиздат, 1960 г.
6. Климов В.Ф. Циклон для системы очистки воздуха объектов бронированной техники / Колбасов А.Н. // Интегрированные технологии и энергосбережение, Харьков, НТУ «ХПИ».– №3, 2007.– С. 48–50.

### Bibliography (transliterated)

1. Teoriya tanka, 10-tomnoe izd. pod redaktsiyei P.P.Isakova, Leningrad, t.4, 1984 g.
2. Konstruirovaniye i raschet tanka, prof. Talu K.A. Voennaya ordena Lenina bronetankovaya akademiya, 1958 g.
3. Klimov V.F. Modulnyiy metod proektirovaniya sistem ochistki vozduha dlya ob'ektov bronirovannoy tehniki. Mihaylov V.V., Kudrevatyih D.N., Shipulin A.A. Integrirovannyye tehnologii i energosberezhenie, #1.– 2013.– P. 18–21.
4. Klimov V.F. Otsenka effektivnosti sistem ochistki vozduha voennyih gusenichnyih mashin. Mageramov L.K.-A., Mihaylov V.V., Shipulin A.A., Kudrevatyih D.N. Mehanika ta mashinobuduvannya NTU «HPI» Harkiv, 2, 2012, p. 105–110.
5. Idelchik I.E. Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam. M. Gosenergoizdat, 1960 g.
6. Klimov V.F. Tsiklon dlya sistemyi ochistki vozduha ob'ektov bronirovannoy tehniki / Kolbasov A.N. Integrirovannyye tehnologii i energosberezhenie, Harkov, NTU «HPI».– #3, 2007.– P. 48–50.

УДК 623.438.32

Клімов В.Ф., Магерамов Л.К.-А., Михайлов В.В., Шипулін О.О.

### ДО ПИТАННЯ ВИБОРУ ЕЖЕКТОРА СИСТЕМИ ОЧИСТКИ ПОВІТРЯ ТАНКІВ З ДВОТАКТНИМИ ДВИГУНАМИ

У статті показані особливі режими експлуатації танків та необхідність створення повітроочисників з високою ефективністю ежекторів, що працюють на енергії стисненого повітря.

Klimov V.F., Mageramov L.K.-A., Mikhailov V.V., Shipulin O.O.

### ABOUT SELECTING AN EJECTOR FOR THE AIR CLEANING SYSTEM OF TANKS THAN ARE FITTED WITH TWO-STROKE ENGINES

The article describes specific modes of operation of tanks and the necessity of designing air cleaners that are fitted with high-efficiency ejectors that operate by wing energy of compressed air.

Веретенников А.И., Ткачук Н.А., Грабовский А.В., Климов В.Ф.

### СТРАТЕГИЯ ОБОСНОВАНИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И СОСТОЯНИЙ БРОНЕКОРПУСОВ ЛЕГКОБРОНИРОВАННЫХ МАШИН

**Введение.** Потребности вооруженных сил (ВС) в боевых бронированных машинах (ББМ) в настоящее время возрастают как в части количества, так и по необходимой номенклатуре объектов бронетанковой техники. Это обусловлено в том числе возросшим объемом боевых задач, выполняемых с задействованием данных машин, в т.ч. в условиях антитеррористических операций, когда множество поражающих факторов существенно расширяется. В этих обстоятельствах необходимы проектирование, изготовление и поставка в войска широкого множества машин с высокими тактико-техническими характеристиками (ТТХ). Одно из эффективных решений – создание серий машин, объединенных в отдельные множества на базе общего шасси.

Однако в этой ситуации возникает гораздо больше проектных критериев и ограничений, чем при создании единичных образцов боевых машин. При этом критерии и ограничения зачастую конфликтуют, конкурируют или исключают друг друга применительно к различным типам машин.

Таким образом, возникает противоречие между потребностями вооруженных сил в поставке целых комплексов боевых бронированных машин с высокими тактико-техническими характеристиками на едином шасси, с одной стороны, и отсутствием единой системной методологии синтеза соответствующих проектных решений, – с другой. В результате формируется актуальная научно-техническая проблема разработки и реализации принципиально новых подходов к обоснованию проектных решений не только для отдельно проектируемой боевой бронированной машины, а для их серии. Разработка данных подходов является содержанием и целью проведенного цикла исследований, описанных далее в работе.

**Анализ состояния вопроса.** Общие подходы к обоснованию проектных решений различных машин, механизмов и конструкций выработаны многовековой практикой их конструирования [1, 2], а также соответствующих научных разработок [3–5]. Применительно к боевым бронированным машинам некоторые проблемные вопросы нашли отражение в обзорных, аналитических, энциклопедических публикациях, а также в работах исследовательского характера [6–9]. В соответствии с общей тенденцией для обоснования заданных тактико-технических характеристик ББМ применяются многочисленные расчетные методики, анализ известных проектных решений, эвристические подходы, системные оценочные прогнозные методики и т.д. Однако в настоящее время отсутствует единый научно обоснованный системный подход к обоснованию проектных решений боевых машин, обеспечивающих те или иные их ТТХ. Это обусловлено целым рядом проблем, связанных с некорректностью возникающих формальных задач синтеза, со сложностями при однозначной идентификации боевой машины как объекта исследований, а также с неадекватностью математических моделей физико-механических процессов и состояний, реализуемых в элементах боевых машин при их эксплуатации и боевом применении. Перечисленные препятствия невозможно преодолеть в рамках существующих традиционных подходов. Однако, обнажив и выявив их, можно в принципиальном плане предложить общую платформу для решения всего комплекса проблем научного и практического характера, стоящих перед отечественным бронетанкостроением.

**Постановка проблемы.** Традиции отечественного бронетанкостроения [10–15], поставленные на системный научный уровень легендарным конструктором А.А. Морозовым, предлагают подход к проектированию боевой машины как единого объекта, все компоненты тактико-технических характеристик которого являются взаимосвязанными и взаимовлияющими. Этот подход в сочетании с отточенными инженерными методиками дал возможность разработать целый ряд тяжелых боевых бронированных машин от танка Т-34 до Т-64 и боевой машины "Оплот" [15]. Данные машины во многом определили облик советского и украинского танкостроения XX–XXI веков и продемонстрировали эффективность научной и конструкторской школы. В то же время наметившиеся в конце XX века тенденции широкого применения в войсковых и антитеррористических операциях легкобронированных боевых машин выдвинуло на передний план проблему проектного обеспечения их ТТХ. При этом преобладающим является создание на базе единого шасси целой линейки машин [16, 17]. Это вызвано стремлением ускорить процессы проектирования, уменьшить стоимость производства и эксплуатации. Однако возникает следующий срез проблемы: как обеспечить требуемый уровень ТТХ каждой боевой машины, вместе с тем сохранив единство проектных решений серии машин в целом?



Возникновение указанной проблемы вызвано тем, что требования к ТТХ различных машин, как указывалось выше, зачастую противоречивы или даже конфликтны, а существенная часть проектных решений при этом должна быть единой.

Сложившиеся обстоятельства порождают следующую актуальную научную задачу: разработать общий подход к системной формулировке проблемы обоснования проектных решений серии боевых машин с целью обеспечения заданного уровня их тактико-технических характеристик.

**Общий подход к решению.** Для обоснования тех или иных характеристик проектируемых боевых машин необходимо рассматривать проектные решения в увязке со многими факторами (рис. 1). Для единого системного описания всех взаимовлияющих величин, представленных на рис. 1, целесообразно привлечь системный инструмент, который предоставляет мощные возможности вариативности каждого фактора. Одним из наиболее функциональных с этой точки зрения является метод обобщенного параметрического моделирования [18]. В соответствии с ним любой фактор, величина, распределение или характеристика трактуются как обобщенный параметр  $p$ . При этом множество параметров, идентифицирующих некоторую конкретную БМ, образует обобщенное параметрическое пространство  $P_i$  ( $i$  – номер БМ в серии). Общая часть этих множеств образует множество  $P_0$ , т.е. совокупность общих для всей серии машин проектных решений (рис. 2). Объединение же этих множеств (за исключением  $P_0$ ) дает множество отличительных проектных решений  $P'_0$  (см. рис. 2).

Уже на этом этапе формально можно сформулировать общие требования к множеству ПРП (см. рис. 1):

- максимальная унификация;
- устойчивость к варьированности общих проектных решений;
- минимизация отличительных проектных решений.

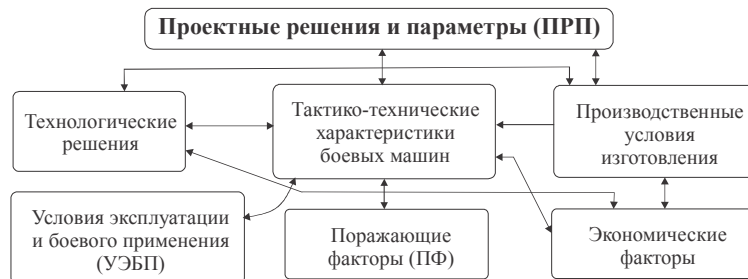


Рисунок 1 – Тактико-технические характеристики боевых бронированных машин как результат взаимодействия отдельных групп факторов

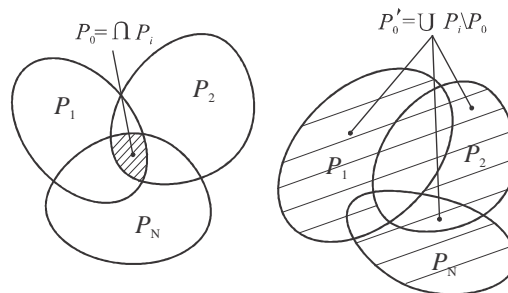


Рисунок 2 – Множества проектных решений серии боевых машин на едином шасси

Данные требования формализуются в виде соотношений:

$$m(P_0) \rightarrow \max, \tag{1}$$

$$\frac{\partial m(P_0)}{\partial P} < \infty, \tag{2}$$

$$m(P'_0) \rightarrow \min, \tag{3}$$

где  $m$  – некоторая мера, построенная на множестве определяющих параметров. В качестве такой меры может быть трудоемкость, стоимость или длительность изготовления БМ, а также иные характеристики.

Кроме того, в области параметров может быть сформулировано множество ограничений (например, по прочности, защищенности, массе и т.д.). Будучи объединены для серии машин, они формируют область проектных ограничений

$$G_0 = \bigcap G_i, \tag{4}$$

в пределах которой, собственно, и должен осуществляться поиск проектных решений (рис. 3). При этом, что важно, область  $G_0$  должна быть непустой, иначе вместо оптимизации возникает проблема компромисса или минимизации ущерба.

На следующем шаге строится некоторая система критериев  $I_k$  для ТТХ машин проектируемой серии, и уже в пределах соответствующих ограничений отыскивается оптимальное решение (рис. 4). Тут важно отметить, что серия задач оптимизации

$$I_k \rightarrow \min \text{ на } G_k \tag{5}$$

даст совокупность решений, в части общего множества обобщенных параметров  $P_0$  не обязательно совпадающих друг с другом. Тогда возникает ситуация, принципиально отличная от проектирования единичной ББМ. Это отличие обусловлено тем, что при проектном синтезе параметров серии машин с неизбежностью возникает проблема согласования частично оптимальных решений (5). Для этого, например, строится некоторый обобщенный функционал качества с весовыми коэффициентами  $\gamma_i$ :

$$I_0 = \sum \gamma_i T_i \rightarrow \min. \tag{6}$$

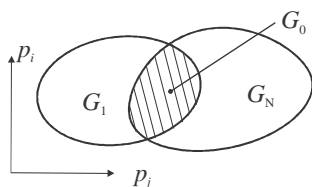


Рисунок 3 – Область проектных ограничений

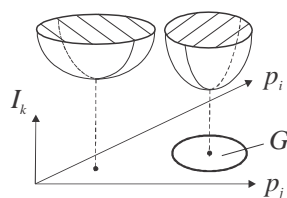


Рисунок 4 – Критериальные величины

Решение задачи (6) приводит к набору параметров, не доставляющих минимум каждому из функционалов  $I_k$ . При этом, что характерно, смещение данных параметров наблюдается не только в зоне  $P_0$ , но и в  $P'_0$ . Другими словами, происходит смещение оптимальных проектных решений относительно частных оптимумов (5) и в области общей части параметров, и в области отличительных параметров каждой отдельной ББМ. Естественно, что степень такого смещения в случае функционала (6) во многом определяется весовыми коэффициентами  $\gamma_i$ . Так, если обнулить все  $\gamma_i$ , кроме  $\gamma_q = 1$ , то одна из машин серии становится в отношении проектных решений ведущей (базовой). Обычно такой вариант наблюдается, если изначально создается одна ББМ, а затем принимается решение на ее основе создать серию машин. Естественно, что в этом случае для отдельных машин серии могут сильно пострадать их ТТХ относительно оптимальных решений (5). С другой стороны, равномерное распределение весов  $\gamma_i$  нерационально, т.к. все равно не получаем в итоге оптимальных частных решений (5), однако может оказаться, что ТТХ наиболее важных ББМ из проектируемой серии будут находиться на низком уровне.

Таким образом, возникает задача более высокого уровня – определение стратегии обоснования приоритетов в увязке, конечно, с решениями (5), (6). Что важно: в этом случае аргументами функционала в (6) являются не только параметры  $p_s$ , но и весовые коэффициенты  $\gamma_r$ :

$$I_0(\gamma, p) \rightarrow \min; \sum \gamma_r = 1; \gamma_r > 0. \tag{7}$$

Формально записи (6), (7) подобны, но содержат важнейшее отличие: в (6)  $\gamma_i$  назначаются, в (7) они являются искомыми.

В результате на базе теоретико-множественного подхода сформулирован подход к стратегии проектного обеспечения ТТХ при создании серии боевых бронированных машин. В этой части он был задекларирован на формальном уровне в обобщенном параметрическом пространстве. Следующий шаг – переход к моделированию физико-механических процессов и состояний, которые и определяют глубинные связи отдельных параметров и характеристик боевых бронированных машин.

**Математическое моделирование физико-механических процессов и состояний бронекорпусов боевых бронированных машин.** Общий подход, задекларированный выше, определяет только способы проектного обоснования ТТХ серии боевых бронированных машин. В то же время связи между обобщенными параметрами, компонентами ТТХ и действующими ограничениями устанавливаются протекающими в элементах ББМ физико-механическими процессами и состояниями. При этом необходимо учитывать все возрастающее многообразие и интенсивность воздействий на элементы ББМ условий эксплуатации, боевого применения и поражающих факторов.

В частности, одним из наиболее ответственных и нагруженных элементов боевых бронированных машин является бронекорпус. Он определяет основные компоновочные решения, защищенность, возможность оснащения БМ теми или иными боевыми модулями, величину заброневоего объема и его распределение между отсеками, в значительной мере – массу и скорость движения машины и ее плавучесть, а также ряд других важнейших характеристик. Соответственно, в качестве основного отправного элемента можно взять бронекорпус, а в качестве основных определяющих процессов – его динамическое напряженно-деформированное состояние (НДС). Основываясь на предложенной выше технологии обобщенного параметрического моделирования, математическую модель динамического НДС можно представить в общем операторном виде:

$$L(u, P, f, t) = 0, \tag{8}$$

где  $L$  – оператор процессов и состояний,  $u$  – массив переменных, определяющих динамическое состояние исследуемого объекта,  $P$  – общий массив обобщенных параметров,  $f$  – внешнее воздействие,  $t$  – время.

По итогам решения задач анализа (8) можно получить параметрические зависимости

$$u = u(P, f, t). \tag{9}$$

Располагая же зависимостями (9), становится возможным определить характеристики, зависящие от  $u$ :

$$H = H(u) = H(P, f). \tag{10}$$

В свою очередь, информация, получаемая на основе зависимостей (9) и (10), служит основой для построения системы ограничений  $G$  и критериальных величин  $I$ :

$$G = G(H, u); I = I(H, u). \tag{11}$$

Данные зависимости, будучи помещенными в соотношения (4–7), обретают конкретность, требуемую для решения той или иной задачи синтеза.

При этом следует подчеркнуть, что в ходе проектного обоснования (7) производится не только расчленение множества  $P$ , но и расщепление исследуемых физико-механических процессов и состояний (рис. 5). Так, например, для обеспечения защищенности исследуется взаимодействие кинетических иликумулятивных боеприпасов с бронепанелями; точность ведения огня в зависимости от упругих деформаций корпуса требует оценки его НДС при действии усилий отдачи и т.д.

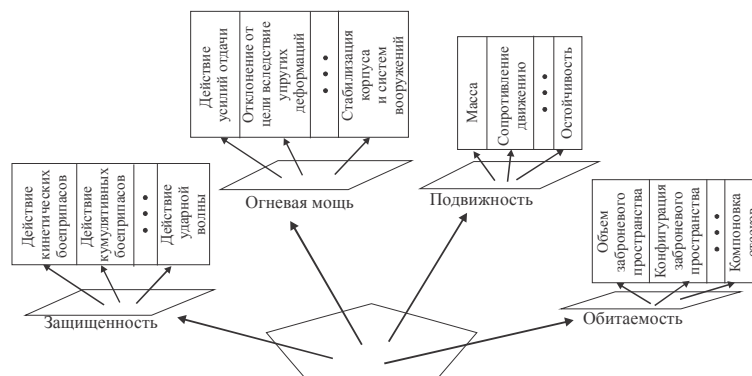


Рисунок 5 – Послойное расщепление физико-механических процессов и состояний по компонентам тактико-технических характеристик боевых бронированных машин

Еще одним важным моментом в процессе математического моделирования динамического напряженно-деформированного состояния бронекорпусов боевых бронированных машин является выбор того или иного инструментария для его реализации. Поскольку большую ценность зависимости (9,10) имеют на начальных этапах проектных разработок, то наиболее подходящим является численное моделирование динамического напряженно-деформированного состояния. В противовес физическому моделированию с привлечением макетов и натуральных образцов в этом случае можно с применением современных численных методов (в первую очередь – метода конечных элементов) и систем CAD/CAM/CAE разрабатывать

компьютерные модели бронекорпусов и получать в ходе многовариантных расчетов напряженно-деформированного состояния зависимости, аппроксимирующие (9,10).

