

УДК 621.436

С.А. Алёхин, канд. техн. наук

## ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО УЛУЧШЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ МАССО-ГАБАРИТНЫХ И МОЩНОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СПЕЦИАЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТИПА 6ДН 12/2х12

В настоящее время в мире развернуты и интенсивно проводятся крупномасштабные разработки перспективных танковых двигателей нового поколения, предназначенных для перспективной бронетанковой техники. Известно, что в ходе совершенствования танкового вооружения и защиты происходит неуклонное возрастание массы боевых машин, что требует увеличения мощности двигателя для получения высоких тактико-технических характеристик.

Удельная мощность современных танков находится в пределах 18,5...22 кВт/т.

Поэтому одной из основных тенденций развития двигателестроения для военной техники нового поколения и модернизации имеющейся является увеличение агрегатной мощности силовой установки. Передовыми странами-производителями разработаны специальные двигатели мощностью 735 кВт и выше (см. табл. 1).

Таблица 1. Основные параметры специальных дизельных двигателей

Параметры	Россия	Украина						Германия		Англия	Израиль	Франция	Китай
	В-92С2	5ТДФ	6ТД-1	6ТД-2	6ТД-3 опыт- ный	6ТД-4 опыт- ный	6ТД-5 про- ект	МВ873	МТ883	С12V 1200	AVDS 1790-9A	UDV 8X1500	X150-960
Мощность, кВт л.с	735 1000	515 700	735 1000	882 1200	993 1350	1103 1500	1323 1800	1103 1500	1103 1500	882 1200	882 1200	1103 1500	706 960
Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	2000	2800	2800	2600	2800	3000	3200	2600	3000	2300	2400	2500	2200
Диаметр цилиндра, мм	150	120	120	120	120	120	120	170	144	135	146	142	150
Ход поршня, мм	180	2х120	2х120	2х120	2х120	2х120	2х120	175	140	152	146	130	160
Рабочий объем, л	38,9	13,6	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	47,6	27,4	26,1	29,3	16,47	34,6
Число цилин- дров	12	5	6	6	6	6	6	12	12	12	12	8	12
Располо- жение ци- линдров	V-60°	Г ПДП	Г ПДП	Г ПДП	Г ПДП	Г ПДП	Г ПДП	V-90°	V-90°	V-60°	V-90°	V-90°	V-60°
Среднее эф- фективное давление P <sub>е</sub> , МПа	1,18	0,83	0,99	1,27	1,33	1,38	1,55	1,09	1,64	0,9	1,54	3,28	1,54
Средняя скорость поршня, Сп, м/с	12	11,2	11,2	10,4	11,2	12	12,8	15,2	14	11,6	11,7	11,3	11,7
Габариты, мм:													
L	1466	1413	1602	1602	1602	1602	1602	1801	1676	1375	1750	1375	1394
B	896	955	955	955	1020	1080	1135	1975	950	935	1730	1462	940
H	1020	581	581	581	581	581	581	1030	824	975	1030	905	950
Масса, кг	1020	1040	1180	1180	1260	1350	1420	2590	1800	1880	2223	1650	1600
Литровая мощность, кВт/л	18,8	37,9	45,1	54,1	60,9	67,6	81,2	23,2	40,2	33,8	30,1	66,9	20,4
Удельная масса, кг/кВт	1,36	2,99	1,60	1,33	1,26	1,22	1,07	2,35	1,63	2,14	2,52	1,50	2,27
Габаритная мощность, кВт/м <sup>3</sup>	588	658	826	991	1044	1096	1250	302	842	706	283	606	569

В Казённом предприятии «Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению» (КП ХКБД) в настоящее время ведутся научно-исследовательские работы по созданию специальных танковых двигателей нового поколения путем дальнейшего форсирования двухтактных дизелей семейства 6ДН 12/2х12. Подходом к созданию таких двухтактных дизельных двигателей является предельная их форсировка за счет одновременного повышения средней скорости поршня  $C_m$  (частоты вращения коленчатого вала двигателя) и среднего эффективного давления  $p_e$  путем увеличения давления наддувочного воздуха в сочетании с промежуточным его охлаждением. Указанные параметры могут быть увеличены до значений, ограничивающих надежность работы двигателя.

В КП ХКБД накоплен богатый опыт в создании танковых двигателей, производство которых осуществляет Государственное предприятие «Завод имени В.А.Малышева». Здесь был впервые разработан быстроходный двигатель В-2 для танка Т-34, а также решена сложная задача по созданию семейства двигателей типа ДН 12/2х12 для танков нового поколения.

