

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МОРСКОЙ ИНСТИТУТ

**В Л И Я Н И Е
ВНЕШНИХ И ВНУТРЕННИХ ФАКТОРОВ
НА ИЗМЕНЕНИЕ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ
СУДОВОГО СРЕДНЕОБОРОТНОГО ДИЗЕЛЯ**

Методические указания

к практическому тренажерному занятию по дисциплине
«Судовые двигатели внутреннего сгорания»
для студентов, обучающихся по специальности
26.05.06 – Эксплуатация судовых энергетических установок
очной и заочной форм обучения

Севастополь
СевГУ
2021

УДК 621.436.1-049.7:656.6(076.5)

ББК 39.455.5я73

В58

Р е ц е н з е н т :

В.А. Очеретяный - канд. техн. наук,
доцент кафедры ЭМСС

Составители: Г.В. Гоголев, С.Н. Ткач

В58 Влияние внешних и внутренних факторов на изменение эксплуатационных параметров судового среднеоборотного дизеля : методические указания к практическому тренажерному занятию по дисциплине «Судовые двигатели внутреннего сгорания» для студентов, обучающихся по специальности 26.05.06 – Эксплуатация судовых энергетических установок очной и заочной форм обучения / Севастопольский государственный университет, Морской институт ; сост.: Г.В. Гоголев, С.Н. Ткач. – Севастополь : СевГУ, 2021. – 16 с. – Текст : электронный.

Приведено описание тренажера регулирования параметров судового двигателя внутреннего сгорания и порядок работы на нем. Рассматриваются вопросы влияния внешних и внутренних воздействий при работе среднеоборотного дизеля на винт фиксированного шага и выявляется характер изменения и функциональные зависимости параметров при этих воздействиях.

Пособие предназначено для студентов очной и заочной форм обучения Севастопольского государственного университета, морского института, специальности 26.05.06 – Эксплуатация судовых энергетических установок.

Выполнение практической работы направлено на изучение следующих профессионально-специализированных компетенций (Конвенция ПДНВ):

ПСК-6 – способен осуществлять подготовку, эксплуатацию, обнаружение неисправностей и меры, необходимые для предотвращения причинения повреждений следующим механизмам и системам управления: 1. главный двигатель и связанные с ним вспомогательные механизмы.

УДК 621.436.1-049.7:656.6(076.5)

ББК 39.455.5я73

Рассмотрено и рекомендовано кафедрой энергоустановок морских судов и сооружений Морского института Севастопольского государственного университета в качестве методических указаний к выполнению практического занятия по дисциплине «Судовые двигатели внутреннего сгорания» для студентов направления 26.05.06 – Эксплуатация судовых энергетических установок, протокол № 1 от 31 августа 2018 г.

Допущено учебно-методическим центром СевГУ в качестве методических указаний.

© Гоголев Г.В., Ткач С.Н., сост., 2021
© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Цель практического занятия	5
1. Краткое описание и технические характеристики двигателя МАК 6М324	5
2. Назначение и характеристики тренажера	7
3. Структура и режимы работы тренажера	7
4. Главная панель тренажера	8
5. Панель местного поста управления	8
6. Панель регулировки параметров двигателя	11
7. Панель инструктора	12
8. Порядок выполнения занятия	14
9. Требования к отчету	15
Литература	16

ВВЕДЕНИЕ

В основу современного подхода к технической эксплуатации систем судовых энергетических установок положены следующие принципы: техническая и экологическая безопасность, надежность, экономичность, использование высокого уровня автоматизации и новых технических решений по повышению эффективности их функционирования. Для успешной практической деятельности выпускников необходима тренажерная подготовка для приобретения соответствующих навыков, которые будут полезны при обслуживании современных судовых дизельных установок в реальных условиях. Знания, полученные студентами при выполнении данного практического занятия, пригодятся им и при выполнении соответствующего подраздела выпускной квалификационной работы.

ЦЕЛЬ ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

Целью практического занятия является приобретение знаний о качественном и количественном характере воздействия внешних и внутренних факторов на работу среднеоборотного главного двигателя в составе судовой энергетической установки с винтом фиксированного шага и практическая подготовка студентов к обслуживанию во время работы судового среднеоборотного двигателя и несению вахты в машинном отделении.