**Заключение.** Предложенные в работе подходы составляют основу стратегии проектного обеспечения тактико-технических характеристик серии боевых бронированных машин. Данная стратегия применима к основным и наиболее нагруженным и ответственным элементам БМ. При этом создана теоретическая основа для постановки и решения задач синтеза. В частности, с использованием задекларированных подходов разработаны проектные решения бронекорпусов машин серии БТР-4 [15].

БТР-4 предназначен для транспортировки личного состава мотострелковых подразделений и их огневой поддержки в бою. БТР используется для оснащения подразделений, способных вести боевые действия в различных условиях, в том числе в условиях применения противником оружия массового поражения. БТР может быть базовой машиной для оснащения специальных сил быстрого реагирования и морской пехоты, может выполнять поставленные задачи как днем, так и ночью, в различных климатических условиях, на дорогах с различным покрытием и в условиях полного бездорожья.

Компоновка. БТР-4 имеет три отделения:

- переднее – отделение управления;
- среднее – моторно-трансмиссионное отделение;
- заднее – боевое и десантное отделения.

Подобная компоновка позволяет быстро трансформировать боевое и десантное отделения без изменения компоновочных решений по силовой установке и трансмиссии для создания широкого семейства машин. Грузоподъемность шасси бронетранспортера позволяет создавать не только варианты исполнений и семейства машин, но и устанавливать дополнительную броневую защиту против автоматических малокалиберных пушек.

БТР-4 по итогам проектных разработок состоялся как плавающая боевая бронированная машина с колесной формулой 4x4. Он имеет модульную конструкцию, которая позволила создать на базе общего шасси семейство бронированных машин. В него входят бронетранспортер, боевая машина пехоты, командирская машина, командно-штабная машины, медицинская машина, ремонтно-эвакуационная машина и т.д. (рис. 6). Благодаря применению различных боевых модулей и специального оборудования машина может быть приспособлена к выполнению различных боевых и вспомогательных задач. БТР-4 принят на вооружение украинской армии.

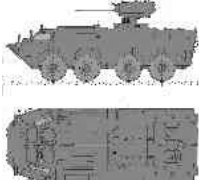

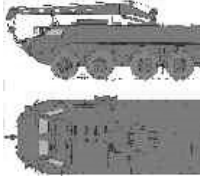
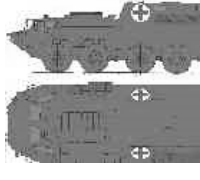

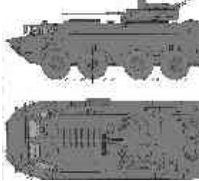
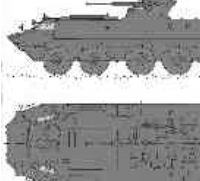
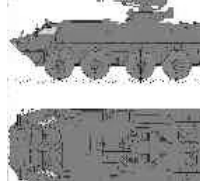
			
БТР-4 с модулем "ГРОМ"	Командно-штабная машина БТР-4КШ	Ремонтно-эвакуационная машина БРЭМ-4К	Санитарно-эвакуационная машина БСЭМ-4К
			
Машина огневой поддержки МОП-4К	Разведывательная машина БРМ-4К	БТР-4 с модулем "ШКВАЛ"	БТР-4 с модулем БАУ 23x2

Рисунок 6 – Машины семейства БТР-4 [15]

При использовании заявленной стратегии применительно к серии машин БТР-4 выявлены следующие, кроме заявленных выше, положительные особенности:

– высокая степень автоматизации проектных исследований, обеспечиваемая корректным применением теоретико-множественного подхода, а также четким разделением отдельных факторов, величин, распределений и характеристик в единой комплексной математической модели, а также численной модели, которая создается на ее основе;

– інтегруємість предложенної технології обосновання проектних рішень в практику роботи КБ посредством разработки дополнительных модулей к универсальным системам CAD/CAM/CAE, применяемым в т.ч. в ХКБМ им. А.А. Морозова;

– обеспечение возможности привлечения накопленного конструкторского опыта в виде соответствующих экспертных мета-моделей, которые устанавливают определенные зависимости между факторами, характеристиками и параметрами без проведения части работ по компьютерному моделированию, а напрямую – из накопленных баз данных, знаний и известных решений.

Кроме того, заявленная методология применима к различным типам боевых бронированных машин, а также к разнообразным их элементам. Что важно: предложенная стратегия не является искусственно привнесенной, а, наоборот, реализует естественную технологию проектных разработок отечественного бронетанкостроения, но с опорой на современные научные разработки, средства САПР и возможности информационных технологий.

В дальнейшем планируется применение предложенного в работе подхода к обоснованию проектных решений элементов конструкции ряда боевых бронированных машин с высокими тактико-техническими характеристиками.

#### Литература

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя / В.И. Анурьев // В 3-х томах. – 8-е изд., перераб. и доп. / Под ред. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2001.
2. Краткий справочник металлиста / под общ. ред. П.Н. Орлова, Е.А. Скороходова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 960 с.
3. Дитрих Я. Проектирование и конструирование. Системный подход / Я. Дитрих // Пер. с польск. – М.: Мир, 1981. – 456 с.
4. Реклейтис Г. Оптимизация в технике / Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Рэгсдел // В 2-х кн. Пер. с англ. – М.: Мир, 1986.
5. Сеа Ж. Оптимизация. Теория и алгоритмы / Ж. Сеа. – М.: Мир, 1973. – 244 с.
6. Броне-сайт. Режим доступа: <http://armor.kiev.ua/>.
7. Саенко М.В. Основной боевой танк Т-64 / М.В. Саенко, В.В. Чобиток – М.: Экспронт, 2001. – 92 с.
8. Бусяк Ю.М. Перспективы развития трансмиссий военных бронированных машин / Ю.М. Бусяк, А.И. Веретенников, А.М. Завадский // Механіка та машинобудування. – 2004. – №1. – С. 102–106.
9. Волонцевич Д.О. Методика комплексной оценки динамичности военных гусеничных и колесных машин на этапе структурно-параметрического синтеза их трансмиссий / Д.О. Волонцевич, Е.А. Веретенников // Вісник НТУ "ХПІ". Зб. наук. праць. Тем. вип. : Транспортне машинобудування. – Харків: НТУ "ХПІ", –2011. –№18. – С. 102–105.
10. Листровой В., Слободин К. Конструктор Морозов / В. Листровой, К. Слободин – М.: Политиздат, 1983. – 80 с.
11. Танкоград: История. Люди. События: / Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, Е.Е. Александров, Л.М. Бесов, И.Е. Александрова. – Х.: НТУ «ХПИ», 2004. – 236 с.
12. Александров Е.Е. Быстроходные гусеничные и армейские колесные машины: краткая история развития: / Е.Е. Александров, В.В. Епифанов. – Х.: НТУ «ХПИ», 2001. – 375 с.
13. Самородов В.Б. Колесные и гусеничные машины высокой проходимости. Бесступенчатые трансмиссии: Расчет и основы конструирования / В.Б. Самородов, Д.О. Волонцевич, А.С. Палашенко // Учеб. пособие. / Под ред. Александрова Е.Е. – Харьков: ХГПУ, 1997. – 185 с.
14. Харьковское конструкторское бюро по машиностроению имени А.А. Морозова [Текст] / А.И. Веретенников [и др.] – Х. : РА "Ирис", 1997.– 136 с.
15. <http://www.morozov.com.ua>.
16. <http://www.gdels.com/piranha8/>
17. <http://www.otomelara.it/ru/products-services/landsystems/centauro-155-39lw?WT.ac=CENTAURO%20155%2039LW>.
18. Ткачук Н.А. Конечно-элементные модели элементов сложных механических систем: технология автоматизированной генерации и параметризованного описания / Н.А. Ткачук, Г.Д. Гриценко, А.Д. Чепурной, Е.А. Орлов, Н.Н. Ткачук // Механіка та машинобудування. Наук.-техн. журн. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2006. – №1. – С. 57–79.

#### Bibliography (transliterated)

1. Anurev V.I. Spravochnik konstruktora-mashinostroitel'ya. V.I. Anurev. V 3-h tomah. – 8-e izd., pererab. i dop. Pod red. I.N. Zhestkovoy. – M.: Mashinostroenie, 2001.

2. Kratkiy spravochnik metallista. pod obsch. red. P.N. Orlova, E.A. Skorohodova. – 3-e izd., pererab. i dop. – M.: Mashinostroenie, 1986. – 960 p.
3. Ditrh Ya. Proektirovanie i konstruirovaniye. Sistemnyiy podhod. Ya. Ditrh. Per. s polsk.– M. : Mir, 1981. – 456 p.
4. Rekleytis G. Optimizatsiya v tehnikе. G. Rekleytis, A. Reyvindran, K. Regsdel. V 2-h kn. Per. s angl. – M.: Mir, 1986.
5. Sea Zh. Optimizatsiya. Teoriya i algoritmyi. Zh. Sea. – M.: Mir, 1973. – 244 p.
6. Brone-sayt. Rezhim dostupa: <http://armor.kiev.ua/>.
7. Saenko M.V. Osnovnoy boevoy tank T-64. M.V. Saenko, V.V. Chobitok – M.: EksPrint, 2001. – 92 p.
8. Busyak Yu.M. Perspektiviyi razvitiya transmissiy voennyih bronirovannyih mashin. Yu.M. Busyak, A.I. Veretennikov, A.M. Zavadskiy. Mehanika ta mashinobuduvannya. – 2004. – #1. – P. 102–106.
9. Volontsevich D.O. Metodika kompleksnoy otsenki dinamichnosti voennyih gusenichnyih i kolesnyih mashin na etape strukturno-parametricheskogo sinteza ih transmissiy. D.O. Volontsevich, E.A. Veretennikov. *VIIsnik NTU "HPI". Zb. nauk. prats. Tem. vip. : Tranportne mashinobuduvannya. – Harkiv: NTU "HPI", –2011. –#18. – P. 102–105.*
10. Listrovoy V., Slobodin K. Konstruktor Morozov. V. Listrovoy, K. Slobodin – M.: Politizdat, 1983.– 80 p.
11. Tankograd: Istoriya. Lyudi. Sobyitiya: L.L. Tovazhnyanskiy, E.E. Aleksandrov, L.M. Besov, I.E. Aleksandrova. – H.: NTU «HPI», 2004. – 236 p.
12. Aleksandrov E.E. Byistrohodnyie gusenichnyie i armeyskie kolesnyie mashiny: kratkaya istoriya razvitiya: E.E. Aleksandrov, V.V. Epifanov. – H.: NTU «HPI», 2001. – 375 p.
13. Samorodov V.B. Kolesnyie i gusenichnyie mashinyi vyisokoy prohodimosti. Besstupenchatyie transmissii: Raschet i osnovyi konstruirovaniya. V.B. Samorodov, D.O. Volontsevich, A.S. Palashenko. Ucheb. posobie. Pod red. Aleksandrova E.E. – Harkov: HGPU, 1997. – 185 p.
14. Harkovskoe konstruktorskoe byuro po mashinostroeniyu imeni A.A. Morozova [Tekst]. A.I. Veretennikov [i dr.] – H. : RA "Iris", 1997.– 136 p.
15. <http://www.morozov.com.ua>.
16. <http://www.gdels.com/piranha8/>
17. <http://www.otomelara.it/ru/products-services/landsystems/centauro-155-39lw?WT.ac=CENTAURO15539LW>.
18. Tkachuk N.A. Konechno-elementnyie modeli elementov slozhnyih mehanicheskikh sistem: tehnologiya avtomatizirovannoy generatsii i parametrizovannogo opisaniya. N.A. Tkachuk, G.D. Gritsenko, A.D. Chepurnoy, E.A. Orlov, N.N. Tkachuk. Mehanika ta mashinobuduvannya. Nauk.-tehn. zhurn. – Harkiv: NTU «HPI». – 2006. – #1. – P. 57–79.

УДК 623.438: 539.3

Веретенников О.І., Ткачук М.А., Грабовський А.В., Климов В.Ф.

### **СТРАТЕГІЯ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ І СТАНІВ БРОНЕКОРПУСІВ ЛЕГКОБРОНЬОВАНИХ МАШИН**

У статті запропоновано новий системний підхід до синтезу проєктних рішень, що дають змогу забезпечити тактико-технічні характеристики не тільки окремої бойової машини, але цілої їх множини. Ці машини проєктуються на спільному шасі. При цьому критерії та обмеження формуються для кожної окремої машини, а потім створюється множина, яка їх об'єднує. Рішення відшуковуються на множині, яка задовольняє усьому комплексу вимог. Для ідентифікації множини проєктних рішень застосовано та розвинено метод узагальненого параметричного моделювання.

Veretennikov A.I., Tkachuk M.A., Grabovskyi A.V., Klimov V.F.

### **THE STRATEGY OF DESIGN SOLUTIONS JUSTIFICATION ON THE BASE OF RESEARCH OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROCESSES AND STATES OF LIGHTLY ARMORED VEHICLES HULLS**

In this paper a new systematic approach is proposed to synthesis of design solutions for providing of performance characteristics not only separate combat vehicle, but their whole set. These vehicles are designed on the common chassis. At the same time criteria and restrictions are formed for each single vehicle, and then the unifying set is creating. The solution is sought on the set that satisfies the entire range of requirements. To identify the set of design solutions, the method of generalized parametric modelling is applied and developed.

УДК 623.438: 539.3

Ткачук Н.А., Веретенников А.И., Бруль С.Т., Грабовский А.В., Литвиненко А.В.

### УДАРНЫЕ РЕЗОНАНСЫ В БРОНЕКОРПУСАХ ВОЕННЫХ ГУСЕНИЧНЫХ И КОЛЕСНЫХ МАШИН ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ СТРЕЛЬБЫ

**Введение.** При проектировании корпусов боевых бронированных машин учитывается влияние различных нагрузок, в т.ч. реактивных усилий отдачи, возникающих в процессе осуществления выстрелов из штатного вооружения. В то же время для тяжелых боевых машин [1] все возникающие при этом проблемы обеспечения прочности и жесткости разрешались за счет массивности силовых элементов бронекорпуса. Действительно, требования обеспечения необходимого уровня защищенности от действия кинетических и кумулятивных боеприпасов, фугасов и мин приводили к наращиванию толщины гомогенной или комбинированной (композитной) брони во всех проекциях танка. При этом автоматически обеспечивалась прочность и жесткость корпуса, реакция которого к воздействию реактивных усилий отдачи при осуществлении стрельбы из штатного вооружения (например, пушки калибра 125 мм) сводилась в основном к перемещению на элементах подвески с малой упругой деформацией самого корпуса.

В то же время тенденции широкого применения легкобронированных машин привели, во-первых, к использованию корпусов в виде тонкостенных сварных пластинчато-стержневых конструкций. Во-вторых, машины данного типа оснащаются хотя и малокалиберными пушками (до 30 мм), но с высоким темпом стрельбы (до сотен выстрелов в минуту). В результате собственные частоты колебаний бронекорпусов снижаются, а частота возбуждения возрастает. Возникает опасность возникновения резонансных режимов при осуществлении стрельбы. Данный вопрос не исследовался до настоящего времени в литературе. В этой работе ставится цель провести анализ возможных резонансных режимов и определить критерии отстройки от них на этапе проектных расчетов бронекорпусов легкобронированных машин.

**Постановка задачи.** Рассмотрим бронекорпус как динамическую систему, подверженную воздействию серии реактивных усилий, возникающих в процессе стрельбы из штатного вооружения (например, скорострельная малокалиберная пушка). Поведение этой системы описывается в общем виде системой обыкновенных дифференциальных уравнений

$$M\ddot{u} + K\dot{u} + Cu = P(t), \tag{1}$$

где  $M, K, C$  – матрицы масс, демпфирования и жесткостей,  $u(t)$  – обобщенные координаты исследуемой системы,  $P(t)$  – внешнее воздействие.

Уравнения (1) получаются в результате применения к бронекорпусу как континуальной системе процедуры метода конечных элементов [2]. В этом случае в качестве обобщенных координат выступают узловые перемещения и углы поворота (степени свободы конечно-элементной модели).

Вид временного распределения  $P(t)$  в данном случае специфичен и состоит из серии импульсов длительностью  $t$  и с частотой повторения  $\omega$  и периодом между ними  $T$  (рис. 1).