Преимущества последних должны были рассматриваться на фоне тех преимуществ, которые получает танк. Двигатель должен иметь минимальную высоту (с целью снижения силуэта танка); низкую теплоотдачу в систему охлаждения для создания моторно-трансмиссионного отделения (МТО) малого объема, иметь возможность форсирования по удельной мощности, стабильно работать при высокой температуре окружающего воздуха и т.д.

Был принят смелый и, как показала впоследствии жизнь, удачный выбор конструкторского решения - быстроходный двухтактный турбопоршневой дизель с противоположно-движущимися поршнями, который смог удовлетворить наиболее жесткие требования.

Такая схема дизеля лишена одних из главных недостатков, присущих четырехтактным поршневым двигателям, - в ней отсутствуют такие теплонапряженные узлы, как головка цилиндров, газовый стык и выпускные клапаны, сдерживающие форсирование дизеля. Особенно это проявляется при высоком уровне форсирования (литровой мощности  $N_{el} > 40$  кВт/л) и работе в условиях жаркого климата ( $t_{oc} \geq 55$  °С).

При разработке указанного дизеля было заложено ряд прогрессивных конструкторских решений, позволяющих получить очень важные качества танка [1, 2, 3, 4].

1. Схема (как указывалось выше) с противоположно-движущимися поршнями без газового стыка и несущими стальными анкерами (болтами), полностью разгружающими блок от сил давления газа ( $p_z$ ), позволившая выполнить блок из легкого алюминиевого сплава и тем самым существенно уменьшить массу дизеля в целом, и при этом обеспечить надежную работу при высоких значениях  $p_z$ .

2. Составной поршень с жаропрочной стальной накладкой и неразрезным первым уплотняющим жаровым кольцом, позволяющий организовать протекание рабочего процесса в цилиндрах дизеля с высокой литровой мощностью при повышенных температурах окружающего воздуха и  $p_z$ .

Жаропрочные накладки обеспечивают, кроме существенного повышения работоспособности деталей поршневой группы, также и заметное снижение теплоотдачи в воду (степень адиабатичности при этом составляет 32...35%) [2]. Низкая теплоотдача в воду позволяет уменьшить объем систем, обслуживающих дизель, что, в конечном итоге, положительно сказывается на создании компактного МТО танка.

Необходимо также отметить, что "горячие" накладки обеспечивают дизелю многотопливность, т.е. работу на дизельном топливе, бензинах и керосине.

3. Отличительной особенностью дизеля является

ся горизонтальное расположение цилиндров, что позволило обеспечить высоту дизеля 581 мм – самую низкую в мировой практике танкового двигателестроения. Такая высота дизеля обеспечивает особое качество танку – низкий его силуэт.

Горизонтальное расположение цилиндров позволило расположить дизель в танке поперечно, с двухсторонним отбором мощности от коленчатого вала на бортовые КПП без промежуточных звеньев (гитары и редуктора). В выемках, образовавшихся после установки бортовых КПП, с разных сторон дизеля установлены газовая турбина и компрессор наддувочного воздуха, связанные между собой рессорой. Такая компоновка обеспечивает наиболее плотное заполнение рабочего объема МТО танка.

Необходимо отметить следующее. С увеличением агрегатной мощности двигателя увеличивается и теплоотдача в воду и масло. При этом рост объема системы охлаждения опережает рост самого двигателя, что в конечном итоге приводит к увеличению объема МТО (т.е. при этом объем системы охлаждения является определяющим при разработке МТО). Поэтому в рассматриваемом дизеле приняты меры по существенному снижению теплоотдачи в систему охлаждения за счет решений указанных выше, а также отсутствия до определенного уровня форсирования промежуточного охлаждения наддувочного воздуха, и использования высокотемпературной системы охлаждения. В результате всех мероприятий суммарная теплоотдача в двухтактном дизеле не превышает 18% от введенного тепла, тогда как у четырехтактных она составляет 22...27% (т.е. на 19...33% выше).

На двухтактных дизелях на 25...35% больше воздуха расходуется на продувку цилиндров по сравнению с четырёхтактными. Благодаря низкой суммарной теплоотдаче и повышенному расходу газа удалось создать компактную эжекторную систему охлаждения за счет использования энергии отрабо-

тавших газов (при этом за турбиной создается избыточное давление газа в пределах 0,025...0,035 МПа). Такая система автоматически приспосабливается к температуре окружающего воздуха, обладает простотой конструкции и отсутствием подвижных деталей, что повышает ее надежность. Использование эжекторной системы охлаждения также приводит к разбавлению выпускных газов воздухом до температуры 250 °С, в результате чего улучшаются показатели теплового следа танка.

