

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 выдвинутой 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, м³; $n_{ДВ}$ — 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.

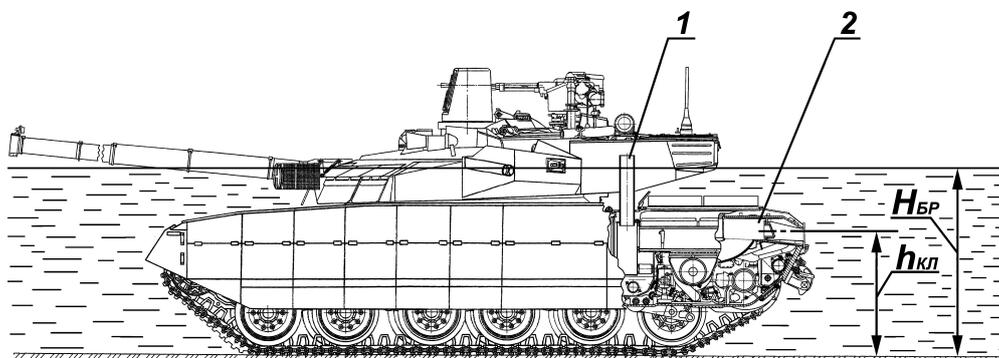


Рисунок 1 – Расположение воздухозаборной и выпускной магистралей при преодолении брода танком БМ «ОПЛОТ»
1 – воздухозаборный выдвижной патрубок; 2 – газоход

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 η_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 ε – степень сжатия; ρ_a – давление свежего заряда в конце впуска, Па; ρ_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 η_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 6 воздухозаборного устройства, входящего в состав моторно-трансмиссионной установки;
- к фланцу обводного газохода 2 был подсоединен технологический бак 1 с переменным уровнем воды.

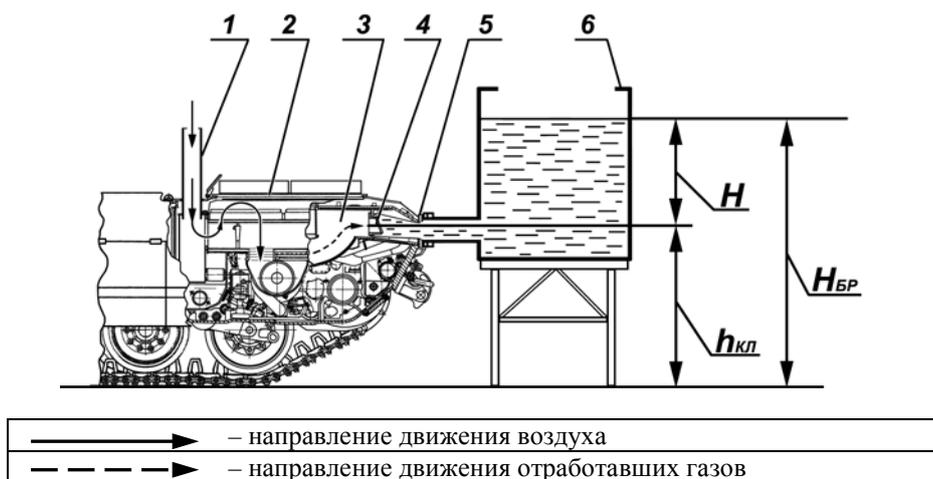


Рисунок 2 – Имитация давления столба воды на элементы обводного газохода танка БМ «ОПЛОТ»
 1 – выдвижной воздухозаборный патрубок; 2 – крыша моторно-трансмиссионного отделения; 3 – обводной газоход;
 4 – тарельчатый клапан обводного газохода; 5 – фланец обводного газохода; 6 – технологический бак.

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

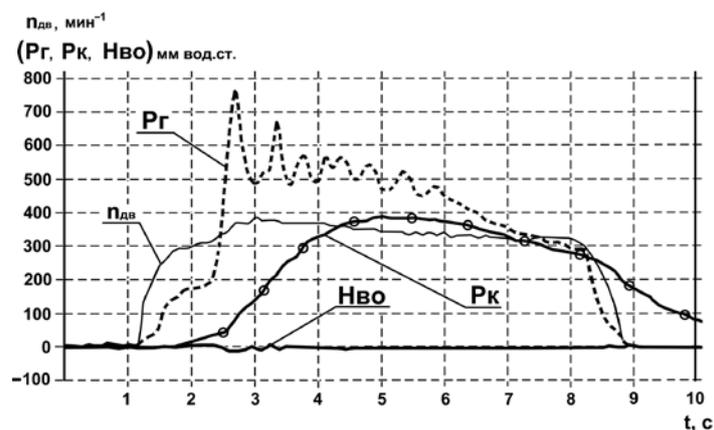
- обеспечивался одинаковый уровень напряжения в электрической сети танка при прокрутках и пусках, для чего аккумуляторные батареи были подключены к внешнему пуско-зарядному устройству;
- в начале каждого опыта обеспечивалось начальное давление в системе сжатого воздуха 145 МПа.