1. Краткое описание и технические характеристики двигателя МАК М32

Таблица 1– Технические характеристики двигателя МАК 6М32

Диаметр цилиндра	мм	320
Ход поршня	мм	480
Отношение S/D		1,42
Цилиндровая мощность	кВт	480
Номинальная мощность	кВт	2880
Частота вращения, соответствующая номинальной мощности	об/мин	600
Число цилиндров	шт.	6
Удельный расход топлива	г/кВт*ч	180
Скорость движения поршня	м/с	9,6
Направление вращения	Правое	
Расход топлива при нагрузке 85%	г/кВт*ч	178
Расход топлива при нагрузке 100%	г/кВт*ч	180
Длина	мм	6251
Ширина	мм	2905
Высота	мм	5090
Масса	кг	
Мощность двигателя максимальная	кВт	3168
Скорость	1/мин	615
Минимальная скорость	1/мин	165
Эффективное давление	Bar	24,9
Давление надувочного воздуха	Bar	3, 5
Степень сжатия		13,6
Максимальное давление сгорания	Bar	190
Необходимое количество воздуха t=20°C	m ³ /h	17000
Угол опережения подачи топлива	°до ВМТ	6,5
Температура выхлопных газов после цилиндра	°C	395
Температура выхлопных газов после турбины	°C	305
Расход смазочного масла	г/кВт*ч	0,6
Выброс NOx	г/кВт*ч	10
Тип турбокомпрессора	TPL	

Двигатель МАК 6М32 представляет собой шестицилиндровый, рядный, четырехтактный дизельный двигатель, нереверсивный, с турбонаддувом, промежуточным охлаждением и с прямым впрыском топлива.

Внешний вид двигателя изображен на рис. 1.

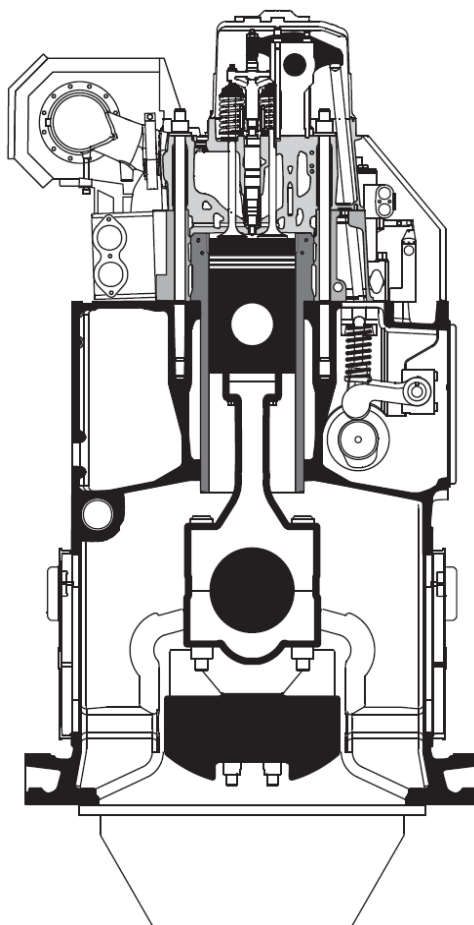


Рисунок 1 – Двигатель МАК 6М32

Остов двигателя представляет собой монолитный, чугунный, сухой блок-картер. На верхнюю плоскость блока установлена высокая рубашка, сверху на нее опирается крышка цилиндра. Между ними образована полость охлаждения, из которой вода переходит в крышку. Конструкция позволяет обеспечить достаточное охлаждение при высоких параметрах нагрузки дизеля.

Втулка цилиндра выступает из блока и более жесткая, ее верхняя часть имеет большую толщину для уменьшения вибрационных нагрузок, которые могут привести к ее повышенному износу.

Коленчатый вал цельнокованый, подвесной. Поршень охлаждаемый, составной. В головке располагаются два компрессионных и одно маслосъемное кольцо. Шатун стальной, круглого сечения с косым разъемом. Вкладыши подшипников тонкостенные трехслойные с электролитическим покрытием мягким цинком или оловом для улучшения приработки.

Форсунки многодырчатые, охлаждаемые маслом. ТНВД золотникового типа фирмы Бош с регулированием по концу подачи. Привод плунжера осуще-

ствляется через рычаг с роликом, сидящем на оси с эксцентриком, поворот которой связан механически с тягой управления подачей топлива. Поворот эксцентриковой оси вызывает продольное перемещение ролика рычага относительно топливного кулачка. Перемещение навстречу вращения кулачка приводит к более раннему впрыску, перемещение в противоположном направлении вызывает более позднее начало подачи топлива.