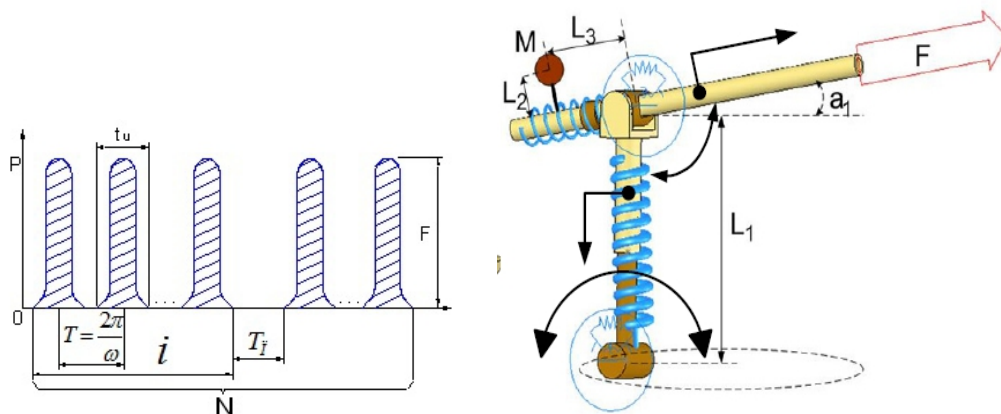


Рисунок 1 – Временное распределение реактивных усилий отдачи на бронекорпус при осуществлении стрельбы из штатных артиллерийских скорострельных систем



Если  $t_u \ll T$ , то имеем дело с единичными выстрелами. Если  $t_u \gg T_c$ , где  $T_c$  – нижняя собственная частота колебаний бронекорпуса, то характер приложения нагрузки – квазистатический. Однако эти соотношения, справедливые для корпусов тяжелых боевых машин, нарушаются для легкобронированных. Характерные времена  $t_u$  и  $T$  при этом находятся в зоне от единиц до десятков миллисекунд. С учетом того, что собственные частоты колебаний корпусов легкобронированных машин намного ниже, чем у тяжелых, то картина тенденций следующая: собственные частоты колебаний при снижении массы боевой бронированной машины имеют тенденцию к снижению, а частоты возбуждающих импульсов нагружения – к возрастанию (рис. 2).

В определенный момент это может привести к реализации окolorезонансных режимов. Учитывая, что спектр собственных частот колебаний бронекорпусов, как правило, достаточно густой, то возникает риск расширения опасных зон. В то же время могут обнаружиться другие проблемы. В частности, возникает вопрос о реализации возможного ударного резонанса. Эта задача рассмотрена далее в работе.

**Методика определения условий наступления ударного резонанса в бронекорпусах легкобронированных машин.** Рассмотрим уравнение (1) в случае исчезающе малого демпфирования. Для этой системы собственные частоты колебаний определяются из частотного уравнения

$$\det(C - p^2 M) = 0, \quad (2)$$

где  $p = \{p_1; p_2; p_3 \dots; p_r; \dots\}$  – набор собственных частот, нижняя из которых –  $p_1$  и количество которых определяется количеством степеней свободы исследуемой динамической системы.

Как известно, при неучете трения путем использования нормальных (главных) координат уравнения (2) можно разделить, получив последовательность уравнений

$$m_i \ddot{x}_i + c_i x_i = P(t); \quad p_i^2 = c_i / m_i, \quad (3)$$

где  $x_i$  –  $i$ -я главная координата;  $m_i, c_i$  – диагональные компоненты измененных матриц масс и жесткости, соответствующие собственной частоте  $p_i^2$ ;  $P_i(t)$  – измененная по амплитуде, но неизменная по характеру временного распределения (см. рис. 1) сила, соответствующая возбуждению  $i$ -й формы колебаний.

С другой стороны, правую часть (3) тоже можно разложить, представив в виде ряда Фурье по гармоникам разной кратности от  $\omega$ :

$$P_i(t) = a_i^0 + \sum_{k=1}^{\infty} a_i^k \cos k\omega t + \sum_{k=1}^{\infty} b_i^k \sin k\omega t. \quad (4)$$

Как известно [3,4], при совпадении какой-либо собственной частоты  $p_i$  с какой-либо гармоникой частоты  $\omega$  может наступить резонансный режим:

$$p_i = k\omega, \quad i = 1, 2, \dots; \quad k = 1, 2, \dots \quad (5)$$

При  $k = 1$  получаем обычный резонанс, а при  $k = 2, 3, \dots$  – ударный [4].

Опасность ударного резонанса усиливается за счет его множественности, т.е. возможности возникновения при гораздо большем количестве вариантов соотношения собственных частот колебаний и частот вынуждающих сил.

При этом нужно заметить, что спектр собственных частот колебаний  $p_i$  зависит от вариантов конструктивного исполнения бронекорпусов, т.е. от способов компоновки бронепанелей, способов их усиления, углов наклона и толщин в различных проекциях. Если обозначить массив этих факторов через  $\chi$ , то частотное уравнение (2) примет вид

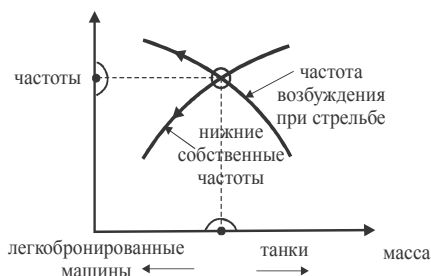


Рисунок 2 – Тенденции изменения нижних собственных частот колебаний и частот возбуждения при производстве выстрелов из штатных систем вооружения боевых бронированных машин



$$\det(C(\chi) - p^2 M(\chi)) = 0. \quad (6)$$

Здесь матрицы жесткости  $C$  и масс  $M$  параметрически зависят от  $\chi = \{\chi_1, \dots, \chi_N\}$ . В силу этого

$$p_i = p_i(\chi). \quad (7)$$

Тогда задачу отстройки от ударных резонансов можно представить в виде:

$$I(\chi) = \sum_{i,k} \gamma_{ik} (p_i(\chi) - k\omega)^2 \rightarrow \max, \quad (8)$$

где суммирование по  $i, k$  проводится для той части спектра частот, который ощутимо возбуждается при действии усилий отдачи в ходе стрельбы очередью;  $\gamma_i$  – некоторые весовые коэффициенты.

Конкретизация правой части выражения (8) требует дополнительной информации о пространственном распределении усилий отдачи, а также о характере и величине демпфирования на той или иной частоте. В то же время структурно функционал  $I$  соответствует мере степени отстройки от ударных резонансов, и чем он больше, тем лучше конструкция бронекорпуса с точки зрения избежания ударных резонансов.

**Примеры применения.** Как уже указывалось, в числе факторов  $\chi_s$ , влияющих на отстройку от резонансных режимов (8), выделяются различные группы. В частности, можно выделить среди них конструктивное исполнение корпуса. Сам этот фактор трудно формализовать, однако конструкторский анализ того или иного бронекорпуса дает возможность четко отделить, например, корпус БТР-80 от корпуса МТ-ЛБ или БТР-3 и т.д. Рассмотрим на первом этапе характерные особенности, накладываемые на собственные частоты колебаний структуры бронекорпуса. Для этого были построены модельные варианты бронекорпусов БТР-80, МТ-ЛБ и БТР-3 с одинаковой толщиной бронепанелей 6 мм для всех машин и всех панелей во всех проекциях. На рис. 3, 4 представлены некоторые собственные частоты и формы колебаний исследованных бронекорпусов.

БТР-80	МТ-ЛБ	БТР-3

Рисунок 3 – Собственные формы колебаний бронекорпусов БТР-80, МТ-ЛБ, БТР-3

**Анализ представленных результатов** дает основание для выводов:

- 1) спектры собственных частот колебаний всех бронекорпусов достаточно густые;
- 2) для некоторых собственных частот опасность попадания в резонансный режим достаточно велика (например, для пушки типа 2А72 частота импульсов отдачи – около 5 Гц, а на рис. 4 отмечены опасные уровни  $5 \pm 0,5$  Гц,  $10 \pm 0,5$  Гц, ...);
- 3) некоторые собственные формы колебаний предрасполагают к возникновению ударных резонансов (например, соответствующие преимущественному возбуждению подбашенных листов).

Таким образом, уже первичный анализ даст основание для некоторых выводов, в т.ч. о преимуществе бронекорпуса БТР-3, обладающего лучшим вариантом конструктивного исполнения по сравнению с МТ-ЛБ и БТР-80 по критерию потенциальных возможностей отстройки от резонансных режимов. На втором этапе рассмотрим чувствительность спектра собственных частот колебаний бронекорпуса к варьированию его толщины на примере БТР-3.

В качестве иллюстративного избран базовый вариант номинальных толщин 8 мм для всех элементов бронекорпусов. Варьирование всех толщин осуществляется в пределах  $\pm 20\%$ .

На рис. 5 и в табл. 1 приведены некоторые собственные формы колебаний для номинального и измененных распределений толщин. На рис. 6 – графическая иллюстрация изменения СЧК бронекорпуса при различных степенях его утонения/утолщения по сравнению с базовым вариантом. Видно, что собственные формы колебаний сохраняют свой характер, а частоты изменяются практически линейно в достаточно широком диапазоне варьирования толщин ( $\pm 20\%$ ). Это свидетельствует о том, что если зависимость распределения толщин от каких-то проектно-технологических решений и носит существенно нелинейный характер, то непосредственное влияние степени утонения-утолщения  $\alpha$  элементов бронекорпуса носит характер примерно линейной зависимости.

Таблица 1 – Собственные формы колебаний для номинального (8 мм) распределения толщин и при варьировании толщин панелей корпуса БТР-3

Толщина	Собственная форма колебаний	Толщина	Собственная форма колебаний
<i>1-я собственная частота</i>		<i>2-я собственная частота</i>	
6 мм		6 мм	
7 мм		7 мм	

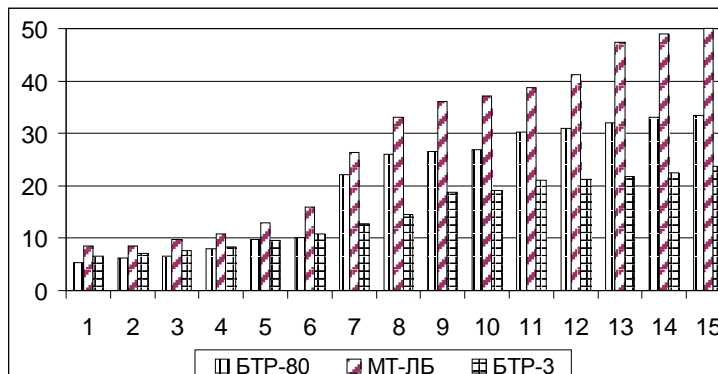
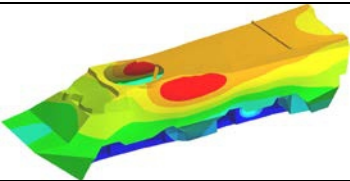
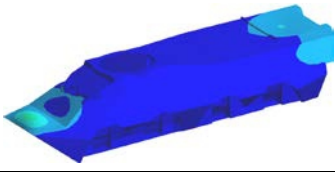
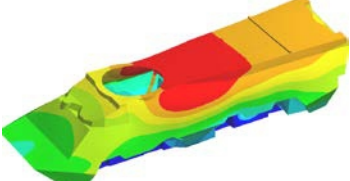
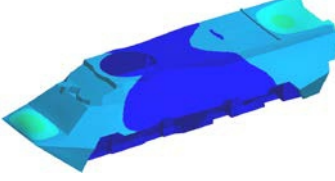
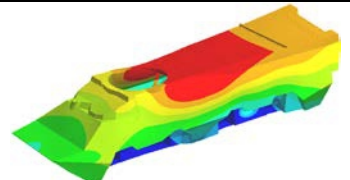
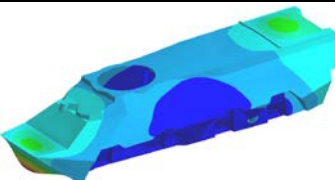
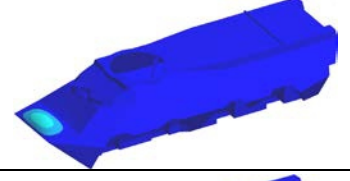
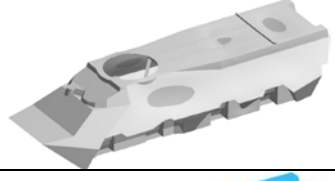
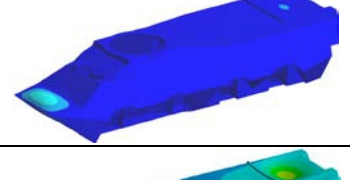
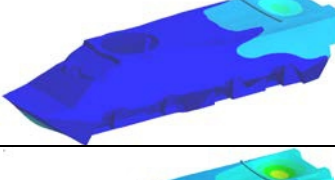
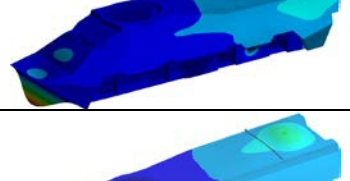
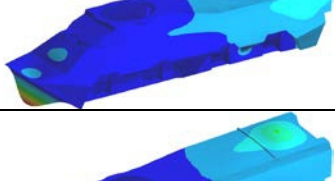

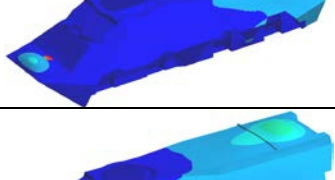
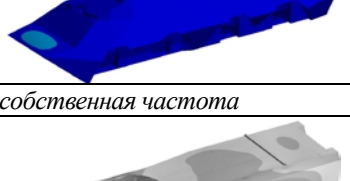


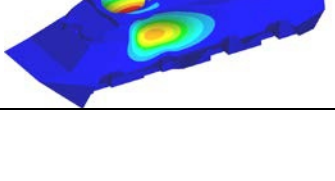


Рисунок 4 – Спектры собственных частот колебаний (Гц) бронекорпусов БТР-80, МТ-ЛБ, БТР-3

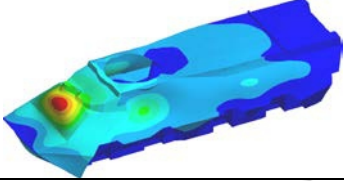
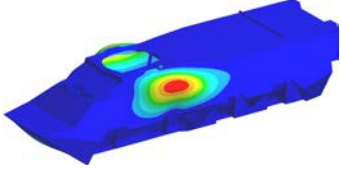
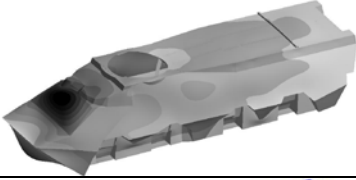
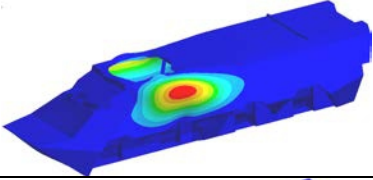
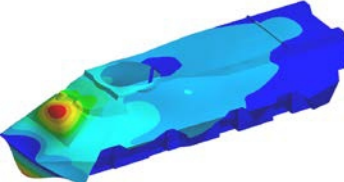
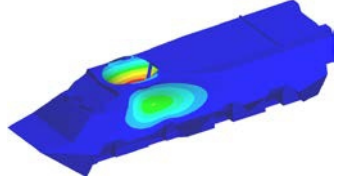

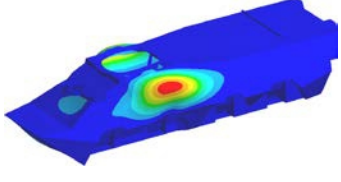
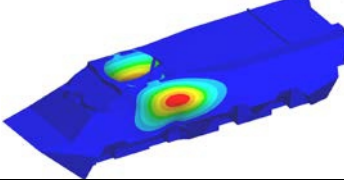
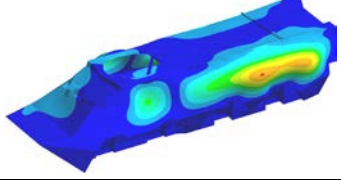
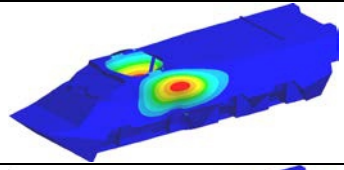
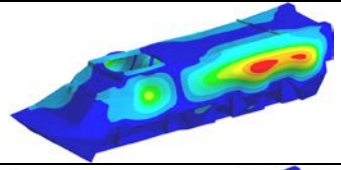
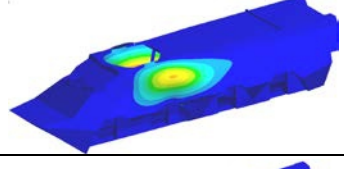
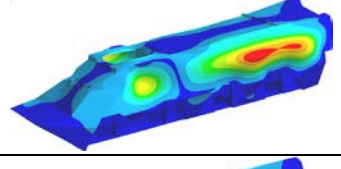
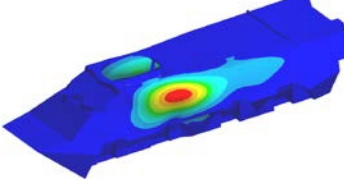
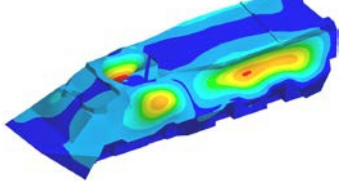
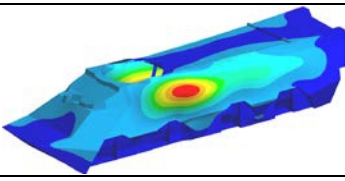
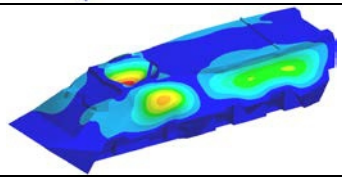
	6	7	8	9	10
	-0,25	-0,125	0	0,125	0,25
1	16,301	17,179	17,953	18,644	19,268
2	20,877	23,669	25,931	27,572	28,797
3	24,841	26,626	28,113	29,395	30,521
4	25,938	27,552	29,369	31,471	33,581
5	26,785	30,769	33,21	35,064	37,044
6	27,158	31,125	34,744	38,564	41,745
7	29,192	31,335	34,967	38,657	42,471
8	29,844	33,645	37,237	40,607	43,876

Рисунок 5 – Карта собственных частот (одинаковый цвет – одна и та же собственная форма) бронекорпуса БТР-3

Продолжение таблицы 1

8 мм		8 мм	
9 мм		9 мм	
10 мм		10 мм	
<i>3-я собственная частота</i>		<i>4-я собственная частота</i>	
6 мм		6 мм	
7 мм		7 мм	
8 мм		8 мм	
9 мм		9 мм	
10 мм		10 мм	
<i>5-я собственная частота</i>		<i>6-я собственная частота</i>	
6 мм		6 мм	

Продолжение таблицы 1

7 мм		7 мм	
8 мм		8 мм	
9 мм		9 мм	
<i>5-я собственная частота</i>		<i>6-я собственная частота</i>	
10 мм		10 мм	
<i>7-я собственная частота</i>		<i>8-я собственная частота</i>	
6 мм		6 мм	
7 мм		7 мм	
8 мм		8 мм	
9 мм		9 мм	
10 мм		10 мм	



Таким образом, модельный пример варьирования толщины панелей бронекорпуса БТР-3 демонстрирует возможность управления спектром его собственных частот колебаний. Отсюда следует и принципиальная возможность решения задачи (8).

