

УДК 621.43

А.К. Лимонов<sup>1</sup>, Л.А. Захаров<sup>2</sup>, В.Л. Химич<sup>2</sup>, И.Л. Захаров<sup>2</sup>, А.В. Сеземин<sup>2</sup>**НОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В КОНСТРУИРОВАНИИ РЯДНЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С РАБОЧИМ ОБЪЕМОМ ЦИЛИНДРА 10,64 Л**ОАО «РУМО»<sup>1</sup>,Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>2</sup>

Проведен анализ среднеоборотных двигателей ОАО «РУМО» первого и второго поколения, а также сравнение их с зарубежными аналогами. Двигатели ОАО «РУМО» второго поколения приблизились по своим характеристикам к лучшим зарубежным образцам, а именно к двигателям фирм MAN B&W и Wartsila.

*Ключевые слова:* дизельный двигатель, среднеоборотный двигатель, термодинамические, энергетические и экономические показатели, геометрические размеры

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) применяются для привода самых разнообразных машин и механизмов в самых различных условиях: на воде и под водой, на земле и в воздухе; стоя неподвижно на фундаменте или качаясь на волнах вместе с судном, перемещаясь в составе автомобиля, тепловоза или самолета. Ни одна отрасль техники не может сравниться с судостроением по многообразию применяемых двигателей. Двух- и четырехтактные, тронковые и крейцкопфные, дизельные, газовые и бензиновые, простого и двойного действия, одно- и многоцилиндровые, тихоходные и быстроходные, воздушного и водяного охлаждения – все, что придумано двигателестроителями, применяется в судостроении.

В 2004 году отечественные и зарубежные моторостроительные предприятия отметили 100-летие со дня рождения поршневого двигателя внутреннего сгорания (ПДВС), работающего по смешанному циклу, названного в честь его изобретателя – русского инженера Густава Тринклера (цикл Тринклера). Сегодня поршневые и комбинированные ДВС реально применяются для энергетических установок водного, наземного и воздушного транспорта. В настоящее время для энергетических установок водного транспорта выпускается множество судовых комбинированных и поршневых ДВС разнообразных моделей, которые обеспечивают потребности судостроения и судоходства. Их принято делить на четыре группы:

- малооборотные поршневые ДВС с частотой вращения до  $240 \text{ мин}^{-1}$ , (МОД);
- среднеоборотные поршневые и комбинированные ДВС с частотой вращения  $240..750 \text{ мин}^{-1}$ , (СОД);
- повышенной оборотности поршневые и комбинированные ДВС с частотой вращения  $750..1500 \text{ мин}^{-1}$ , (ПОД);
- высокооборотные поршневые и комбинированные ДВС с частотой вращения свыше  $1500 \text{ мин}^{-1}$ , (ВОД).

В последние 20 лет судовое отечественное и зарубежное двигателестроение энергично развивалось, при этом были разработаны новые тенденции его проектирования. Концепции создания современных СОД и принципы конструирования СОД рассмотрим на примере проектирования двигателей ОАО «РУМО»: первого поколения 6ЧН 36/45 и второго поколения 6ЧН 22/28 (рис. 1). Необходимо отметить, прежде всего, эффективность работ по повышению технических характеристик СОД (табл. 1).