2. Назначение и характеристики тренажера

Тренажер регулирования параметров судового двигателя внутреннего сгорания предназначен для профессиональной подготовки студентов специальности в объеме квалификационной характеристики специалиста.

Основное назначение тренажера – формирование и совершенствование навыков регулировки судового ДВС путем проведения тренировок по решению ряда типовых и нестандартных эксплуатационных задач, выявлению и устранению разрегулированных параметров ДВ и, влияния внешних и внутренних факторов на параметры каждого цилиндра и ДВС в целом.

Для работы с Тренажером требуется компьютер класса IBM PC или совместимый с процессором не ниже Pentium-II-300, объемом оперативной памяти не менее 64 МВ, видеоадаптер с объемом видеопамати не менее 4 МВ, обеспечивающий видеорежим 1024 x 768 x 64K (High color). Требуемое место на диске – 150МВ. На компьютере должна быть установлена операционная система Windows 2000 либо Windows 98 или Windows ME. Графическая система тренажера использует функции Direct-X 7.0.

Тренажер устанавливается с дистрибутивного компакт-диска. Для установки Тренажера необходимо запустить программу **Diesel Setup.exe**, используя стандартные средства Windows и следовать инструкциям.

3. Структура и режимы работы тренажера

Основной компонент тренажера – динамическая модель рабочего процесса четырехтактного шестицилиндрового ДВС с турбонаддувом мощностью 2880 кВт и номинальной частотой вращения коленчатого вала 600 об/мин, работающего под нагрузкой по винтовой характеристике и снабженного всережимным регулятором частоты вращения.

Интерфейс тренажера реализован в виде ряда переключаемых экранных панелей, на которых отображаются имитаторы элементов судового ДВС и информация о его состоянии. Панели по назначению и способу их вызова на экран подразделяются на основные и дополнительные.

Переключение между панелями осуществляется кнопками в левой нижней части панели. Тренажер работает в четырех режимах:

1. **РЕЖИМ ОБУЧЕНИЯ.** Обучаемый имеет возможность исследовать работу ДВС и каждого цилиндра при воздействии внешних и внутренних факторов. При этом он имеет возможность самостоятельно вносить от-

клонения в работу цилиндров двигателя и изменять внешние возмущения.

2. **РЕЖИМ ОБУЧЕНИЯ, ТАЙМЕР ВКЛЮЧЕН.** Отличается от режима обучения тем, что включен обратный отсчет таймера (правее названия режима), по окончании которого включается режим контроля.
3. **РЕЖИМ КОНТРОЛЯ.** В этом режиме включаются воздействия, введенные инструктором. Задача обучаемого – отрегулировать работу двигателя, привести его параметры к норме.
4. **ОЦЕНКА.** Оценивается работа обучаемого по регулировке параметров двигателя по четырехбальной системе.

Название режима показано в правой нижней части каждой панели.

4. Главная панель тренажера

Главная (титульная) панель предназначена для выбора режима работы тренажера. С этой целью в центре экрана расположено меню, имеющее следующие кнопки: тренировка, обучение, выход.

При нажатии кнопки **«ТРЕНИРОВКА»** тренажер сразу переходит в режим контроля. Возмущения и неисправности вводятся инструктором перед проведением тренировки и сохраняются в девяти файлах режимов. При запуске тренажера в этом режиме обучаемому будет предложено выбрать один из этих девяти режимов, в соответствии указаниями инструктора.