**Заключение.** В работе обоснована возможность реализации в бронекорпусах легкобронированных машин обычных и ударных резонансов при осуществлении стрельбы из штатного скорострельного артиллерийского вооружения. Построены разрешающие соотношения для обнаружения возможных резонансных режимов, а также математически формализована задача отстройки от этих режимов путем изменения конструктивного исполнения толщин бронепанелей и свойств материала элементов бронекорпусов. На ряде примеров продемонстрирована возможность управления спектром собственных частот колебаний бронекорпуса за счет варьирования конструкции. Полученные результаты служат основой для реализации в дальнейшем полной оптимизационной постановки задачи синтеза по критерию отстройки от резонансных режимов при проектировании бронекорпусов легкобронированных машин с обеспечением их высоких тактико-технических характеристик.

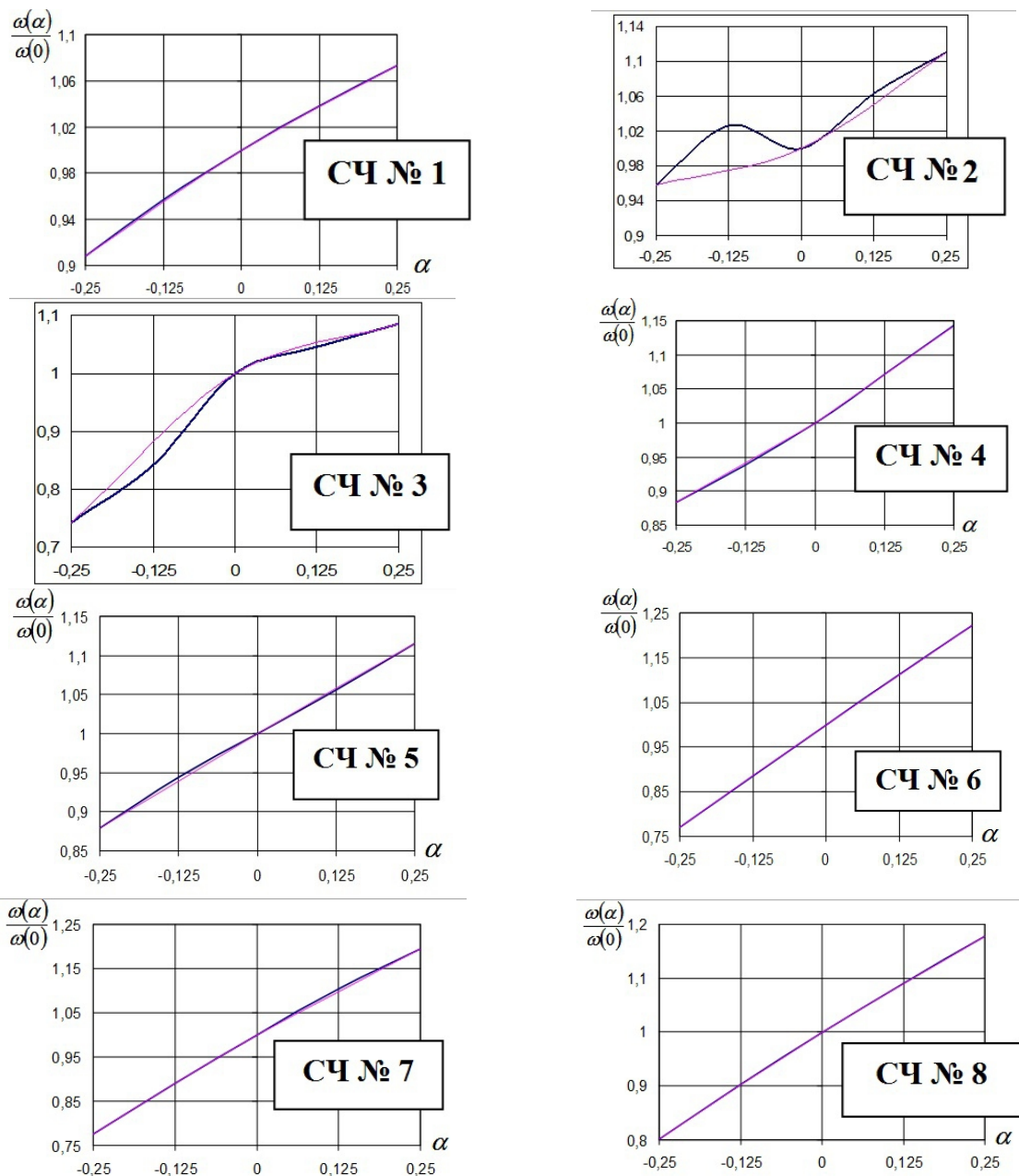


Рисунок 6 – Собственные частоты (СЧ) колебаний бронекорпуса БТР-3, отнесенные к значениям СЧ с базовым значением толщины панелей (8 мм), в зависимости от степени утонения/утолщения этих панелей

Литература

1. Конструкция и расчет танков и БМП. Учебник / В.А. Чобиток, Е.В. Данков, Ю.Н. Брижинеv и др. – М.: Военное издательство, 1984. – 376 с.
2. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 541 с.
3. Бабаков И.М. Теория колебаний / И.М. Бабаков. – М.: Дрофа. – 2004. – 591 с.
4. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний / Я.Г. Пановко. – М.: Наука, 1971. – 240 с.

Bibliography (transliterated)

1. Konstruktsiya i raschet tankov i BMP. Uchebnik. V.A. Chobitok, E.V. Dankov, Yu.N. Brizhinev i dr. – М.: Voennoe izdatelstvo, 1984. – 376 p.
2. Zenkevich O. Metod konechnyih elementov v tehnikе. O. Zenkevich. – М.: Mir, 1975. – 541 p.
3. Babakov I.M. Teoriya kolebaniy, I.M. Babakov. – М.: Drofa. – 2004. – 591 p.
4. Panovko Ya.G. Vvedenie v teoriyu mehanicheskikh kolebaniy. Ya.G. Panovko. – М.: Nauka, 1971. – 240 p.

УДК 623.438: 539.3

Ткачук М.А., Веретенников О.І., Бруль С.Т., Грабовський А.В., Литвиненко О.В.

**УДАРНІ РЕЗОНАНСИ У БРОНЕКОРПУСАХ ВІЙСЬКОВИХ ГУСЕНИЧНИХ  
ТА КОЛІСНИХ МАШИН ПРИ ЗДІЙСНЕННІ СТРІЛЬБИ**

У статті поставлено задачу про вплив циклічних імпульсних навантажень на бронекорпуси легкоброньованих машин як динамічні системи із розподіленими масово-жорсткісними параметрами. Установлені умови настання у таких системах ударних резонансів.

Tkachuk M.A., Veretennikov A.I., Brul S.T., Grabovskiy A.V., Litvinenko A.V.

**SHOCK RESONANCES IN HULLS OF MILITARY CATERPILLAR AND WHEELED VEHICLES IN  
FIRING REALIZATION**

In this paper an effect of cyclic pulse loads on lightly armored vehicles hulls is tasked. These hulls are considered as dynamical systems with distributed mass-rigidity parameters. Conditions for shock resonance onset are established in such systems.

УДК 623.438: 539.3

Литвиненко А.В., Вакуленко В.В., Ткачук Н.А., Бруль С.Т., Магерамов Л.К.-А.

### ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРОЧНОСТНЫХ, ЖЕСТКОСТНЫХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БРОНЕКОРПУСОВ НА ВАРЬИРОВАНИЕ ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

**Введение.** Обеспечение прочностных и жесткостных свойств бронекорпусов напрямую связано с достижением тех или иных тактико-технических характеристик (ТТХ) легкобронированных машин. В ряде работ [1–3] установлено, что при возмущении проектно-технологических параметров, в частности, толщин панелей в различных проекциях, компоненты напряженно-деформированного состояния (НДС) с удовлетворительной точностью могут быть представлены в виде линейных функций от изменений этих параметров.

**Анализ чувствительности вибрационных характеристик к варьированию проектно-технологических параметров.** Возбуждение динамических процессов в бронекорпусах легкобронированных машин приводит к перераспределению напряжений и деформаций в исследуемой конструкции при варьировании толщин. При этом существуют особые, резонансные режимы нагружения, при наступлении которых реализуются нарастающие во времени колебательные процессы. Скорость нарастания перемещений и напряжений во многом зависит от уровня демпфирования в системе и близости возбуждающих частот к собственным частотам колебаний. Это с одной стороны. С другой стороны, важна степень возбудимости той или иной собственной формы колебаний внешней нагрузкой.

В отношении бронекорпусов, особенно легкобронированных машин, задача отстройки от резонансных режимов особенно актуальна. Это объясняется сближением и частичным перекрытием спектром частот возбуждающих сил спектра собственных частот колебаний. На рис. 1 приведены эти тенденции в условном изображении зависимости амплитуд  $A$  от частот  $\omega$ .

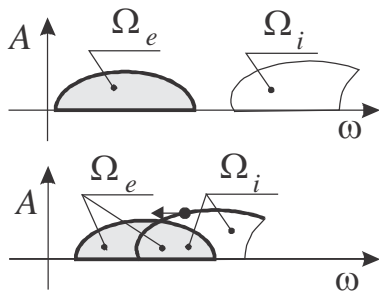


Рисунок 1 – Тенденции изменения спектров возмущающих нагрузок  $\Omega_e$  и собственных частот колебаний для бронекорпусов боевых машин тяжелой (вверху) и легкой категории по массе (внизу)  $\Omega_i$

Показано, что для машин тяжелой категории по массе более характерным является сильное превышение нижнего уровня спектра собственных частот колебаний  $\Omega_i$  над верхним уровнем спектра частот возбуждения  $\Omega_e$ . Если же и происходит их некоторое перекрытие, то на верхних частотах возбуждения, для которых возбудимость низких форм собственных колебаний невысока. Таким образом, требование обеспечения пассивной защищенности у тяжелых машин заведомо покрывает проблемы вибровозбудимости.

Наоборот, для легкобронированных машин такая проблема порождается как раз тонкостенностью, с одной стороны, и установкой скорострельных артиллерийских систем – с другой. Темп их стрельбы может достигать сотен и даже десятков сотен выстрелов в минуту, что обуславливает наличие возбуждающих частот от единиц до десятков Герц. Кроме того, в спектре временных распределений внешних сил присутствуют и частоты, кратные частоте осуществления выстрелов. Следовательно, необходимо учитывать также частоты до 100 Гц и выше (т.е. гораздо правее на оси частот (см. рис. 1), чем у тяжелых машин). При этом избежать ситуации перекрытия в принципе невозможно, т.к. собственные частоты колебаний тонкостенных конструкций по сравнению с массивными элементами тяжелых машин имеют тенденцию к снижению (т.е. смещению влево, см. рис. 1).

**Постановка задачи.** В результате возникает проблема отстройки собственных частот колебаний бронекорпусов  $\omega_i$  от частот возбуждения  $\omega_s$  за счет варьирования некоторых проектно-технологических параметров:

$$|\omega_i(p) - \omega_s^*| \geq \Delta_{is}, \quad i = 1, 2, \dots; s = 1, 2, \dots, N_e,$$

где  $\Delta_{is}$  – некоторый порог отстройки из условия ограничения амплитуды  $A$  (рис. 2).

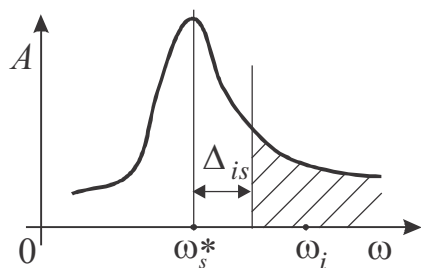


Рисунок 2 – К задаче отстройки от резонансных режимов

Проблема усложняется тем, что с варьированием параметров  $p_{var}$  сложным образом изменяются жесткостные и инерционные характеристики бронекорпусов как конструкций с распределенными параметрами. В свою очередь, это приводит к тому, что разные частоты из спектра собственных частот колебаний по-разному реагируют на изменение отдельных параметров. В результате при варьировании множества частот в каких-то своих диапазонах изменения собственные частоты совершают сложные «миграции»: часть из них растет, часть – уменьшается, некоторые практически неизменны по сравнению с некоторым «базовым» вариантом бронекорпуса с набором «номинальных» параметров. Более того, картина может меняться при изменении набора варьируемых параметров, причем неочевидным и труднопрогнозируемым образом.

Таким образом, получаем в итоге достаточно сложную задачу обоснования параметров бронекорпуса по критерию отстройки от резонансного режима, представляющую собой в общей постановке задачу нелинейного программирования. Для ее решения возможно применение разнообразных методов оптимизации. В свою очередь это предполагает неоднократное решение отдельных задач анализа.

**Метод решения задачи.** Определение динамических, также как прочностных и жесткостных характеристик элементов машиностроительных конструкций [4–17], в настоящее время осуществляется, как правило, при помощи численных методов. В частности, особое и преимущественное положение среди них занимает метод конечных элементов [18, 19]. Он обладает многими положительными качествами, в том числе возможностью моделировать напряженно-деформированное состояние, собственные частоты и формы колебаний (СЧФК) сложных машиностроительных конструкций. При этом не встречаются принципиальных затруднений ни учет сложной геометрической формы, ни неоднородностей свойств материалов или их анизотропии, а также других факторов. В классическом случае для любой из поставленных задач по разработанным технологиям [18, 19] осуществляется дискретизация математической модели процесса или состояния объекта исследований, формирование системы разрешающих уравнений и производится ее решение. В результате определяются, например, искомые поля распределений компонент НДС или, как в рассматриваемом случае, наборы СЧФК и т. п.

Однако в традиционном случае получается только единичный вариант расчета той или иной конструкции с изначально заданными параметрами (геометрическая форма и размеры, физико-механические свойства материалов, нагрузки и т. д.). В развитие этих возможностей многие программные продукты (ANSYS Workbench, NX Nastran, Abaqus и т. п.) [www.ansys.com, www.3ds.com, www.plm.automation.siemens.com] оснащаются инструментами параметрического анализа и синтеза исследуемых конструкций по критериям их прочности, жесткости или динамических свойств. Эти инструменты реализуют процедуры типа «черного» или «белого» ящика. Речь идет о вычислении по итогам некоторого количества расчетов СЧФК зависимостей динамических, прочностных или жесткостных характеристик от изменяемых параметров исследуемого объекта либо о его локальной чувствительности к варьированию этих параметров. Это дает возможность проводить процедуры синтеза или хотя бы оценивать эффективность влияния различных изменений параметров на интересующие свойства проектируемой машиностроительной конструкции.

Необходимо отметить, что приемы с применением «черного» и «белого» ящиков имеют определенные недостатки. В первом случае это необходимость проведения множества расчетов СЧФК, по результатам которых определяются либо значения критериальных функций, либо их производных по тем или иным параметрам. Во втором случае определяется массив характеристик чувствительности [5–10], то есть «градиент» функции отклика, однако определенный только в одной точке параметрического пространства, что зачастую не отражает тенденций изменения критериальных функций во всем диапазоне параметров, от которых они зависят.