В результате тесного сотрудничества конструкторов-дизелистов (КП ХКБД) и конструкторов-танкистов (КП ХКБМ) впервые в мировой практике танкостроения удалось создать принципиально новую, чрезвычайно плотную компоновку МТО низкосилуэтного танка нового поколения Т-64 с поперечным расположением двухтактного низкопрофильного быстроходного турбопоршневого дизеля 5ТДФ мощностью 515 кВт, имевшего объем МТО – 2,64 м<sup>3</sup>. Танк Т-64, созданный в шестидесятые годы прошлого столетия, по удельной мощности МТО (195 кВт/м<sup>3</sup>) на многие годы опередил зарубежных конкурентов, которые только недавно приблизились к этому показателю.

Известные танки Т-80УД и Т-84, имеющие высокий рейтинг на мировом рынке, оснащены новыми быстроходными двухтактными турбопоршневыми дизелями 6ТД-1 (мощностью 735 кВт) и 6ТД-2 (мощностью 882 кВт), разработанными на базе дизеля 5ТДФ.

Впервые в мировой практике были освоены двигатели с уровнем литровой мощности 45,1 и 54,1 кВт/л. Это главное и принципиальное направление работ украинского танкового двигателестроения [1].

Известно, что важным направлением работ по уменьшению теплонапряженности основных деталей дизеля и по обеспечению возможности получения на двигателе высокой литровой мощности является

применение промежуточного охлаждения наддувочного воздуха. Это позволяет не только форсировать двигатель по мощности, но и улучшить параметры, а также заметно повысить надежность его работы. Широкие перспективы форсирования и получения высоких массогабаритных показателей открывает создание в КП ХКБД высокоэффективного компактного кольцевого охладителя наддувочного воздуха, встроенного в улитку компрессора наддувочного воздуха [5, 6].

В КП ХКБД была разработана и опробована двухконтурная система охлаждения, включающая: низкотемпературный контур для охлаждения наддувочного воздуха и высокотемпературный - для охлаждения непосредственно цилиндров двигателя. Циркуляция жидкости в контурах осуществляется одним водяным насосом. Такая система обеспечивает глубокое охлаждение наддувочного воздуха [5, 6].

Уровень форсировки по  $C_m$  ограничен необходимостью обеспечения требуемого срока службы двигателя, зависящего от его назначения, уровня технологии производства, качества применяемых материалов, степенью доводки узлов и агрегатов.

У семейства дизелей типа 6ДН 12/2х12 имеются значительные резервы. Номинальная частота вращения коленчатого вала равна  $2800 \text{ мин}^{-1}$ , при этом  $C_m=11,2 \text{ м/с}$ . Указанное значение средней скорости поршня не лимитирует ее дальнейшее повышение по следующим причинам. Высокие уровни форсирования двигателей потребовали создания принципиально нового серийного производства, в котором воплощены элементы авиационного моторостроения: шлифовка зубьев, износостойкие покрытия, приработочные покрытия, отливка жаропрочных деталей, использование высокооборотных подшипников качения и т.д.

Вместе с тем, в процессе создания высокофорсированных двигателей отработывались совершенно новые технологические процессы. К примеру, впер-

вые в мировой практике совместно с институтом электросварки имени Э.О. Патона выполнена сварка лопаток и диска турбины с содержанием никеля более 70%. Из сказанного можно утверждать, что достигнутый высокий уровень технологии серийного производства и использование новых материалов на дизеле 6ТД-2, а также применение качественного масла при его эксплуатации позволяет форсировать последний по  $C_m$  до  $12,8 \text{ м/с}$  (т.е. до  $n=3200 \text{ мин}^{-1}$ ), при которой достаточный ресурс работы двигателя обеспечивается. В современных двигателях  $C_m=13 \text{ м/с}$  не является критическим значением.

С целью форсирования двигателей типа 6ДН 12/2х12 в КП ХКБД проведен большой комплекс расчетно-экспериментальных исследований по совершенствованию его узлов и систем. Стендовые испытания форсированного дизеля 6ТД-4 мощностью  $1103 \text{ кВт}$  с давлением наддува  $P_k=0,355 \text{ МПа}$  и температурой воздуха после охладителя наддувочного воздуха  $t_s=100^\circ\text{C}$  показали удовлетворительные результаты. Так, при максимальном давлении сгорания  $p_z=14,0 \text{ МПа}$  получена литровая мощность  $N_{er}=67,6 \text{ кВт}$  при экономичности  $g_e=223 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$ .

Для определения дальнейших потенциальных возможностей развития и оценки работоспособности деталей цилиндропоршневой группы на режиме дизеля 6ТД-5 с промежуточным охлаждением воздуха на одноцилиндровом двигателе были проведены длительные испытания в объеме 100 часов с литровой мощностью  $81,2 \text{ кВт/л}$ . Испытания прошли без замечаний по надежности деталей цилиндропоршневой группы. Параметры рабочего процесса при испытании составляли:  $g_e=231 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$ ,  $p_k=0,40 \text{ МПа}$ ,  $t_s=100^\circ\text{C}$ ,  $p_z=14,5 \text{ МПа}$ .