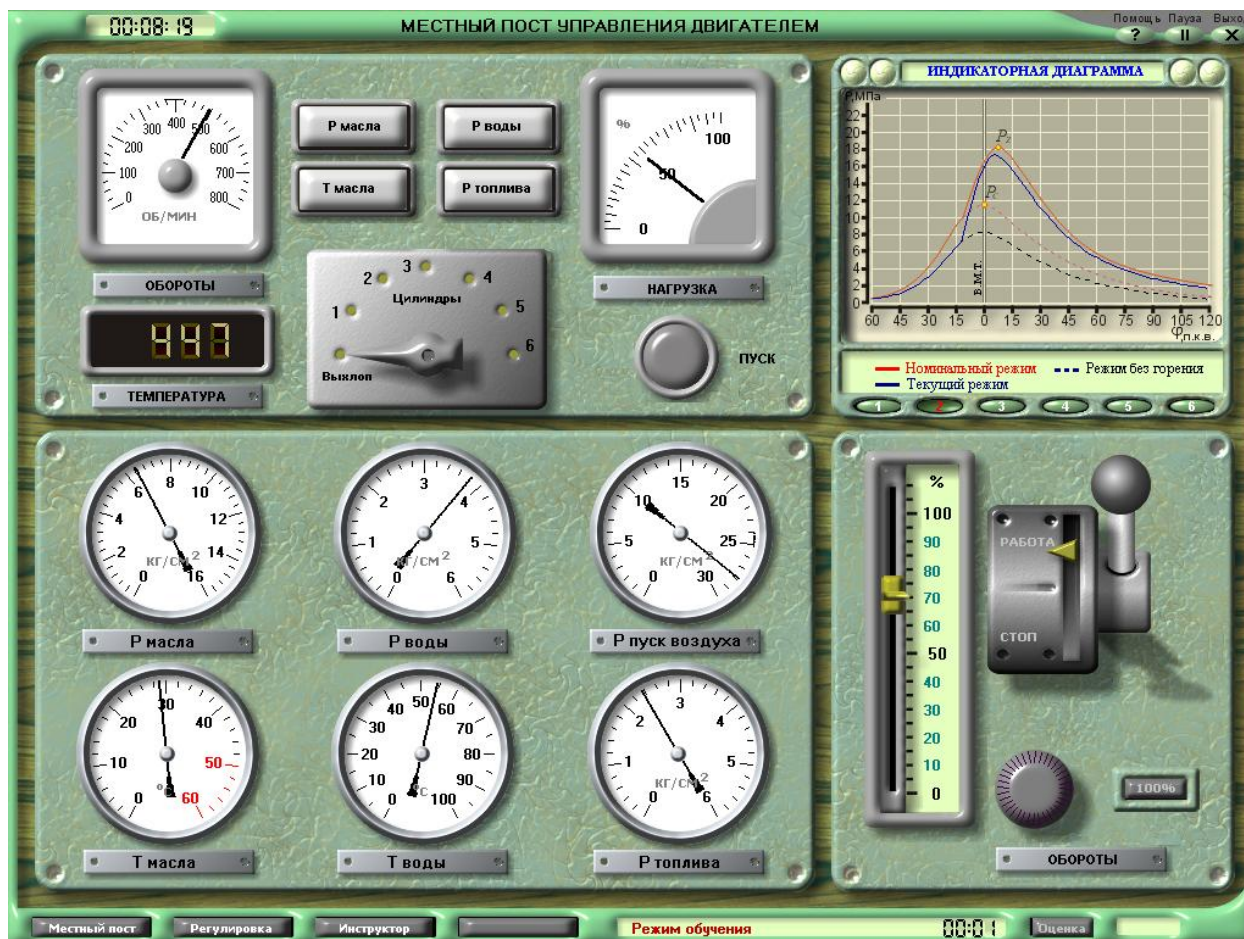
В режиме **«ОБУЧЕНИЕ»** обучаемому предоставляется полный доступ ко всем функциям тренажера. Моделируемое оборудование при запуске тренажера в этом режиме находится в бездействующем состоянии. Обучаемый имеет возможность сохранения текущего состояния модели в файл и последующего восстановления записанного состояния.

5. Панель местного поста управления двигателем

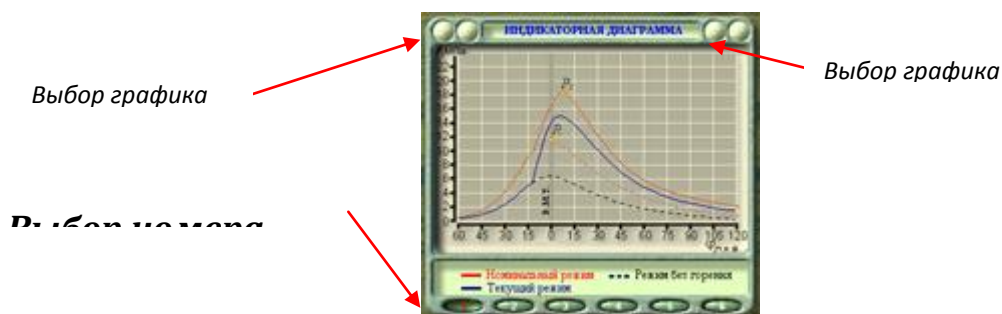
Панель имитирует местный пост управления судовым ДВС. На этой панели отображены приборы контроля и органы управления двигателем, наиболее часто располагаемые на местных постах управления ДВС. Двигатель и его системы считаются готовыми к работе.