В связи с этим представляется целесообразным использование технологии «серого» ящика, то есть привлечение в ходе исследований дополнительной информации о характере поведения той или иной критериальной функции. В частности, представляет интерес определение зависимости динамических, а также прочностных и жесткостных характеристик бронекорпусов как тонкостенных элементов машиностроительных конструкций от распределений толщин их бронепанелей по различным проекциям конструкции, причем с учетом варьирования этих распределений. С этой целью целесообразно соединить возможности конечно-элементного анализа, с одной стороны, и достаточно простого алгоритма аналити-



ческого вычисления результатов расчета собственных частот и форм колебаний при произвольном варьировании толщин (с использованием ограниченного числа базовых расчетов), – с другой. Данный подход позволяет сводить задачу оптимизации в общей формулировке к последовательности более простых задач.

Такую постановку задачи, которая первым этапом предполагает определение чувствительности динамических характеристик к изменению параметров, рассмотрим на примере толщин панелей бронекорпусов и поперечных сечений элементов внутренней структуры усиления. При этом полагается, что уже осуществлен переход от континуальной к дискретной формулировке задачи. Иными словами, получаем уже дискретизированную систему с обобщенными координатами  $x = \{x_1, \dots, x_{N_e}\}^T$ , для описания свободных движений которой можно применить технологию формирования уравнений Лагранжа II рода:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{x}_i} \right) - \frac{\partial \Pi}{\partial x_i} = 0; \quad T = \dot{x}^T M \dot{x}; \quad \Pi = x^T K x, \quad i = 1, \dots, N_e,$$

где  $T$ ,  $\Pi$  – кинетическая и потенциальная энергии системы как функции обобщенных скоростей и координат соответственно, определяемые через матрицы масс  $M$  и жесткости  $K$ . Предполагая для малых колебаний независимость  $K$ ,  $M$  от  $\dot{x}$ ,  $x$ , уравнения малых колебаний можно представить в виде:

$$M \ddot{x} + Kx = 0.$$

Частные решения этого уравнения имеют вид:  $x = \lambda \sin \omega t$ , где  $\lambda$  – некоторая форма колебаний, тогда из него получаем

$$(M - \omega^2 K) \cdot \lambda = 0. \tag{1}$$

Если в качестве способа дискретизации выбрать метод конечных элементов (МКЭ) [18, 19], то система уравнений (1) сводится к анализу свойств конечно-элементных моделей бронекорпусов.

Таким образом, исследуется задача конечно-элементного анализа собственных частот и форм колебаний пластинчато-стержневых пространственных конструкций, моделируемых Shell-элементами [www.ansys.com]. При этом распределение толщин по Shell-«скелету» конечно-элементного ансамбля является изменяемым. Эта изменяемость может быть виртуальной (например, вследствие изменения распределения толщин различных элементов конструкции на этапе проектных разработок исходя из тех или иных соображений), согласованной (как пример – на этапе технологической подготовки производства изделия вследствие компромиссных согласований между проектантами и технологами), вынужденной (на этапе производства вследствие разброса толщин поставляемого на предприятие-изготовитель материала), случайной (в ходе эксплуатации в условиях воздействия множества факторов стохастического характера: коррозионное деградирование, механический износ, наплавка и наварка материала при ремонте и т.п.). В любом случае все эти процессы можно с точки зрения влияния на конечно-элементную модель исследуемого объекта характеризовать следующим образом: на начальном этапе имеется некоторый ее базовый (начальный) вариант с установлением номинального распределения толщин; на последующих этапах производится незначительное изменение номинальных толщин в сторону их уменьшения или увеличения (либо целенаправленное варьирование, либо детерминированное или случайное уменьшение/увеличение).

С учетом отмеченных обстоятельств задачи определения собственных частот и форм колебаний при помощи МКЭ можно сформулировать в общем виде следующим образом:

$$\text{Det} \left( K(h) - \omega^2 M(h) \right) = 0. \tag{2}$$

Здесь  $K(h)$ ,  $M(h)$  – матрицы жесткости и масс конечно-элементного ансамбля, зависящие от распределения толщин, задаваемого массивом  $h$  толщин  $h_k$  ( $k = 1, \dots, N_e$  – номера конечных элементов);  $\omega^2$  – искомые собственные частоты колебаний.

Рассмотрим, не снижая общности, процесс изменения толщин  $h_k$  на примере варьирования толщины поверхностных слоев элементов конструкции бронекорпуса в сторону их уменьшения:

$$h_k = h_k^0(1 - \alpha_k), \quad k = 1, \dots, N_e. \quad (3)$$

В выражении (3)  $h_k^0$  – массив номинальных толщин, а  $\alpha_k \in [0;1)$  – безразмерный коэффициент (интенсивность утонения). Распределение  $\alpha_k$  задает «карту утонения», т.е. распределение интенсивностей утонения по Shell-«скелету» конечно-элементного ансамбля. Тогда, учитывая, что  $\alpha_k \ll 1$ , можно поставить задачу следующим образом: как при варьировании распределений интенсивности утонения  $\alpha = \{\alpha_k\}^T$  изменяется решение задачи (2) в окрестности  $\alpha = 0$ , то есть определение зависимостей

$$\omega_i^2 = \omega_i^2(\alpha), \quad (4)$$

где  $i = 1, 2, \dots$  – номера собственных частот колебаний, являющихся корнями уравнений (2).

Другими словами, предлагается установить параметрическую зависимость изменений решений задач (2) при малом варьировании (т.е. изменении интенсивностей утонений/утолщений) по сравнению с номинальным вариантом конструкции (в данном случае – исходным).

Спектр собственных частот  $\omega_i$ , как отмечалось, определяется как набор положительных корней (2). Естественно, что базовыми возмущаемыми величинами являются матрицы  $K, M$ . Рассмотрим их изменения и влияния на решения (2) на примере утонения элементов исследуемого объекта. Тогда введем в рассмотрение операцию сборки  $O$ , которая по координатам узлов (т.е. матрице координат  $U$ ) и матрице элементов  $C$  (т.е. списку узлов, входящих в образуемые ими КЭ) производит формирование матриц  $K$  и  $M$ :

$$K = O(k^e), \quad e = 1, \dots, N_e, \quad M = O(m^e), \quad e = 1, \dots, N_e, \quad (5)$$

где  $k^e, m^e$  – матрицы жесткости и масс отдельных конечных элементов, число которых в ансамбле  $N_e$  [11, 18].

Операция  $O$  как бы «наслаивает» в соответствующих ячейках матриц  $K$  и  $M$  влияние от всех конечных элементов. Проанализируем влияние изменений свойств отдельных элементов на компоненты  $k^e, m^e$ , а затем, проведя операцию сборки, оценим общий эффект на матрицах  $K, M$ .

Рассмотрим, следуя работе [17], подход к решению задачи. В частности, как следует из этой работы, элементы матриц жесткости и масс будут состоять из двух компонент:

$$k_{ij} = k_{ij}^{(0)} - \alpha^e k_{ij}^{(e)}, \quad m_{ij}^{(e)} = m_{ij}^{(0)} - \alpha^e m_{ij}^{(e)}, \quad (6)$$

т.е. текущее состояние определяется в зависимости от коэффициента  $\alpha^e = \alpha^e(t)$ . При этом данный коэффициент может меняться от узла к узлу, может быть разным для масс и жесткостей в одном узле. Важной особенностью является то, что при  $\alpha \ll 1$  компоненты матриц  $K$  и  $M$  состоят из 2-х слагаемых: первая соответствует компонентам «номинальных» матриц  $K, M$  (т.е.  $K(0), M(0)$ ), а вторая образуется путем операции сборки из матриц, все компоненты которых являются линейными комбинациями «номинальных» матриц с малыми коэффициентами  $\alpha$ . Тогда:

$$K(\alpha) = K_0 - K'_0, \quad (7)$$

$$M(\alpha) = M_0 - M'_0. \quad (8)$$

Здесь в  $K_0, M_0$  сосредоточены компоненты, не зависящие от  $\alpha$ , а в  $K'_0, M'_0$  – зависящие от них линейно.

**Изменение собственных частот колебаний конструкции.** Обращаясь к задаче анализа спектра частот собственных колебаний (2), рассмотрим сначала задачу поиска квадрата первой (низшей) собственной частоты как абсолютного минимума функции Рэлея  $R$  [16]:

$$\omega_1^2 = \min R = \min \left\{ \frac{\sum K_{ij} y_i y_j}{\sum M_{ij} y_i y_j} \right\}. \quad (9)$$

Здесь  $K_{ij}, M_{ij}$  – компоненты матриц  $K$  и  $M$ , а  $y_k$  – компоненты пробных распределений, приближающих первую собственную форму колебаний  $A$  с компонентами  $A_k$ .

Находя достаточно хорошее приближение  $\omega_1^2(\alpha)$ , можно использовать то обстоятельство [16], что сама собственная частота, определяемая по функции Рэлея, при изменении формы  $A$  отклоняется от точного значения незначительно. В силу этого при малых  $\alpha$  можно не делать различий между формами  $A(0)$  и  $A(\alpha)$ . Тогда

$$\omega^2(\alpha) = \omega_0^2 \left( 1 - \frac{\sum_{i,j} K'_{ij} A_i A_j}{\sum_{i,j} K^0_{ij} A_i A_j} \right) / \left( 1 - \frac{\sum_{i,j} M'_{ij} A_i A_j}{\sum_{i,j} M^0_{ij} A_i A_j} \right), \quad (10)$$

где  $\omega_0^2 = \frac{\sum_{i,j} K^0_{ij} A_i A_j}{\sum_{i,j} M^0_{ij} A_i A_j}$ , можно сделать вывод, что по сравнению с неутоненной конструкцией нижняя собственная форма колебаний либо растет, либо уменьшается, либо остается неизменной в зависимости от скоростей роста числителя и знаменателя (10). Переписав для малых  $\alpha$  последнее выражение в виде:

$$\omega^2(\alpha) \approx \omega_0^2 (1 - \delta_K)(1 + \delta_M), \quad (11)$$

где  $\delta_K, \delta_M$  – отношения значений билинейных форм, вычисляемых для возмущений, вызванных утонением, и для базового неутоненного варианта (соответственно, для матриц  $K$  и  $M$ ), можно принять

$$\omega^2(\alpha) \approx \omega_0^2 (1 - \delta_K + \delta_M); \quad \omega(\alpha) \approx \omega_0 (1 - (\delta_K - \delta_M) / 2). \quad (12)$$

Учитывая, что  $\delta_K, \delta_M$  линейно зависят от параметров  $\alpha$ , то и  $\omega^2$ , и  $\omega$  имеют приблизительно линейную зависимость от степени утонения элементов машиностроительных конструкций. При этом, поскольку для определения более высоких частот колебаний с использованием функции Рэлея ищется ее условный экстремум на формах, ортогональных предшествующим, то вместо задачи минимизации получаем последовательность минимаксных задач. При этом, однако, вид самой функции Рэлея сохранится, и все выкладки сохранятся теми же. При малых  $\alpha$  останутся справедливыми те же оценочные соотношения (11), (12), однако входящие в них величины  $\delta_K, \delta_M$  изменятся, в силу чего может измениться и тенденция «миграции» той или иной частоты в спектре исследуемого объекта.

Полученные соотношения дают возможность построить линеаризованные аппроксимационные зависимости

$$\omega(p_1(1-\alpha_1), \dots, p_i(1-\alpha_i) \dots p_N(1-\alpha_N)) = \omega_0 - \sum_j \alpha_j \cdot \frac{\omega(\alpha_j^*) - \omega_0}{\alpha_j^*}. \quad (13)$$

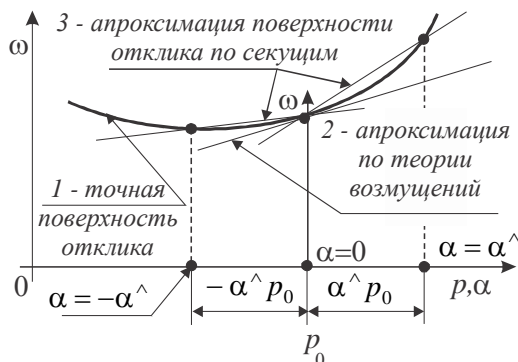


Рисунок 3 – Аппроксимация поверхности отклика

предлагается ее аппроксимировать пучком секущих 3.

В отличие от [1], в данной работе предлагается, во-первых, для случая многомерного параметрического пространства, использовать для аппроксимации не гиперплоскости, а набор лепестков по каждому гиперквадранту в системе координат  $\alpha_1 \dots \alpha_N$ , причем изменять набор «реперных» решений для форми-

Здесь  $\alpha_{(j)}^* = \{0, \dots, \alpha_j^*, 0, \dots, 0\}^T$  – набор нулевых  $\alpha$  с ненулевым изменением на предельную величину возможного варьирования  $j$ -го компонента этого массива  $\alpha_j^*$ ;  $\omega(\alpha_{(j)}^*)$  – точное решение задачи определения собственных частот колебаний бронекорпуса (следуя работе [1], данные решения называются «реперными»).

Полученное представление дает возможность применить «конечно-разностные» значения чувствительностей вместо «дифференциальных», т.е. вместо приближения (согласно теории возмущений) поверхности отклика 1 (рис. 3) касательной 2

рования характеристик чувствительности при изменении базовой точки  $B$  (рис. 4).

Получается, таким образом, «плавающий» набор реперных решений, т.е. поверхности отклика изменяют свою конфигурацию при переходе, например, из точки  $B_1$  в точку  $B_2$  (см. рис. 4). Естественно, что такую операцию уместно осуществлять не на каждом шаге уточнения решения, а через некоторое их количество. Этим самым повышается степень «локальной прозрачности серого ящика».

Таким образом, предложенный прием отличает данный метод аппроксимации от использованного в [1] еще и тем, что изменяется не только текущее положение точки  $B$  (т.е. набора номинальных параметров  $P$ , в окрестности которых осуществляется аппроксимация поверхности отклика), но и величины шага  $\alpha^{\wedge}$ . В результате в (13) эти величины являются варьируемыми, тогда как в [1] они – константы. Другими словами, степень прозрачности увеличивается в той части "серого ящика", куда перемещается текущее итерационное приближение искомого решения задачи синтеза.

Для решения полученной задачи отстройки, таким образом, можно применить алгоритмы линейного программирования, т.к. и целевая функция, и ограничения приобретают линейный вид. При этом предложенные усовершенствования при формировании аппроксимационных представлений функции отклика (13) еще больше повышают точность вычислений.

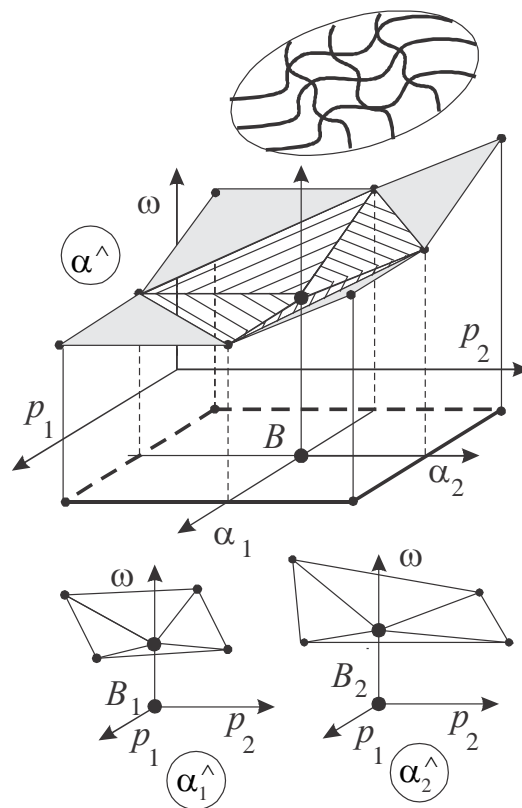


Рисунок 4 – К аппроксимации поверхности отклика с «плавающим» набором реперных решений

**Заключение.** Анализ полученных и описанных в работе результатов дает основание сделать следующие выводы.

1. В работе расширен подход к решению задач синтеза проектно-технологических решений, обеспечивающих заданные составляющие комплекса тактико-технических характеристик. Он состоит в развитии метода обобщенного параметрического моделирования процессов и состояний бронекорпусов путем дополнения параметрического пространства технологическими режимами и условиями производства, оказывающими существенное влияние на достижение тех или иных конструктивно заложенных ГТХ в реальном изделии – боевой машине.

2. Задача отстройки от резонансных режимов путем обоснования проектно-технологических решений и параметров бронекорпусов поставлена как задача нелинейного программирования. Далее на основе применения нового подхода с использованием технологии «серого ящика» эта задача сводится к определению чувствительности на основе решения серии пробных задач при конечном варьировании парамет-

ров. Получаемый набор «реперных» решений дает основу для сведения задачи к серии задач линейного программирования. Этим достигается соединение преимуществ традиционных технологий «белого ящика» и «черного ящика», в то же время устраняются их недостатки – значительная погрешность и ресурсозатратность соответственно.

3. В дополнение к традиционным подходам предложено использовать «лепестковую» структуру поверхности отклика и «плавающий» набор реперных решений, что увеличивает точность вследствие локализации аппроксимационных поверхностей в тех подобластях, куда перемещается текущее итерационное приближение искомого решения задачи синтеза, причем аппроксимация осуществляется на все более сжимающейся окрестности текущей точки параметрического пространства. В результате достигается увеличение степени "прозрачности серого ящика" не повсюду, а локализовано, что еще более повышает точность аппроксимации действительной поверхности отклика. В конечном счете получаемый метод сочетает и точность, и экономность, которые существенно превышают свойства традиционных методов.