Таким образом, дальнейшее улучшение мощностных и массогабаритных показателей семейства специальных двигателей 6ДН 12/2х12 является перспективным направлением научно-технической деятельности. По сравнению с серийным двигателем

6ТД-2 литровая мощность может быть увеличена на 50%, габаритная мощность увеличена на 26%, удельная масса уменьшена на 19%. По своим удельным показателям двигатель 6ДН 12/2х12 сохраняет и в дальнейшем ведущие позиции в мире в двигателестроении для бронетехники, достигнув уровня литровой мощности 81,2 кВт/л, габаритной мощности 1250 кВт/м<sup>3</sup>, удельной массы 1,07 кг/кВт, значительно опередив в этом основную массу конкурентов (см. рис. 1).

рис. 1).

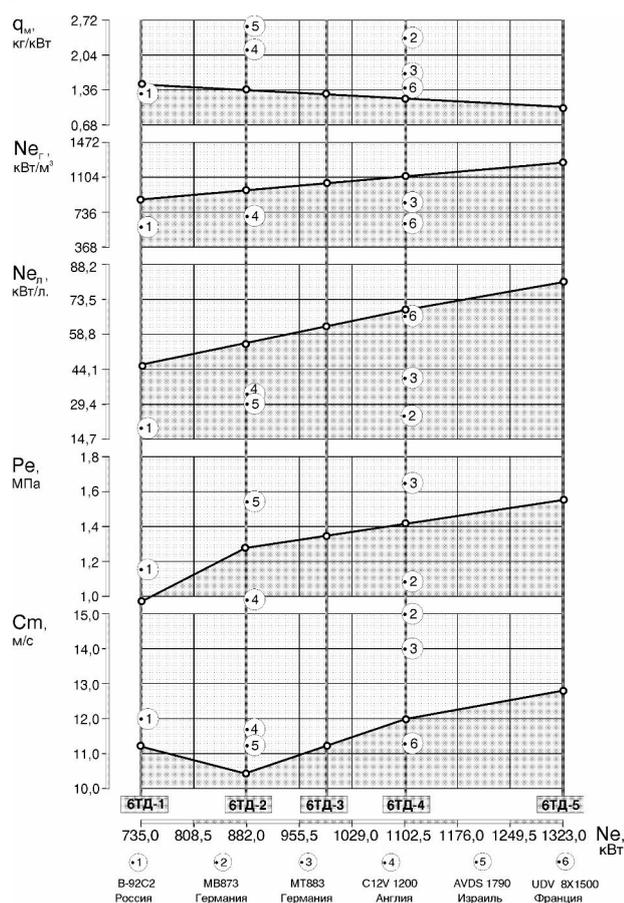


Рис. 1. Удельные параметры форсированных перспективных двигателей типа 6ДН 12/2х12

### Вывод

В результате расчетно-экспериментальных исследований установлено, что за счет высокого над-

дува в сочетании с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха и увеличением номинальной частоты вращения коленчатого вала можно на двигателях типа 6ДН 12/2х12 достичь уровня литровой мощности  $N_{e\ell}=81,2$  кВт/л, габаритной мощности  $N_{e\ell}=1250$  кВт/м<sup>3</sup>, удельной массы 1,07 кг/кВт, что в своем сочетании является лучшим достижением в мировом танковом дизелестроении.

### Список литературы:

1. Н.К. Рязанцев. Современные украинские танковые дизели. // Двигателестроение. - 2001. - №3. - С. 4-5.
2. Н.К. Рязанцев. Конструкция форсированных двигателей наземных транспортных машин. Ч.3. - Харьков: ХГПУ. -2004. -264 с. 3. Двигатель 6ТД. - М.: Военное издательство. - 1988. - 144 с. 4. Алёхин С.А., Рязанцев Н.К., Бородин Ю.С., Краюшкин И.А. Быстроходное дизелестроение на государственном предприятии "Завод имени Малышева." // Вестник национального технического университета "ХПИ". - Харьков: НТУ "ХПИ". - 2001. - №26. - С. 11-16.
5. Хамин Н.С., Аришинов Л.С., Дизели с наддувом. Состояние и перспективы. // Автомобильная промышленность. - 2000. №3 - С. 11-13.
6. Рязанцев Н.К., Анимов Ю.А., Алёхин С.А., Борисенко А.В., Любченко В.Н. Кольцевой охладитель наддувочного воздуха для высокооборотных двухтактных дизелей типа 6ДН12/2х12 // Двигатели внутреннего сгорания, 2003. -№2 1-2. С. 6-9.