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

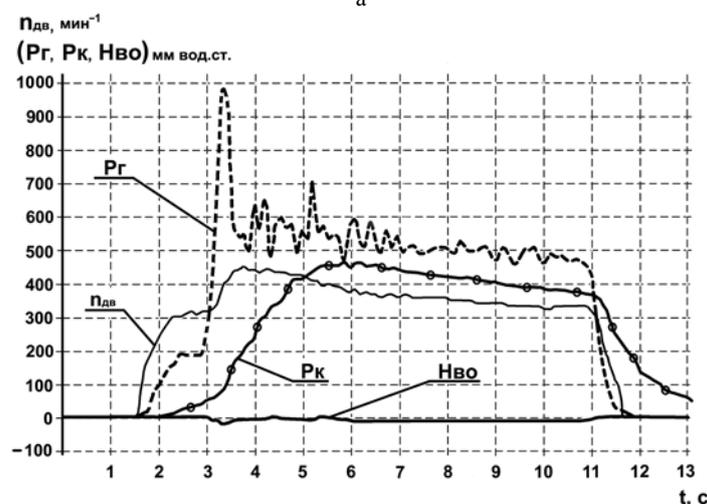
- частота вращения вала двигателя ($n_{дв}$);
- измеряемое в воздухоочистителе разрежение воздуха на входе в двигатель ($H_{во}$);
- давление воздуха после нагнетателя двигателя ($P_{к}$);
- давление выпускных газов в обводном газоходе ($P_{г}$).

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 більш 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 мин^{-1} , пуск проходив рівномірно і практично без коливань параметрів $n_{дв}$ і P_k . Слід зауважити, що при використанні тільки двох штатних баллонів повітряного пуску успішний пуск двигача здійснюється на глибинах броду не більш 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.

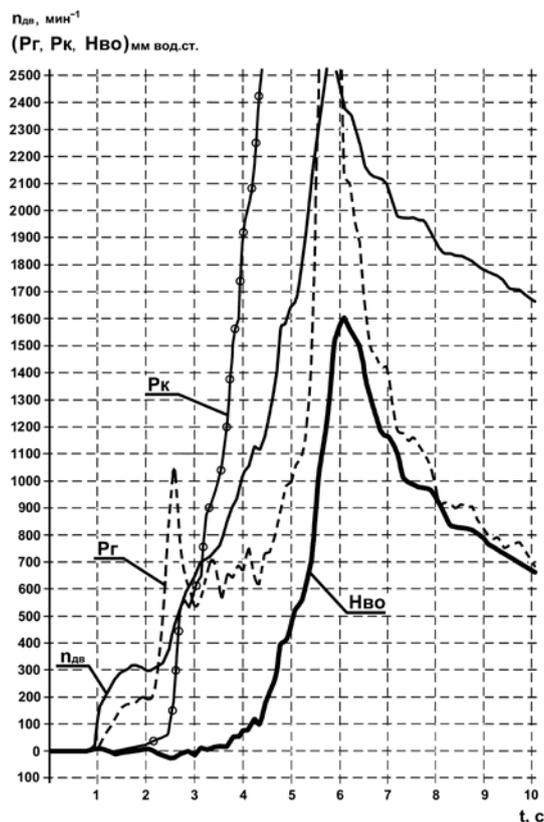


Рисунок 4 – Зміна параметрів при комбінованому пуску двигача з імітацією глибини броду 1,8 м при використанні чотирьох баллонів повітряного пуску

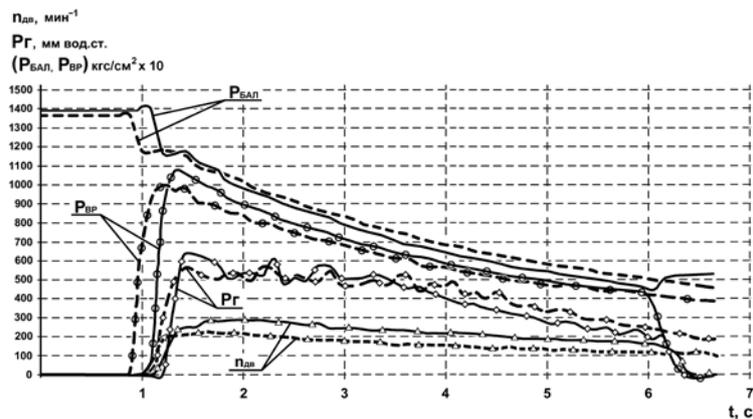
З метою підвищення гарантованої надійності пуску і ще більшого збільшення швидкості заповнення циліндрів двигача стиснутого повітря при проведенні повітряного пуску були розглянуті варіанти зменшення опортів елементів схеми самої системи повітряного пуску. В частині, для зменшення опортів, створюваного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

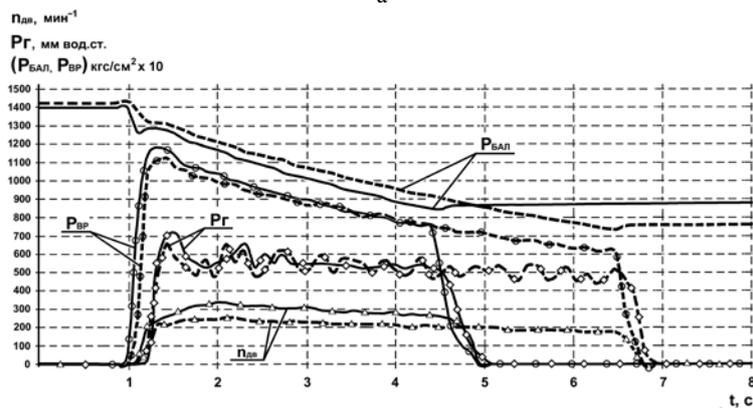
При штатном варианте воздушной системы с ЭПК и после сборки опытного варианта с воздушным клапаном были произведены прокрутки коленвалов двигателя воздухопуском без подачи топлива при имитации брода 1,8 м с использованием двух и четырех баллонов. При проведении данных опытов производились измерения следующих 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/см², а при использовании штатного ЭПК составляет 16 кгс/см² вследствие повышенного сопротивления последнего. Соответственно, при использовании воздушного клапана с меньшим сопротивлением больше начальные значения $P_{вр}$ перед воздухораспределителем на 6...8 кгс/см² и, как следствие выше частота вращения коленвалов примерно на 60 мин⁻¹ 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.