В дальнейшем предложенный подход будет использован при решении прикладных задач обеспечения тактико-технических характеристик современных легкобронированных машин путем обоснованного выбора проектно-технологических параметров.

#### Литература

1. Танченко А.Ю. Методы расчета напряженно-деформированного состояния тонкостенных конструкций при изменении толщины в процессе эксплуатации: дис... кандидата техн. наук: 05.02.09 – динамика и прочность машин / Танченко Андрей Юрьевич. – Харьков, 2013. – 209 с.
2. Танченко А.Ю. Динамические и прочностные характеристики тонкостенных элементов машиностроительных конструкций при уменьшении толщины в процессе эксплуатации / А.Ю. Танченко, Н.А. Ткачук, И.В. Артемов, А.В. Литвиненко // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: А.А. Дюжев [и др.]. – 2013. – Вып.2. – С. 210–213.
3. Ткачук Н.А. Линеаризация функции отклика прочностных и динамических характеристик тонкостенных конструкций на изменение толщины / Н.А. Ткачук, А.В. Литвиненко, Ю.В. Костенко, А.Ю. Танченко, А.В. Грабовский // Вісник НТУ «ХП». Зб. наук. праць. Серія: Транспортне машинобудування. – Х. : НТУ «ХП», 2014. – №14 (1057). – С. 138–154.
4. Карманов В.Г. Математическое программирование: Учеб. пособие. — 5-е изд., стереотип. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 264 с.
5. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики / Г.И. Марчук. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1980. – 536 с.
6. Гузь А.Н. Метод возмущения формы границы в механике сплошных сред / А.Н. Гузь, Ю.Н. Немиш. – К.: Вища школа, 1989. – 352 с.
7. Штейнвольф Л.И. Динамические расчеты машин и механизмов. М.– К.: МАШГИЗ, 1961. – 340 с.
8. Симсон Э.А. Методика анализа чувствительности вибрационных параметров механических систем / Э.А. Симсон, С.А. Назаренко, М. В. Трохман // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2/4 ( 32 ). – 2008. – С. 44–47.
9. Голоскоков Е.Г. Нестационарные колебания механических систем / Е.Г. Голоскоков, А.П. Филиппов. – К.: Наукова думка, 1966. – 335 с.
10. Гринев В.Б. Оптимизация стержней по спектру собственных значений / В.Б. Гринев, А.П. Филиппов. – К.: Наук. думка, 1979. – 211 с.
11. Fish J. A First Course in Finite Elements PDF / J. Fish, T. Belytschko. – John Wiley & Sons Ltd, 2007. – 336 p.
12. Долинский В.М. Изгиб тонких пластин, подверженных коррозионному износу / В.М. Долинский // Динамика и прочность машин. – 1975. – Вып. 21. – С. 43–49.
13. Долинский В.М. Расчет элементов конструкций, подверженных равномерной коррозии / В.М. Долинский // Деформирование материалов и элементов конструкций в агрессивных средах. – Саратов, 1983. – С. 61–67.
14. Пронина Ю.Г. Оценка долговечности упругой трубы под действием продольной силы и давления в условиях равномерной поверхностной коррозии / Ю.Г. Пронина // Деформация и разрушение материалов. – 2009. – № 2. – С. 41–44.

15. Пронина Ю.Г. Расчет долговечности упругой трубы под действием продольной силы, давления и осесимметричного нагрева в условиях равномерной коррозии / Ю.Г. Пронина // Проблемы прочности и пластичности. – 2009. – Вып. 71. – С. 129–135.
16. Бабаков И.М. Теория колебаний. – М.: Наука, 1968. – 560 с.
17. Танченко А.Ю. Влияние толщины панелей на спектр собственных частот колебаний корпусов транспортных средств специального назначения / А.Ю. Танченко // Вісник НТУ «ХП». Зб. наук. праць. Серія: Машинознавство та САПР. – Харків : НТУ «ХП», 2013. – №23 (996). – С. 138–145.
18. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 541 с.
19. Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности / К. Васидзу. – М.: Мир, 1987. – 542 с.

Bibliography (transliterated)

1. Tanchenko A.Yu. Metodyi rascheta napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya tonkostennyih konstruksiy pri izmenenii tolschinyi v protsesse ekspluatatsii: dis... kandidata tehn. nauk: 05.02.09 – dinamika i prochnost mashin. Tanchenko Andrey Yurevich. – Harkov, 2013. – 209 p.
2. Tanchenko A.Yu. Dinamicheskie i prochnostnyie harakteristiki tonkostennyih elementov mashinostroitelnyih konstruksiy pri umenshenii tolschinyi v protsesse ekspluatatsii. A.Yu. Tanchenko, N.A. Tkachuk, I.V. Artemov, A.V. Litvinenko. Aktualnyie voprosyi mashinovedeniya: sb. nauch. tr. Ob'edin. in-t mashinostroeniya NAN Belarusi; redkol.: A.A. Dyuzhev [i dr.]. – 2013. – Vyip.2. – P. 210–213.
3. Tkachuk N.A. Linearizatsiya funktsii otklika prochnostnyih i dinamicheskikh harakteristik tonkostennyih konstruksiy na izmenenie tolschinyi. N.A. Tkachuk, A.V. Litvinenko, Yu.V. Kostenko, A.Yu. Tanchenko, A.V. Grabovskiy. Visnik NTU «HPI». Zb. nauk. prats. SerIya: Transportne mashinobuduvannya. – H. : NTU «HPI», 2014. – #14 (1057). –P. 138–154.
4. Karmanov V.G. Matematicheskoe programmirovaniye: Ucheb. posobie. — 5-e izd., stereotip. – M.: FIZMATLIT, 2004. – 264 p.
5. Marchuk G.I. Metodyi vyichislitelnoy matematiki. G.I. Marchuk. – M.: Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit., 1980. – 536 p.
6. Guz A.N. Metod vozmuscheniya formy granitsyi v mehanike sploshnyih sred. A.N. Guz, Yu.N. Nemish. – K.: Vischa shkola, 1989. – 352 p.
7. Shteynvol'f L.I. Dinamicheskie raschetyi mashin i mehanizmov. M.– K.: MASHGIZ, 1961. – 340 p.
8. Simson E.A. Metodika analiza chuvstvitelnosti vibratsionnyih parametrov mehanicheskikh sistem E.A. Simson, S.A. Nazarenko, M. V. Trohmanp Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovyih tehnologiy. – 2/4 (32). – 2008. – P. 44–47.
9. Goloskokov E.G. Nestatsionarnyie kolebaniya mehanicheskikh system. E.G. Goloskokov, A.P. Filippov. – K.: Naukova dumka, 1966. – 335 p.
10. Grinev V.B. Optimizatsiya sterzhney po spektru sobstvennyih znacheniy. V.B. Grinev, A.P. Filippov. – K.: Nauk. dumka, 1979. – 211 p.
11. Fish J. A First Course in Finite Elements PDF. J. Fish, T. Belytschko. – John Wiley & Sons Ltd, 2007. – 336 p.
12. Dolinskiy V.M. Izgib tonkih plastin, podverzhennyih korrozionnomu iznosu. V.M. Dolinskiy. Dinamika i prochnost mashin. – 1975. – Vyip. 21. – P. 43–49.
13. Dolinskiy V.M. Raschet elementov konstruksiy, podverzhennyih ravnomernoy korrozii. V.M. Dolinskiy. Deformirovaniye materialov i elementov konstruksiy v agressivnyih sredah. – Saratov, 1983. – S. 61–67.
14. Pronina Yu.G. Otsenka dolgovechnosti uprugoy trubiy pod deystviem prodolnoy silyi i davleniya v usloviyah ravnomernoy poverhnostnoy korrozii. Yu.G. Pronina. Deformatsiya i razrusheniye materialov. – 2009. – # 2. – P. 41–44.
15. Pronina Yu.G. Raschet dolgovechnosti uprugoy trubiy pod deystviem prodolnoy silyi, davleniya i osesimmetrichnogo nagreva v usloviyah ravnomernoy korrozii. Yu.G. Pronina. Problemyi prochnosti i plastichnosti. – 2009. – Vyip. 71. – P. 129–135.
16. Babakov I.M. Teoriya kolebaniy. – M.: Nauka, 1968. – 560 p.

17. Tanchenko A.Yu. Vliyanie tolschinyi paneley na spektr sobstvennyih chastot kolebaniy korpusov transportnyih sredstv spetsialnogo naznacheniya. A.Yu. Tanchenko. VIsnik NTU «HPI». Zb. nauk. prats. SerIya: Mashinoznavstvo ta SAPR. – HarkIv : NTU «HPI», 2013. – #23 (996). –P. 138–145.

18. Zenkevich O. Metod konechnyih elementov v tehnikе . O. Zenkevich. – М.: Mir, 1975. – 541 p.

19. Vasidzu K. Variatsionnyie metody v teorii uprugosti i plastichnosti. K. Vasidzu.– М.: Mir, 1987.– 542 p.

УДК 623.438: 539.3

Литвиненко О.В., Вакуленко В.В., Ткачук М.А., Бруль С.Т., Магерамов Л.К.-А.

### **ОЦІНКА ЧУТЛИВОСТІ МІЦНІСНИХ, ЖОРСТКІСНИХ І ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БРОНЕКОРПУСІВ НА ВАРІЮВАННЯ ПРОЄКТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ**

У статті описано підхід до визначення чутливості спектра власних частот коливань корпусів легкоброньованих машин до зміни проектно-технологічних параметрів. Встановлено, що в досить широких діапазонах залежності власних частот коливань від змінних параметрів можна лінеаризувати. При цьому забезпечується задовільна точність апроксимації даних залежностей. Це дає можливість застосовувати апроксимаційні залежності при розв'язанні задач обґрунтування проектно-технологічних параметрів бронекорпусів за критеріями забезпечення заданих тактико-технічних характеристик легкоброньованих машин.

Litvinenko A.V., Vakulenko V.V., Tkachuk M.A., Brul S.T., Mageramov L.K.-A.

### **ESTIMATION OF SENSITIVITY OF STRENGTH, RIGIDITY AND DYNAMIC CHARACTERISTICS OF ARMORED HULLS ON VARYING OF DESIGN AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS**

The paper describes an approach to definition of sensitivity spectrum of eigenfrequencies of natural of light armored vehicles to change of design and technological parameters. It is established that dependence of vibration eigenfrequencies from varying parameters can be linearized in a fairly wide ranges. In this satisfactory approximation accuracy of these dependencies is ensuring. This makes it possible to use the approximation depending on the solution of problems of design and rationale of process parameters on the hulls on criteria specified performance characteristics of light armored vehicles.

УДК 623.438: 539.3

Бусяк Ю.М., Ткачук Н.Н., Васильев А.Ю., Литвиненко А.В., Мазур И.В., Данышин Ю.А., Шаталов О.Е.

## ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ И ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЗАЩИЩЕННОСТИ БРОНЕКОРПУСОВ ЛЕГКИХ ПО МАССЕ МАШИН

**Введение.** Как отмечалось в работах, для анализа процессов бронепробития используется множество различных методов и подходов. Одна группа методов ориентирована на исследование самого процесса соударения ударника (снаряда) с защитной плитой или полупространством. При этом записывается полная система уравнений [1, 2]: уравнение состояния; модель для описания зависимости предела текучести от достигнутого уровня пластических деформации, скорости пластических деформаций, плотности материала и температуры; модель формирования разрушений в структуре материала; модель, учитывающая влияние разрушений на предел текучести и модуль сдвига.

Данная система уравнений в принципе аналогична системе уравнений для упруго-пластического формирования [2], однако, поскольку скорости процессов в данном случае гораздо выше, а основным физическим процессом является нарушение сплошности материала, сама структура соотношений гораздо сложнее, причем добавляется новый вид нелинейности – структурная.

**Математическая модель для анализа процессов бронепробития.** При использовании Лагранжева подхода получаем систему уравнений, приведенную далее. В основе подхода лежат уравнения сохранения массы, количества движения и внутренней энергии, а также замыкающее эту систему определяющее соотношение. Рассмотрим особенности пространственно-временной дискретизации при решении перечисленных уравнений, следуя [3–5]:

- уравнение сохранения массы

$$\dot{\rho} + \rho \operatorname{div} \{v\} = 0 \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность, а  $\{v\}$  – вектор скорости точек среды;

- уравнение сохранения количества движения

$$\rho \{\ddot{x}\} = \operatorname{div} [\sigma], \quad (2)$$

где  $\{\ddot{x}\}$  – ускорение, а  $[\sigma]$  – тензор напряжений Коши;

- уравнение сохранения энергии

$$\rho \dot{i} = [\sigma] : [D] + \rho r - \nabla \cdot \{q\}, \quad (3)$$

где  $\dot{i}$  – скорость изменения внутренней энергии,  $[D]$  – тензор деформации скорости;  $r$  – интенсивность объемного теплового источника,  $\{q\}$  – тепловой поток;  $\nabla$  – оператор Гамильтона, « $\cdot$ » – скалярное произведение, а « $:$ » – двойное скалярное произведение.

Для решения задачи воспользуемся методами пространственной и временной дискретизации. В основе пространственной дискретизации лежит метод конечных элементов, в основе временной дискретизации – центральная дифференциальная схема интегрирования первого и второго порядка точности.

Пространственная дискретизация уравнения сохранения количества движения предполагает переход от решения дифференциального уравнения (2) к решению вариационной задачи с выбранными базисными функциями  $\Phi$ :

$$\int_V (\rho \{\ddot{x}\} - \operatorname{div} [\sigma]) \cdot [\Phi] dv = 0, \quad (4)$$

с соответствующими граничными условиями в области  $V$ . С использованием известных процедур метода конечных элементов (МКЭ) решение уравнения (4) сводится к решению дифференциального уравнения



$$[M]\{\ddot{d}\} = \{F_i\} + \{F_e\}. \quad (5)$$

Здесь  $\{\ddot{d}\}$  – вектор узловых ускорений,  $[M]$  – матрица масс, а  $\{F_i\}$ ,  $\{F_e\}$  – векторы внутренних и внешних сил. Аналогично решение уравнения (3) сводится к решению дифференциального уравнения

$$[M^\theta]\{\dot{\theta}\} = \{F_i^\theta\} + \{F_e^\theta\}. \quad (6)$$

Здесь  $\{\theta\}$  – температура,  $[M^\theta]$  – матрица теплоемкостей, а  $\{F_i^\theta\}$ ,  $\{F_e^\theta\}$  – векторы внутренних и внешних тепловых нагрузок.

Вектор внутренних сил

$$\{F_i\} = \int_V [\sigma] : (\nabla[\Phi]) dv \quad (7)$$

получается в результате суммирования внутренних сил для всех элементов, входящих в рассматриваемую систему. Для одного элемента вектор внутренних сил определяется следующим выражением:

$$\{f_i^e\} = \int_{V^e} \{B\}^T \{\bar{\sigma}\} dv. \quad (8)$$

Здесь  $\{B\}$  – производная от функций формы конечного элемента;  $\{\bar{\sigma}\}$  – вектор, составленный из шести компонентов тензора напряжений. Вектор внешних сил  $\{F_e\}$ , который входит в дифференциальное уравнение (5), учитывает распределенные по поверхности тела нагрузки; объемные силы, такие как силы тяжести, контактные силы, реакции связей и другие силы.

Узловые ускорения могут быть определены из уравнения (5) и записаны следующим образом:

$$\{\ddot{d}\} = [M]^{-1} (\{F_i\} + \{F_e\}). \quad (9)$$

Использование центральной дифференциальной схемы интегрирования по времени второго порядка точности позволяет определить значения ускорений, скоростей и перемещений. Скорость деформации определяется как

$$\Delta[\varepsilon] = [D]\Delta t, \quad (10)$$

где  $[D]$  – тензор деформации скорости с компонентами

$$D_{ij} = \frac{1}{2} (\partial v_i / \partial x_j + \partial v_j / \partial x_i) + (\partial v_i / \partial x_j \cdot \partial v_j / \partial x_i).$$

Для дискретизации полученной системы соотношений применяются различные численные методы, в первую очередь, как отмечалось выше, – МКЭ. Получаемая сильно нелинейная задача для решения требует большой объем компьютерных ресурсов.

Также широкое применение находят различные эмпирические формулы для оценки интегральных характеристик бронепробиваемости: глубина внедрения как функция скорости встречи боеприпаса с преградой, предельная скорость для пробивания плиты как функция ее толщины и т. п. В [1, 2] отмечается, что из большого количества эмпирических формул, предназначенных для вычисления глубины внедрения боеприпаса в твердую преграду, наибольшее распространение получили формулы Забудского-Майевскою, Березанская, АНИОН и Жакоб-де-Марра [1, 6, 7]. Формула Забудского-Майевского имеет вид:

$$h = \frac{C}{2\lambda A' d \lg e} \lg \frac{1 + dV_c^2}{1 + dV^2}, \quad (11)$$

где  $C = \frac{G}{d^2} 10^{-3}$  – удельная нагрузка,  $A' = \frac{\pi g A}{4} 10^{-3}$ ,  $e = 2,71828$ ;  $d$  – калибр снаряда;  $g$  – ускорение свободного падения.