Таблица 1

## Технические характеристики ряда СОД

| №<br>п/п | Показатель   | Модели типоразмерного ряда |             |                  |               |                  |          |
|----------|--|----------------------------|-------------|------------------|---------------|------------------|----------|
|          |  | MAN<br>B&W                 | Wartsila    | ОАО «РУМО»       |               |                  |          |
|          |  |                            |             | первое поколение |               | второе поколение |          |
| L 40/54  | Vasa<br>22/26  | ЧН<br>36/45                | ЧН<br>36/45 | ЧН<br>22/28      | ЧН<br>22/28-1 |                  |          |
| 0        | 1  | 2                          | 3           | 4                | 5             | 6                | 7        |
| 1        | Число цилиндров  | 6                          | 6           | 6                | 6             | 6                | 6        |
| 2        | Диаметр цилиндра, см   | 40                         | 22          | 36               | 36            | 22               | 22       |
| 3        | Ход поршня, см   | 54                         | 26          | 45               | 45            | 28               | 28       |
| 4        | Отношение $S/D$  | 1,35                       | 1,18        | 1,25             | 1,25          | 1,273            | 1,273    |
| 5        | Геометрическая степень сжатия  | 15                         | 15          | 11,5             | 12            | 13,5             | 16       |
| 6        | Частота вращения, мин <sup>-1</sup>  | 514                        | 750         | 375              | 500           | 750              | 750      |
| 7        | Средняя скорость поршня, м/с   | 9,25                       | 6,5         | 5,625            | 7,5           | 7,0              | 7,0      |
| 8        | Максимальная номинальная мощность, кВт                                     | 3990                       | 1125        | 883              | 1150          | 775              | 1150     |
| 9        | Удельная литровая мощность, кВт/л  | 9,805                      | 18,981      | 3,215            | 4,187         | 12,142           | 18,017   |
| 10       | <b>Удельная «цикловая-литровая» мощность, Вт/ц·л</b>                       | 38,151                     | 50,62       | 17,147           | 16,746        | 32,378           | 48,044   |
| 11       | Максимальное давление сгорания, МПа  | 18,00                      | 18,00       | 6,943            | 6,791         | 13,5             | 17,260   |
| 12       | Среднее эффективное давление цикла, МПа                                    | 2,29                       | 2,28        | 1,028            | 1,005         | 1,83             | 2,28     |
| 13       | <b>Отношение <math>p_i/p_e</math></b>                                      | 7,860                      | 7,895       | 6,754            | 6,757         | 7,377            | 7,571    |
| 14       | Термодинамический КПД цикла  | 0,6615                     | 0,6615      | 0,6235           | 0,6299        | 0,6469           | 0,6701   |
| 15       | Эффективный КПД  | 0,463                      | 0,444       | 0,38             | 0,396         | 0,432            | 0,444    |
| 16       | Удельный эффективный расход топлива, г/кВт·ч                               | 182                        | 190         | 213              | 213           | 195              | 190      |
| 17       | Удельный эффективный цикловой расход топлива, мг/кВт·ц                     | 11,803                     | 8,445       | 18,933           | 14,200        | 8,667            | 8,445    |
| 18       | <b>Удельный эффективный «цикловой-литровой» расход топлива, мг/кВт·ц·л</b> | 0,029004                   | 0,000143    | 0,068926         | 0,051939      | 0,135778         | 0,132296 |
| 19       | Удельный эффективный расход масла на угар, г/кВт·ч                         | 0,7                        | 0,9         | 1,22             | 1,22          | 1,0              | 0,9      |
| 20       | Удельный эффективный расход масла на угар, мг/кВт·ц                        | 0,046                      | 0,04        | 0,109            | 0,082         | 0,045            | 0,040    |
| 21       | Удельный эффективный «цикловой-литровой» расход масла на угар, мг/кВт·ц·л  | 0,000113                   | 0,000675    | 0,000397         | 0,000299      | 0,000705         | 0,000627 |
| 22       | Рабочий объем цилиндра, л  | 67,824                     | 9,87844     | 45,7812          | 45,7812       | 10,63832         | 10,63832 |
| 23       | Рабочий объем двигателя, л   | 406,944                    | 59,32706    | 274,6872         | 274,6872      | 63,82992         | 63,82992 |