Назначение основных органов управления:

- рукоятка (рычаг) **«СТОП – РАБОТА»** выводит или вводит рейку топливного насоса в зацепление. При положении рукоятки в положении **«РАБОТА»** рейка топливного насоса устанавливается в положение 10% (минимально устойчивая работа ДВС);
- рукоятка (круглая) **«ОБОРОТЫ»** перемещает указатель рейки топливного насоса. При наведении указателя мыши справа от рукоятки появляется курсор «+», слева от рукоятки появляется курсор «-». При нажатии кнопки мыши в этой зоне рукоятка вращается, указатель рейки топливного насоса перемещается на увеличение или на уменьшение. При работе двигателя 100% соответствует номинальному режиму;



- кнопка «100 %» при работе ДВС устанавливает рейку топливного насоса в положение 100 % (применена в тренажере для точной установки мощности).
- кнопка «ПУСК» пускает двигатель;
- приборы местного поста управления показывают основные параметры работы двигателя и его систем;
- переключатель на 7 положений выбирает датчик температуры выхлопных газов в коллекторе и по цилиндрам. Соответствующая температура выводится цифровом табло слева от переключателя;
- лампы сигнализации включаются при появлении предупредительных и аварийных сигналов;
- на панели справа вверху представлены диаграммы и графики работы двигателя (такая же информация предоставляется и на панели «Регулировка»).

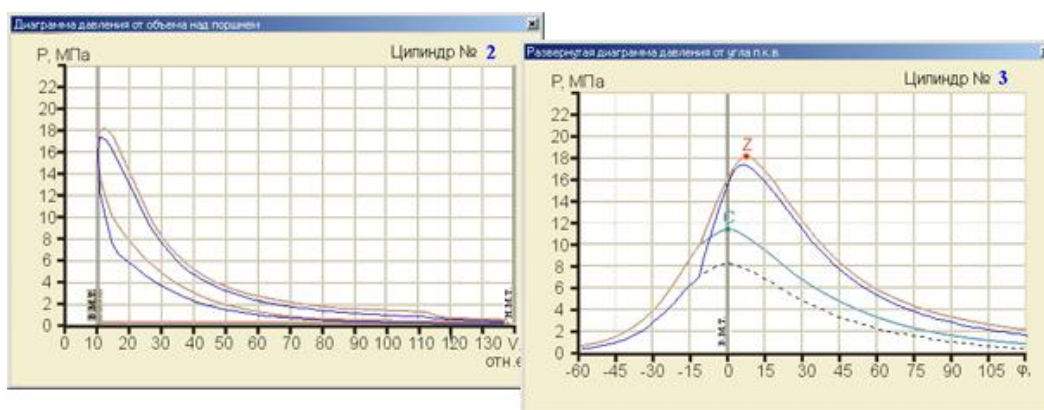


Выбор диаграммы (графика) осуществляется четырьмя кнопками над графиком.

- 1 – развернутая диаграмма давления от угла поворота коленчатого вала;
- 2 - диаграмма давления от объема над поршнем;
- 3 – винтовая характеристика – зависимость мощности ДВС от частоты вращения;
- 4 – зависимость температуры газов в цилиндре от угла поворота коленчатого вала;

На каждом графике красной линией обозначен номинальный режим (легенда показана ниже графика). Шесть кнопок с номерами в нижнем ряду с фиксацией выбирают для просмотра диаграмму соответствующего цилиндра.

Если выбраны индикаторные диаграммы (1 или 2), то щелчком мыши по диаграмме вызывается дополнительная панель с увеличенной копией этой диаграммы, которая располагается поверх основной и может перемещаться захватом мышью в любое место экрана. Таким образом, можно наблюдать сразу две индикаторные диаграммы выбранного цилиндра на дополнительных панелях.



Пуск ДВС осуществляется следующим образом:

Рукоятку «Стоп – Работа» перевести в положение в «Работа». При этом указатель положения рейки топливного насоса переходит в положение, соответствующее минимальной частоте вращения (10 %).

Нажать кнопку «Пуск». При этом ДВС выходит на обороты, заданные рукояткой задания частоты вращения и принимает нагрузку.