Березанская формула имеет вид:

$$h = K_n \frac{G}{d^2} V_c \cos \psi_0. \quad (12)$$

Формула АНИОП (видоизмененная Березанская) –

$$h = A_1 K'_n \frac{G}{d^2} V_c \frac{\cos(n\psi_0)}{\sqrt{\cos \psi_0}}. \quad (13)$$

Здесь  $A, b, K_n, K'_n$  – табулированные коэффициенты, учитывающие свойства среды преграды;  $\lambda, A_1$  – коэффициенты, характеризующие форму головной части боеприпаса;  $G$  – масса боеприпаса;  $V_c, V$  – соответственно начальная и текущая скорости снаряда;  $\psi_0$  – угол встречи боеприпаса с преградой;  $n$  – коэффициент, учитывающий изменение начального угла встречи боеприпаса с преградой ( $1,72 < n < 2,62$ ).

Для оценки толщины пробиваемой броневой преграды на практике широко используется формула Жакоб-де-Марра, по которой можно определить скорость боеприпаса  $V_c = \frac{d^{0,75} L_0^{0,7}}{G^{0,5} \cos \psi_0} K_{br}$ , необходимую для пробивания брони заданной толщины.

Здесь  $G_{br}$  – коэффициент бронепробиваемости (изменяется в пределах  $1600 \leq K_{br} \leq 3000$  и устанавливается экспериментально);  $L_0$  – толщина пробиваемой брони. Следует отметить, что приведенные выше формулы содержат большое количество коэффициентов, учитывающих особенности процесса взаимодействия снаряда с преградой, но не имеющих ясного физического смысла.

Модель Ламберта дает возможность определять остаточную скорость длинных стержней, взаимодействующих с однослойными мишенями, изготовленными из катаной гомогенной броневой стали, в зависимости от скорости соударения и характеристик системы "снаряд-преграда". В модели приняты следующие обозначения:  $M$  – масса снаряда (г),  $L$  – длина снаряда (см),  $D$  – калибр снаряда (см),  $T$  – толщина мишени (см),  $p$  – плотность материала мишени ( $\text{г/см}^3$ ),  $Q$  – угол соударения (град),  $V_L$  – предельная баллистическая скорость (м/с),  $V_r$  – остаточная скорость снаряда (м/с),  $V_s$  – скорость соударения (м/с).

Основные уравнения, описывающие данную модель, имеют вид:

$$z = T \sqrt{D} \sec^{0,75} Q, \quad f(z) = z + e^{-z} - 1 = \sum_{j=2}^{\infty} \frac{(-z)^j}{j!}, \quad M' = p \pi D^3 z / 4,$$

$$a = M / (M + M' / 3), \quad p = 2 + z / 3, \quad V_L = u(L / D)^{0,15} \sqrt{f(z)(D^3 / M)};$$

$$V_r = \begin{cases} 0, & 0 \leq V_s \leq V_L; \\ a(V_s^p - V_L^p)^{1/p}, & V_s > V_L \end{cases}$$

где  $u = 4000$  для мишеней, изготовленных из броневой ( $\rho = 7,85 \text{ г/см}^3$ ) стали, и  $u = 1750$  – для преграды, изготовленной из алюминия ( $\rho = 2,74 \text{ г/см}^3$ );  $p$  – параметр, зависящий от модели снаряда, толщины преграды  $T$  и функции  $z$ ;  $a$  – параметр, зависящий от приближенной массы материала  $M'$  преграды к объему цилиндра, «вырезаемого» проекцией снаряда на нее до соударения.

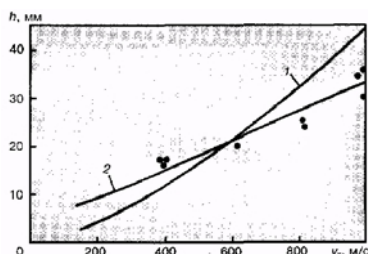


Рисунок 1 – Зависимость бронепробиваемости от скорости соударения (точки – экспериментальные данные):  
1 – модель Жакоб-де-Марра; 2 - модель Ламберта

Приведенные выше модели оценки бронепробиваемости проверены на большом объеме экспериментальных данных по обстрелу преград из гомогенной брони средней и высокой твердости оперенными бронебойно-подкалиберными снарядами. Результаты оценки характеристик бронебойно-подкалиберного снаряда с использованием моделей Жакоб-де-Марра и Ламберта приведены на рис. 1. Как видно, модель Жа-

коб-де-Марра дает зачастую завышенные значения толщин бронепробивания, а Ламберта – заниженные. Однако, в данной работе речь идет именно о тенденциях изменения решений при варьировании проектно-технологических параметров. В этом смысле, стремясь улучшить показатели бронезащищенности, важно правильно отразить тенденции изменения решения. С учетом данного замечания справедливо утверждение, что для достижения результатов для этих задач можно использовать различные модели. Важно лишь, чтобы они аналогично отражали тенденции изменения решения. Та же аргументация относится и к случаю многослойных и разнесенных бронепреград.

В связи с этим предлагается в развитие подходов, предложенных в работах [1–7], привлечь в качестве базовой модели соотношения Жакоб-де-Марра, а на этой основе получить множество 3D диаграмм бронестойкости  $S(p)$ . Элементы этого множества диаграмм относятся к поверхностям  $S$  в пространстве, соответствующим зонам поражения теми или иными снарядами при заданных параметрах  $p$ . Принимая во внимание, что при варьировании  $\Delta p$  поверхность  $S(p)$  трансформируется в поверхность  $S(p + \Delta p)$ , важно получить оценку изменения поверхности, а затем путем варьирования частью проектно-технологических параметров  $P_{var}$  минимизировать снижение характеристик бронезащиты:

$$V^-(S(p), S(p + \Delta p)) \rightarrow \min, \quad (14)$$

где  $V^-$  – объем пространства внутри поверхности  $S(p)$ , ограниченный поверхностью  $S(p + \Delta p)$ .

Можно поставить также обратную задачу

$$V^+(S(p), S(p + \Delta p)) \rightarrow \max, \quad (15)$$

где  $V^+$  – объем пространства вне поверхности  $S(p)$ , но внутри  $S(p + \Delta p)$ .

На рис. 2 представлено некоторое произвольное сечение 3D диаграммы. Естественное условие непрерывности

$$\lim_{\Delta p \rightarrow 0} |V^+(p, \Delta p) - V^-(p, \Delta p)| = 0 \quad (16)$$

дает предпосылки ставить и задачи (15), (16), и любые их комбинации  $P_{var}^* : (\gamma^+ V^+ - \gamma^- V^-) \rightarrow \max,$

где  $\gamma^+, \gamma^-$  – некоторые неотрицательные весовые коэффициенты  $(\gamma^+ + \gamma^-) = 1$ .

Поскольку для бронекорпуса 3D диаграмма бронестойкости представляет собой объединение лепестков от всех бронепанелей, то при варьировании какого-либо из параметров  $P_{var}$  относительно номинального значения получается некоторый набор поверхностей  $S$ , соответствующий множеству наборов  $P_{var}$ . Этот набор можно назвать полидиаграммами  $S(P_{var})$ .

Если имеется некоторый допустимый разброс параметров  $P_{var}$ , вызванный особенностями технологических процессов изготовления (например, глубина обезуглероживания или обезлегирования и т.п.), то задача может ставиться в непревышении уменьшений характеристик бронезащищенности от номинальных при варьировании  $P_{var}$  в допустимом диапазоне  $(\gamma_1 W^+ - \gamma_2 W^-) \leq \Delta, \Delta p \leq \varepsilon$ . Здесь  $W^+, W^-$  – объединение всех  $V^+(P), V^-(P)$ ,  $\Delta; \varepsilon$  – заданные величины отклонений.

Таким образом, независимо от типа моделей, используемых для оценки бронезащищенности, сформулирована задача проектно-технологического обеспечения заданного ее уровня. В то же время для оценочных расчетов зачастую необходимо проводить качественный анализ контактного взаимодействия снаряда как сложнопрофильного тела с бронепреградой при наличии модификации поверхностного слоя либо снаряда, либо бронепанели, либо и первого и второго. Речь идет о слоях, покрывающих сердечник, либо о слоях материала (стали), подвергнутым химико-термической обработке и, как следствие, – обезуглероживанию, обезлегированию, разупрочнению. Если при этом физико-механические свойства материалов отличаются незначительно, то взаи-

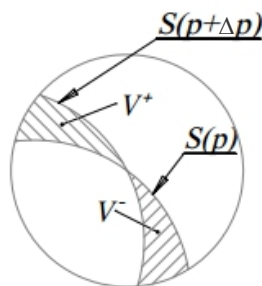


Рисунок 2 – Сечения диаграмм бронестойкости плоскостью объемов  $V^-, V^+$

модействующие тела можно моделировать упругими телами.

**Гранично-элементная формулировка задачи контактного взаимодействия.** В первом приближении начальный этап встречи и контактного взаимодействия снаряда с бронепанелью можно представить в виде контакта двух полупространств. В работе [8] для анализа распределения контактных давлений в сопряжении сложнопрофильных тел, свойства податливости которых в нормальном направлении к поверхности контакта можно аппроксимировать свойствами полупространств, предложено использовать метод граничных интегральных уравнений (МГИУ). Там же представлены основные соотношения, полученные при дискретизации уравнений и неравенств МГИУ с привлечением подхода метода граничных элементов.

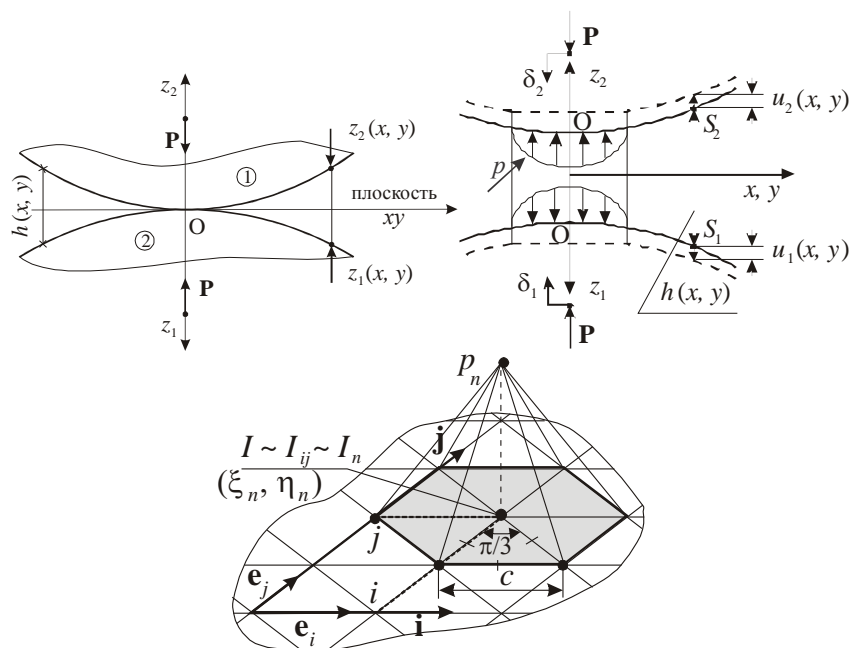


Рисунок 3 – Начальное расположение контактирующих (соприкасающихся при усилии  $P = 0$ ) тел, актуальное их состояние (разнесенный вид поверхностей  $S_1, S_2$ ) и вид базисных функций для аппроксимации контактного давления

Следуя работе [8], для контактирующих тел (рис. 3) можно записать для случая статического, упругого контакта следующую систему соотношений:

$$\begin{cases} u_{z_1}(x, y) + u_{z_2}(x, y) + h(x, y) = \delta_1 + \delta_2, S_1(x, y) \text{ и } S_2(x, y) \text{ – в контакте;} \\ u_{z_1}(x, y) + u_{z_2}(x, y) + h(x, y) > \delta_1 + \delta_2, S_1(x, y) \text{ и } S_2(x, y) \text{ – вне зоны контакта.} \end{cases} \quad (17)$$

Далее, используя известное интегральное соотношение, связывающее давления  $p_i$  и перемещения  $u_i$ , а также учитывая очевидное равенство  $p_1(\xi, \eta) = p_2(\xi, \eta)$ , из (17) получаем:

$$\begin{aligned} u = u_{z_1}(x, y) + u_{z_2}(x, y) &= \left( \frac{1 - \nu_1^2}{\pi E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{\pi E_2} \right) \iint_S \frac{p(\xi, \eta)}{\rho} d\xi d\eta = \\ &= \frac{1}{\pi E^*} \iint_S \frac{p(\xi, \eta)}{\rho} d\xi d\eta. \end{aligned} \quad (18)$$

Здесь  $\nu_i, E_i, i = 1, 2$  – коэффициенты Пуассона и модули упругости материала каждого из контактирующих тел,  $\rho = \sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2}$ . Контактная площадка  $S$  и распределение давлений  $p(\xi, \eta)$ , присутствующие в правой части равенства, как указывается в [8], являются неизвестными и искомыми.

В работе [8] для дискретизации искомого контактного давления  $p$  использовано кусочно-линейное представление его распределения, которому отвечают непрерывные и гладкие поверхностные смещения, характер-

ные для контакта сложнопрофильных тел. Искомая функция контактных давлений приближается суперпозицией массива пирамидальных элементарных распределений, вершины которых расположены в узлах регулярной сетки с шагом  $c$ , состоящей из равносторонних треугольников, и при этом полностью определяется дискретным набором узловых значений давлений  $p_n$  (см. рис. 3).

Подставляя данное представление  $p_n$  в соотношения (18) и удовлетворяя системе (17) в узловых точках построенной сетки граничных элементов, получим:

$$\begin{cases} \sum_m C_{nm} p_m + h_n - \delta = 0, \text{ узел } J_n - \text{ в контакте;} \\ \sum_m C_{nm} p_m + h_n - \delta > 0, \text{ узел } J_n - \text{ вне зоны контакта.} \end{cases} \quad (19)$$

Здесь  $\delta = \delta_1 + \delta_2$  – суммарное сближение;  $h_n = h(x_n, y_n)$  – узловые значения первоначального зазора,  $C_{nm}$  – коэффициенты влияния, определяющие перемещение в узле  $m$  сетки при действии локального линейно распределенного давления со значением  $= 1$  в узле  $n$  и  $p_\psi = 0$ , где  $\psi$  – номера множества узлов, сопредельных узлу  $m$  (см. рис. 3).

Справедливы условия неотрицательности давлений внутри области контакта и обнуление таковых вне этой области:

$$p_m \geq 0, m = 1, \dots, N, \text{ узел } J_m - \text{ в контакте;} p_m = 0, J_m - \text{ вне зоны контакта.} \quad (20)$$

Кроме того, справедливо интегральное равенство силы  $P$  прижатия совокупному воздействию единичных распределений контактных давлений:

$$\sum_m \sqrt{3}c^2 p_m / 2 = P. \quad (21)$$

Система представленных соотношений составляет основу для отыскания гранично-элементарной аппроксимации искомого давления  $p$  и области контактирования  $S$  гладких упругих тел. Единственным ограничением здесь является близость направлений нормалей (с плавным их поворотом при обходе поверхности) контактирующих поверхностей  $S_1, S_2$  тел 1 и 2, а также значительное превышение размерами последних характерных размеров площадки  $S$ .

В работе [8] предложено также расширение соотношений (19)–(21) на случай упругого тела с промежуточным слоем, моделирующим ту или иную модификацию поверхности контактирующих тел (рис. 4).

При этом между перемещениями точек  $u_z^\Sigma$  поверхности  $S'$ , участвующих в описании условий контактного взаимодействия, перемещениями гладкого тела  $u'_z$  и упругого слоя  $u_z^\wedge$ , существует зависимость  $u_z^\Sigma = u'_z + u_z^\wedge$ . В качестве модели этого слоя использовано основание Винклера [9, 10]:  $u_z^\wedge = \lambda p$ , где  $\lambda$  – податливость слоя (или слоев), зависящая от свойств материала поверхностного слоя исследуемого тела. В результате такого представления все соотношения сохраняют свою структуру, однако в качестве коэффициентов матрицы влияния выступают величины  $C_{nm}^\Sigma = C_{nm} + \lambda \delta_{nm}$ . Другими словами, вместо матрицы влияния  $C$  появляется матрица  $C^\Sigma = C + \lambda E$ , где  $E$  – единичная матрица.

Таким образом, в работе [8] на единой основе предложены подходы, модели и разрешающие соотношения для анализа распределения контактных давлений в сопряжении сложнопрофильных гладких и шероховатых тел.

Преимуществами данной методологии перед известными аналитическими и численными методами [11–15], в частности, перед МКЭ и моделью Герца, является широкий спектр решаемых задач и высокая оперативность расчетов при сохранении приемлемой точности результатов. По сравнению же с пакетом CONTACT [16] предложенный подход имеет то преимущество, что предоставляет возможность естественным образом перейти к физически нелинейным моделям упругого слоя, имитирующего модификацию поверхностного слоя взаимодействующих тел системы "снаряд – бронепанель".

Имея в распоряжении предложенный в статье [8] инструмент расчетного моделирования, можно ставить и решать различные прикладные задачи для реальных систем «ударник-преграда». В то же время представляет первичный интерес анализ влияния отдельных факторов на характер распределения контактных давлений и размеры контактных площадок. Поскольку созданный и описанный ранее [8] инструмент анализа оперирует с численными моделями, то для установления указанных влияний требуется проведение серии численных расчетов.