Рис. 1. Дизельный двигатель ОАО «РУМО» 6ЧН 22/28

**По геометрическим размерам** рабочего и полного объема цилиндров СОД ОАО «РУМО»:

- диаметр цилиндра двигателя первого поколения составляет 36 см, второго поколения 22 см, т.е. меньше на 38,9%;
- ход поршня двигателя первого поколения – 45 см, второго поколения – 28 см, т.е. меньше на 37,8%;
- рабочий объем цилиндра двигателя первого поколения – 45,78 л, второго поколения – 10,64 л, т.е. меньше на 76,8%;
- рабочий объем двигателя первого поколения – 274,68 л, второго поколения – 63,84 л, т.е. меньше на 76,8%;
- отношение хода поршня к диаметру цилиндра двигателя первого поколения – 1,25, двигателя второго поколения – 1,273, т.е. больше на 1,84% (лучшие зарубежные образцы СОД имеют  $S/D=1,35$ );
- средняя степень сжатия двигателей первого поколения – 11,75, второго поколения – 14,75, т.е. больше на 25,5% (лучшие зарубежные образцы СОД имеют степень сжатия 15-16);
- средняя скорость поршня двигателя первого поколения – 6,56 м/с, второго поколения – 7,5 м/с, т.е. больше на 14,3% (лучшие зарубежные образцы СОД имеют 8,5..9,2 м/с).

**Термодинамические показатели** рабочего цикла СОД ОАО «РУМО»:

- средний термический КПД цикла двигателя первого поколения составляет 0,627, второго поколения – 0,658, т.е. больше на 5,02% (лучшие зарубежные образцы СОД имеют – 0,66..0,68);
- отношение среднего максимального давления цикла к среднему эффективному давлению двигателя первого поколения составляет – 6,756, второго поколения – 7,474, т.е. больше на 10,63% (лучшие зарубежные образцы СОД имеют 7,86).

**Энергетические показатели** работы СОД ОАО «РУМО» имеют:

- средняя удельная литровая мощность двигателей первого поколения – 3,7 кВт/л, второго поколения – 15,08 кВт/л, т.е. больше в 4 раза (лучшие зарубежные образцы СОД имеют 9,81..18,98 кВт/л);
- наибольший интерес представляет средняя удельная «цикловая-литровая» мощность двигателей первого поколения – 16,95 Вт/ц·л, двигателей второго поколения – 40,21 Вт/ц·л, т.е. больше в 2,4 раза (лучшие зарубежные образцы СОД имеют 38,2..50,6 Вт/ц·л);
- среднее эффективное давление двигателей первого поколения – 1,02 МПа, двигателей второго поколения – 2,06 МПа, т.е. в два раза (лучшие зарубежные образцы СОД имеют 2,29..2,32 МПа)

**Экономические показатели** работы СОД ОАО «РУМО» имеют:

- средний эффективный КПД двигателей первого поколения – 0,388, второго поколения – 0,438, т.е. больше на 12,9% (лучшие зарубежные образцы СОД имеют – 0,44..0,46);
- средний удельный эффективный расход топлива двигателей первого поколения – 213 г/кВт·ч, второго поколения – 195 г/кВт·ч, т.е. меньше на 9,62% (лучшие зарубежные образцы СОД имеют 182..190 г/кВт·ч);
- средний эффективный цикловой расход топлива двигателей первого поколения – 16,57 мг/кВт·ц, второго поколения – 8,57 мг/кВт·ц, т.е. меньше в 1,93 раза (лучшие зарубежные образцы СОД имеют 11,8..8,45 мг/кВт·ц);
- средний удельный эффективный «циклово-литровой» расход топлива двигателей первого поколения – 0,060 мг/кВт·ц·л, второго поколения – 0,134 мг/кВт·ц·л, т.е. больше в 2,3 раза (лучшие зарубежные образцы СОД имеют 0,023..0,097 мг/кВт·ц·л);
- средний удельный эффективный расход масла на угар двигателями первого поколения – 1,22 г/кВт·ч, второго поколения – 0,95 г/кВт·ч, т.е. меньше на 22,13% (лучшие зарубежные образцы СОД имеют 0,7..0,9 г/кВт·ч);
- средний удельный эффективный цикловой расход масла на угар двигателями первого поколения – 0,096 мг/кВт·ц, второго поколения – 0,043 мг/кВт·ц, т.е. меньше в 2,23 раза (лучшие зарубежные образцы СОД имеют 0,046 мг/кВт·ц);
- средний удельный эффективный «циклово-литровой» расход масла на угар двигателями первого поколения – 0,000348 мг/кВт·ц·л, второго поколения – 0,00666 мг/кВт·ц·л, т.е. больше в 1,91 раза (лучшие зарубежные образцы СОД имеют 0,000113.. мг/кВт·ц·л);
- среднее максимальное давление впрыска двигателей первого поколения – 20,0 МПа, второго поколения – 135 МПа, т.е. больше в 6,75 раза (лучшие зарубежные образцы СОД имеют 140..160 МПа).