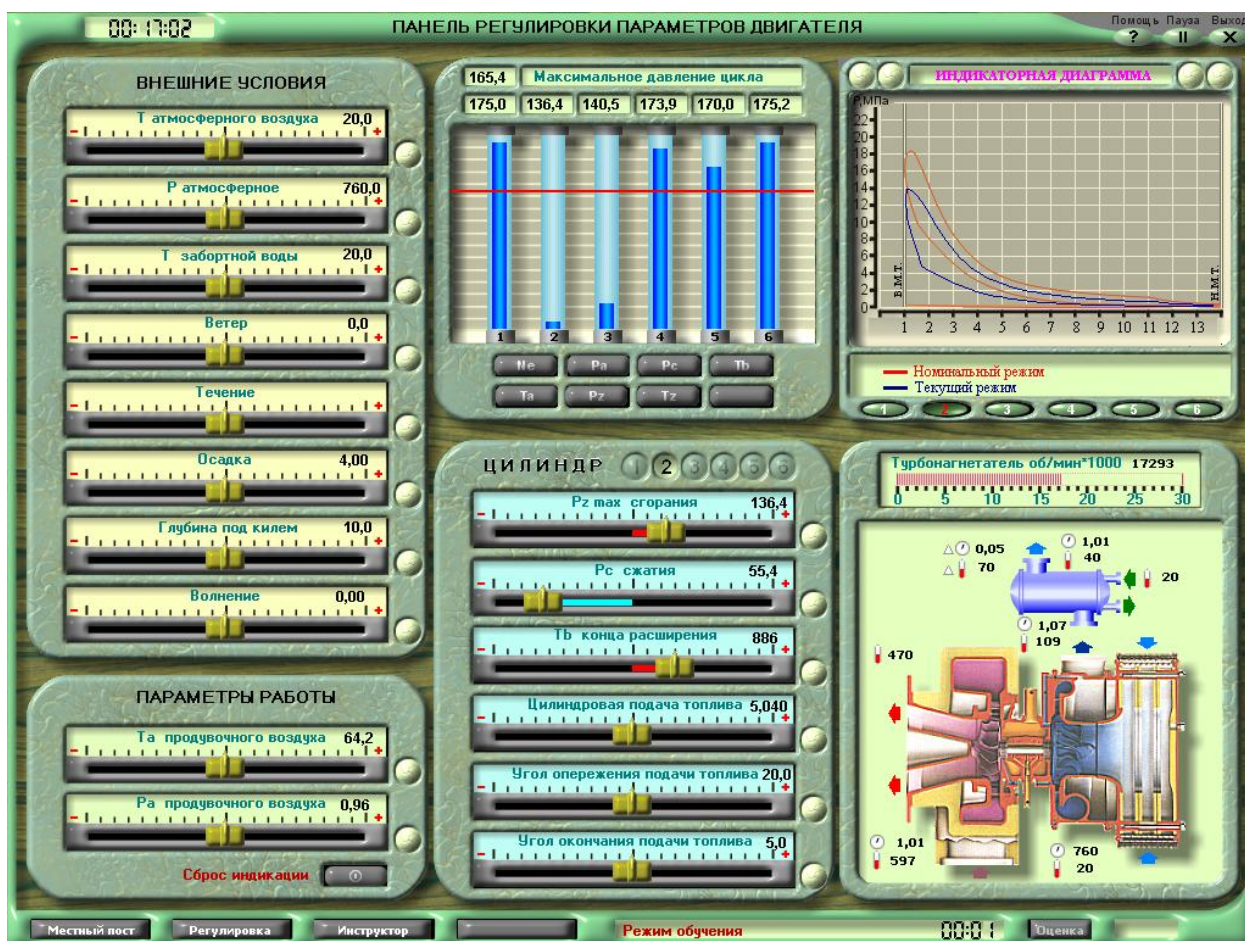
Рукояткой «ОБОРОТЫ» можно изменять частоту вращения от минимальной ($n = 271$ об/мин) до 110 % (100% - $n = 600$ об/мин). Параметры приведены для нормальных условий и при отсутствии внутренних и внешних воздействий. Точную установку 100 % можно задать нажатием кнопки «100 %».

В учебных целях ограничения мощности двигателя нет, поэтому мощность ДВС устанавливается в соответствии с заданной частотой вращения. При нормальных атмосферных условиях (атмосферное давление $p_{атм} = 760$ мм рт. ст., температура воздуха $T_{атм} = 20$ °С и заборной воды $T_{охл} = 20$ °С) эффективная мощность ДВС $N_e = 2880$ кВт, эффективная мощность цилиндра 480 кВт.