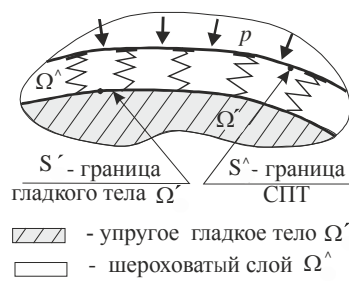


Рисунок 4 – Модель шероховатого сложнопрофильного упругого тела с линейным упругим

**Постановка тестовой задачи.** С использованием предложенной ранее [8] математической модели в среде MatLab [17] был создан программный модуль «SBEM», реализующий итерационную процедуру поиска контактных площадок и контактного давления  $p$  на треугольной сетке, расположенной на плоскости, касательной к поверхностям контактирующих тел 1 и 2 в начальный момент их соприкосновения (см. рис. 3). При этом варьируемыми входными данными являются: усилие  $P$ ; свойства материалов  $E_i, \nu_i$ ; форма поверхностей  $(z_1, z_2)$ , диктующая в итоге распределение зазора  $h$ ; податливость винклера основания  $\lambda$ .

В данной работе ставится задача определения влияния вида распределения зазора  $h$  и податливости винклера основания  $\lambda$  на контактные площадки  $S$  и давления  $p$ . В частности, распределение зазора представляется в частном виде:  $h = U \cdot [(x^2 + y^2)^{K/2}] / a^K$ , где  $a$  – радиус задаваемой фиксированной площадки, заведомо покрывающей  $S$  при заданных  $P, E, \nu$ ;  $U$  – размер подъема поверхности  $h(x,y)$  в координатных сечениях  $x$  и  $y$  соответственно;  $K$  – показатель степени ( $K > 1$ ), определяющий крутизну (плавность) сечений распределений  $h(x,y)$  координатными плоскостями.

Данное выражение соответствует осесимметричному распределению зазора между контактирующими телами, т.е. зависящему от расстояния до центральной точки  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$  (рассматривается прямой угол встречи снаряда с бронепреградой). Величина  $r$  определяет радиус-вектор точки в плоскости, касательной к соприкасающимся (при  $P = 0$ ) телам.

**Численная модель.** Решение поставленной частной задачи осуществлялось при следующих параметрах:  $E_{1,2} = 2.1 \cdot 10^{11}$  Па,  $\nu_{1,2} = 0.3$ ,  $P = 10^3$  Н,  $c = 2$  м,  $a = 2$  м. Для случая  $K = 2$  (параболоид вращения), полученные распределения  $p$  и значение  $S$  отличаются, как показало решение тестовых задач, от полученных по модели Герца незначительно. Таким образом, получена исходная оценка погрешности численного моделирования. Далее эта модель была использована для последующих многовариантных расчетов. Учитывая большое количество получаемых данных, проиллюстрированы только некоторые результаты исследований.

**Результаты решения осесимметричной задачи.** Исследуется контакт двух тел вращения, зазор между которыми представляет собой степенную функцию радиус-вектора  $r$  с показателем степени  $K$ . Моделирование влияния упругих свойств слоя, имитирующего шероховатость, осуществлено путем варьирования параметра  $\lambda$  от нулевого до значения, намного превышающего глобальную податливость системы тел. Полученные характерные распределения контактных давлений представлены на рис. 5, 6.

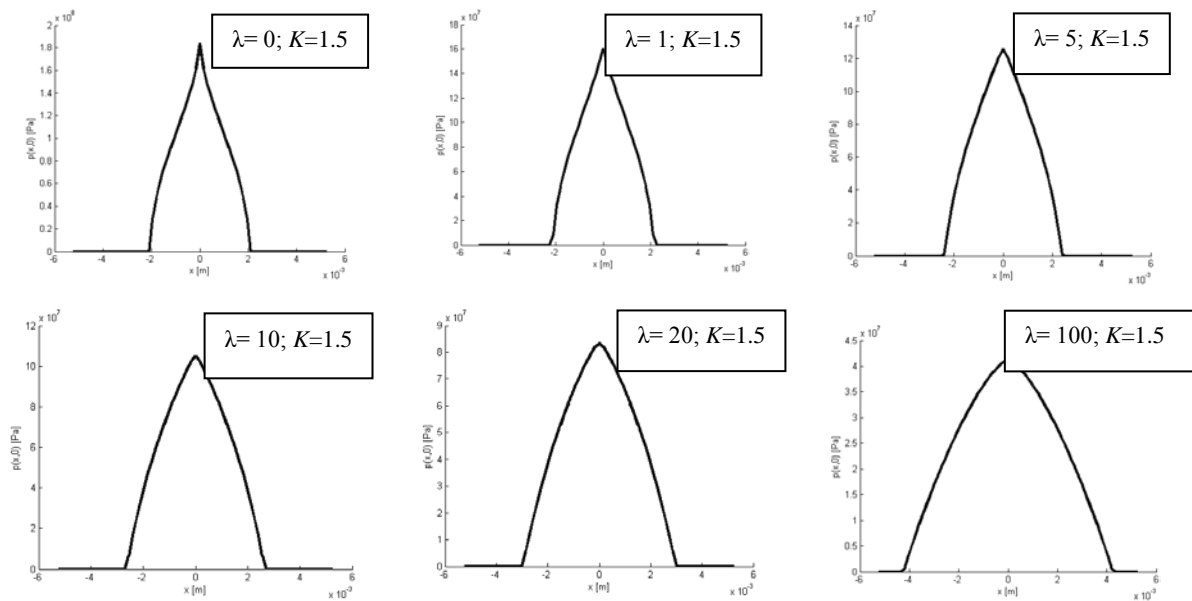


Рисунок 5 – Влияние податливости упругого слоя на распределение контактных давлений в сопряжении "индентор–преграда"

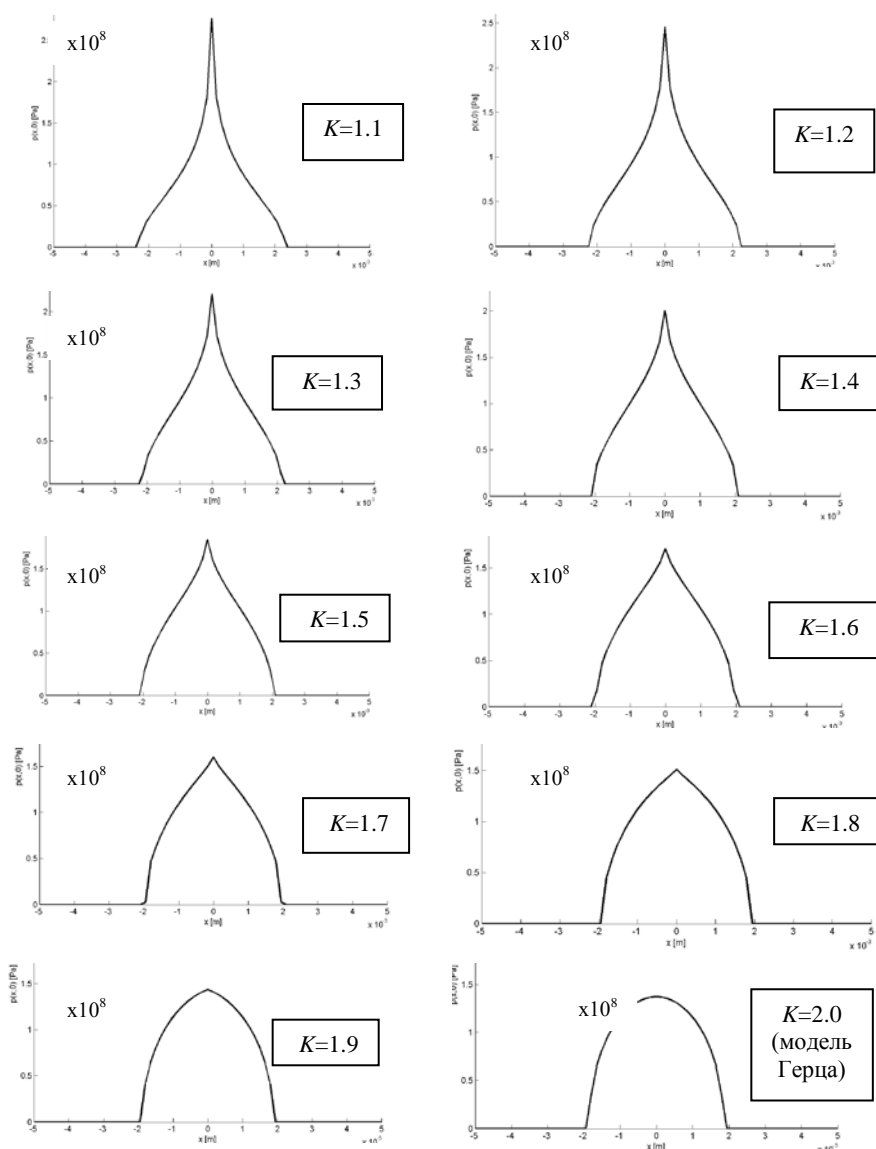


Рисунок 6 – Влияние формы головной части снаряда (степени  $K$ ) на распределение контактных давлений

Анализ полученных картин распределений контактных давлений показывает, в каком направлении и в какой степени форма головной части снаряда (индентора) и свойства промежуточного слоя влияют на контактные давления. Видно, что чем меньше степень  $K$  (т.е. чем острее головная часть), тем выше максимальные контактные давления. С другой стороны, чем податливее промежуточный упругий слой, тем меньшим является максимальное контактное давление, а площадь контакта – большей.

Для более адекватного моделирования взаимодействия индентора (снаряда) с преградой (бронепанелью) требуется применение полной динамической постановки задачи с разрушением, что возможно в последующих исследованиях с привлечением метода конечных элементов.

**Заключение.** В работе найдла отражение общая постановка задачи о проектно-технологическом обеспечении бронезащищенности корпусов легкобронированных машин от действия кинетических боеприпасов. Представлены аналитические модели оценки условий бронепробития, а также гранично-элементарная формулировка задач анализа этого процесса. Также поставлена в общем виде задача обоснования проектно-технологических параметров бронекорпусов по критерию обеспечения защищенности от действия кинетических боеприпасов.

В дальнейших исследованиях планируется использовать предложенные подходы, постановки и модели в процессе проектирования и технологической подготовки производства бронекорпусов перспективных легкобронированных машин.

Литература

1. Чепков И.Б. Модель процесса проникновения составного удлиненного поражающего элемента в экранированную преграду/ И.Б. Чепков, С.А. Лавриков // Проблемы прочности. – 2003. – №2. – С. 46–55.
2. Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности: Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 542 с.
3. Муйземнек А.Ю. Математическое моделирование процесса удара и взрыва в программе LS-DYNA: Учеб. пос. / А.Ю. Муйземнек, А.А. Богач – Пенза: Информационно издательский центр ПГУ, 2005.– 106 с.
4. Васильев А.Ю. Исследование процесса обтекания корпусов легкобронированных машин ударной волной / А.Ю. Васильев // Механіка та машинобудування. – 2009. – №1. – С. 96–107.
5. Васильев А.Ю. К вопросу о деформировании корпусов транспортных средств при действии ударных нагрузок / А. Ю. Васильев // Вестник НТУ “ХПИ”. Тем. вып.: Динамика и прочность машин. – 2005. – №47. – С. 42–50.
6. Дорофеев А.Н., Морозов А.П., Саркисян Р.С. Авиационные боеприпасы. – М.: Изд-во ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1978. – 446 с.
7. Ионов В.Н. Прочность боеприпаса при взаимодействии с преградой. – М.: Машиностроение, 1979. – 423 с.
8. Ткачук Н.Н., Мовшович И.Я., Ткачук Н.А., Скрипченко Н.Б., Литвиненко А.В. Анализ контактного взаимодействия гладких и шероховатых тел методом граничных элементов: модели и разрешающие соотношения. 1. Постановка задачи. 2. Кинематическая модель контакта гладких тел // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением – 2014. – № 3. – С. 3–10.
9. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1986.– 336 с.
10. Демкин Н.Б. Контактное взаимодействие шероховатых поверхностей. – М.: Наука, 1970. – 228 с.
11. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. – М.: Мир, 1989. – 510 с.
12. Hertz H. Über die Berührung fester elastischer Körper / H. Hertz // J. Reine Angew. Math.. – 1881. – Vol. 92. – S. 156–171.
13. Simo J.C. A perturbed Lagrangian formulation for the finite element solution of contact problems // J.C. Simo, P. Wriggers, R.L. Taylor //Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. – 1985. – Vol. 50. – P. 163–180.
14. Галин Л.А. Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости. – М.: Наука, 1980. – 303 с.
15. Александров В.М., Чебаков М.И. Аналитические методы в контактных задачах теории упругости. – М.: Физматлит, 2004. – 304 с.
16. [www.kalkersoftware.org](http://www.kalkersoftware.org).
17. [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com).

Bibliography (transliterated)

1. Chepkov I.B. Model protsessa proniknoveniya sostavnogo udlinennogo porazhayuscheho elementa v ekranirovannuyu pregradu. I.B. Chepkov, S.A. Lavrikov. Problemy prochnosti. – 2003. – #2. – P. 46–55.
2. Vasidzu K. Variatsionnyie metodyi v teorii uprugosti i plastichnosti: Per. s angl. – М.: Mir, 1987. – 542 p.
3. Muizemnek A.Yu. Matematicheskoe modelirovanie protsessa udara i vzryiva v programme LS-DYNA: Ucheb. pos. A.Yu. Muizemnek, A.A. Bogach – Penza: Informatsionno izdatelskiy tsentr PGU, 2005.– 106 p.
4. Vasilev A.Yu. Issledovanie protsessa obtekaniya korpusov legkobronirovannyih mashin udarnoy volnoy. A.Yu. Vasilev. Mehanika ta mashinobuduvannya. – 2009. – #1. – P. 96–107.
5. Vasilev A.Yu. K voprosu o deformirovanii korpusov transportnyih sredstv pri deystvii udarnyih nagruzok. A. Yu. Vasilev. Vestnik NTU “HPI”. Tem. vyip.: Dinamika i prochnost mashin. – 2005. – #47. – P. 42–50.
6. Dorofeev A.N., Morozov A.P., Sarkisyan R.S. Aviatsionnyie boepripasyi. – М.: Izd-vo VVIA im. N.E. Zhukovskogo, 1978. – 446 p.



7. Ionov V.N. Prochnost boepripasa pri vzaimodeystvii s pregradoy. – M.: Mashinostroenie, 1979. – 423 p.
8. Tkachuk N.N., Movshovich I.Ya., Tkachuk N.A., Skripchenko N.B., Litvinenko A.V. Analiz kontaktnogo vzaimodeystviya gladkih i sferohovatyih tel metodom granichnyih elementov: modeli i razreshayuschie sootnosheniya. 1. Postanovka zadachi. 2. Kinematicheskaya model kontakta gladkih tel. Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem – 2014. – # 3. – P. 3–10.
9. Reshetov D.N., Portman V.T. Tochnost metallovezhushchih stankov. – M.: Mashinostroenie, 1986. – 336 p.
10. Demkin N.B. Kontaktirovanie sferohovatyih poverhnostey. – M.: Nauka, 1970. – 228 p.
11. Dzhonson K. Mehanika kontaktnogo vzaimodeystviya. – M.: Mir, 1989. – 510 p.
12. Hertz H. Über die Berührung fester elastischer Körper. H. Hertz. J. Reine Angew. Math.. – 1881. – Vol. 92. – P. 156–171.
13. Simo J.C. A perturbed Lagrangian formulation for the finite element solution of contact problems. J.C. Simo, P. Wriggers, R.L. Taylor. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. – 1985. – Vol. 50. – P. 163–180.
14. Galin L.A. Kontaktnye zadachi teorii uprugosti i vyazkouprugosti. – M.: Nauka, 1980. – 303 p.
15. Aleksandrov V.M., Chebakov M.I. Analiticheskie metody v kontaktnyih zadachah teorii uprugosti. – M.: Fizmatlit, 2004. – 304 p.
16. [www.kalkersoftware.org](http://www.kalkersoftware.org).
17. [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com).

УДК 623.438: 539.3

Бусяк Ю.М., Ткачук М.М., Васильєв А.Ю., Литвиненко О.В., Мазур І.В., Данышин Ю.О., Шаталов О.С.

#### **ЗАГАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАХИЩЕНОСТІ БРОНЕКОРПУСІВ ЛЕГКИХ ЗА МАСОЮ МАШИН**

Стаття містить загальну постановку задачі забезпечення бронезахищеності корпусів легкоброньованих машин. Описані загальні підходи до її розв'язання. Крім того, сформульована задача проектно-технологічного забезпечення бронестійкості.

Busyak Y.M., Tkachuk M.M., Vasiliev A.Y., Litvinenko A.V., Mazur I.V.,  
Danshin Y.A., Shatalov O.Y.

#### **GENERAL APPROACHES FOR ESTIMATING AND ENSURING THE PROTECTABILITY OF LIGHT-WEIGHT VEHICLES HULLS**

This paper contains a general statement of problem to ensure armoring protectability for lightly armored vehicles hulls. The general approaches are described to its solution. In addition, the problem of design and technological support for armoring durability is formulated.