Развитие судовых СОД ОАО «РУМО» в последние годы осуществляется по ряду основных направлений.

1. Повышение удельной «циклово-литровой» мощности, получаемой с одного литра рабочего объема за один цикл работы двигателя. В новейших модификациях СОД ОАО «РУМО» среднее эффективное давление повышено до 1,83..2,28 МПа. При этом:

- усовершенствованы органы впуска и выпуска подсистемы газообмена, что позволяет увеличить массовое наполнение воздухом рабочих цилиндров при снижении относительных энергетических затрат на их наполнение (коэффициент наполнения до 0,9, коэффициент остаточных газов до 0,02, коэффициент избытка воздуха до 1,3);
- усовершенствованы взаимодействия турбины с органами выпуска, компрессора с органами впуска подсистемы газообмена.

2. Повышение тепловой экономичности достигалось путем:

- увеличения максимального давления рабочего цикла до 17,26 МПа и степени сжатия до 16, что позволяет обеспечить высокую термодинамическую эффективность цикла;
- уменьшения потерь энергии выпускных газов в органах выпуска подсистемы газообмена, увеличения КПД агрегата наддува, а также оптимизации фаз газораспределения и согласования подсистемы «поршневой двигатель – агрегат наддува»;
- повышения давления впрыска топлива до 140 МПа и сокращения его продолжительности в целях интенсификации процессов смесеобразования, сгорания и соответственно тепловыделения;
- повышения длинноходности двигателя  $S/D$  до 1,273, что при одновременном повышении степени сжатия и максимального давления цикла способствует увеличению высоты открытых камер сгорания, сокращению доли пристеночного смесеобразования, повышению коэффициента использования теплоты.

Практическая реализация перечисленных путей улучшения экономичности поршневого четырехтактного дизельного ДВС обеспечила значительный прогресс в процессе модернизации выпускаемых и создания новых моделей четырехтактных СОД ОАО «РУМО».

#### Библиографический список

1. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей: учеб. для студ. ВТУЗов / Д.Н. Вырубов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин [и др.]; под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 372 с.
2. **Конкс, Г.А.** Мировое судовое дизелестроение. Концепции конструирования, анализ международного опыта / Г.А. Конкс, В.А. Лашко. – М.: Машиностроение, 2005. – 512 с.
3. Судовые дизель-редукторные и дизель-электрические агрегаты с дизелями ряда ЧН 22/28. – Нижний Новгород: ОАО «РУМО», 2004. – 8 с.

*Дата поступления  
в редакцию 01.02.2011*

**A.K. Limonov, L.A. Zakharov, V.L. Khimich, I.L. Zakharov, A.V. Sezemin**

#### **NEW TRENDS IN DESIGNING IN-LINE DIESEL ENGINE CAPACITY CYLINDER 10.64L**

In this paper, an analysis of medium engine RUMO first-and second-generation, as well as their comparison with foreign analogues. Engines RUMO second generation were approximately in their characteristics to the best foreign models, namely, the engines of firm MAN B&W and Wartsila.

*Key words:* diesel engine, medium-speed engine, the thermodynamic energy and economic indicators, the geometric dimensions.