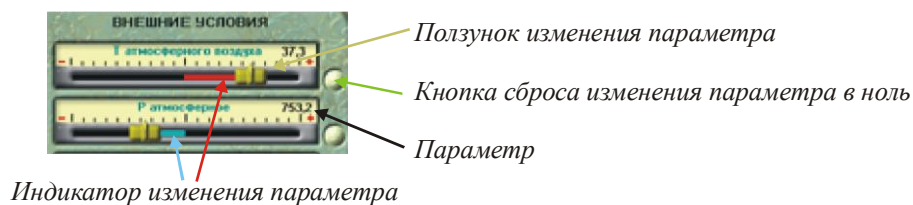
6. Панель регулировки параметров двигателя

На этой панели дается подробная информация о параметрах ДВС и каждого цилиндра.

Слева на панели установлен ряд ползунков, с помощью которых пользователь имеет возможность изменить внешние воздействия, условия работы ДВС и выбранного цилиндра. Ползунок можно смещать вправо или влево, захватив его мышкой (при этом курсор приобретает форму руки) или щелкнув мышкой в месте остановки ползунка.



Слева на панели установлен ряд ползунков, с помощью которых пользователь имеет возможность изменить внешние воздействия, условия работы ДВС и выбранного цилиндра. Ползунок можно смещать вправо или влево, захватив его мышкой (при этом курсор приобретает форму руки) или щелкнув мышкой в месте остановки ползунка.



При смещении ползунка вправо выбранный параметр увеличивается, при этом увеличивается красная зона индикатора от центра к ползунку. При смещении ползунка влево выбранный параметр уменьшается, при этом увеличивается синяя зона индикатора от центра к ползунку. В центре панели размещены ползунки изменения параметров регулирования для каждого цилиндра. Эти параметры изменяются только для выбранного цилиндра. Номер цилиндра выбирается нажатием соответствующей кнопки с фиксацией.

Все выбранные параметры регулирования можно списать одновременно, нажав кнопку «Сброс индикации».

Из внешних условий работы моделируется изменение:

- температуры атмосферного воздуха $\pm 20^{\circ}\text{C}$;
- атмосферного давления ± 20 мм рт. ст.;
- температуры забортной (охлаждающей) воды $\pm 15^{\circ}\text{C}$;
- ветра, течения, осадки, глубины под килем, волнения;

Из общих параметров работы ДВС моделируется изменение:

- температура продувочного воздуха $\pm 25^{\circ}\text{C}$;
- давление продувочного воздуха $\pm 25\%$ от давления на выбранном режиме;

Из параметров работы каждого цилиндра моделируется изменение:

- максимального давления сгорания;
- давления сжатия;
- температуры конца расширения (выхлопных газов);
- цикловой подачи топлива;
- угла опережения подачи топлива;
- угла окончания подачи топлива.

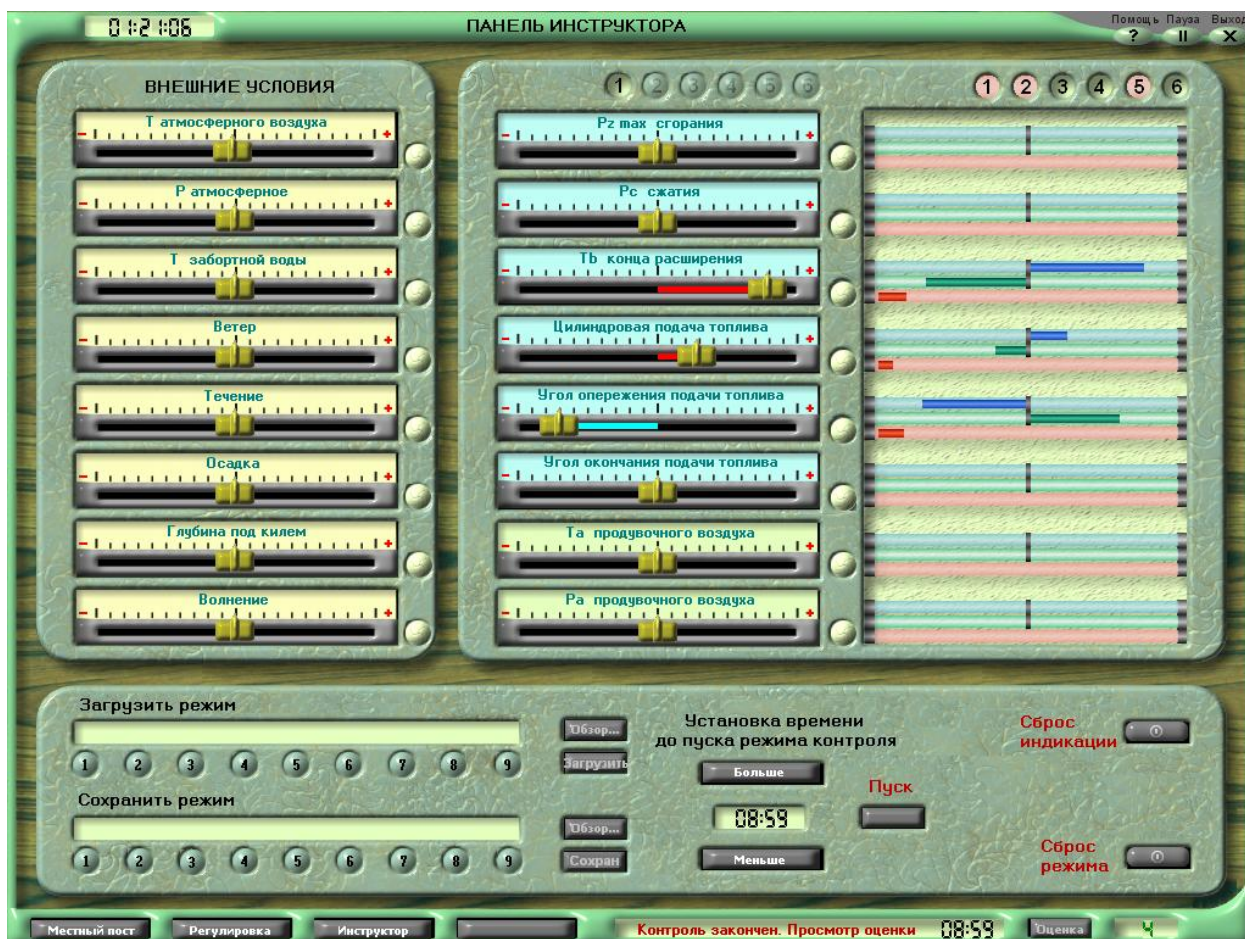
Параметры цилиндров можно сравнить с расчетными параметрами цилиндра, работа которого соответствует нормальным атмосферным условиям, данному режиму работы ДВС и отсутствию внешних и внутренних факторов, регулирующих работу ДВС.



В правом нижнем углу панели показаны параметры турбокомпрессора и воздухоохладителя.

7. Панель инструктора

На «ПАНЕЛИ ИНСТРУКТОРА» имеется возможность ввести параметры разрегулирования ДВС, режим работы тренажера.



Параметры разрегулирования хранятся на диске под «Номером режима» и могут выбираться соответствующими кнопками. Всего сохраняется 9 режимов. Выбрав соответствующий режим, инструктор может просмотреть заданные параметры разрегулирования (в том числе и для каждого цилиндра). При необходимости инструктор редактирует параметры разрегулирования и сохраняет их под любым номером, нажав кнопку «Сохранить режим». Параметры разрегулирования редактируются аналогично изменению параметров регулирования на панели «Регулирование ДВС». Таким образом, можно составить библиотеку из 9 наборов параметров разрегулирования по степени их сложности. Эти параметры разрегулирования загружаются при выборе режима «ТРЕНИРОВКА» с главной панели.

Здесь же имеется возможность сохранить и загрузить состояние тренажера на данный момент. Сохранение и загрузка состояния тренажера осуществляется через стандартный диалог Windows под любым именем. Вызов диалога осуще-

ствляется кнопками «Обзор». Подтверждение имени введенного файла – кнопками «Сохранить» и «Загрузить» соответственно.

Для пуска РЕЖИМА КОНТРОЛЯ кнопками «Больше» или «Меньше» инструктор устанавливает время в мин.сек., через которое включится режим разрегулирования параметров. После нажатия кнопки «Пуск» начинается обратный отсчет времени, все индикаторы разрегулирования гаснут, блокируются кнопки выбора режима, ползунки изменения параметров разрегулирования и показа индикации. Тренажер переходит в режим обучения с включенным таймером.

В этом режиме ДВС работает в нормальных условиях. Пользователь может исследовать работу ДВС и любого цилиндра на любом режиме и при воздействии любого параметра регулирования с панели «Регулирование ДВС» (см. выше).

По окончании отсчета времени загорается табло «Режим контроля» и вводятся все параметры разрегулирования, заданные инструктором. Начинается отсчет времени режима контроля.

Основная задача пользователя в этом режиме – анализируя работу ДВС и каждого цилиндра, параметрами регулирования с панели «Регулирование ДВС» списать параметры разрегулирования, введенные инструктором. Конечная цель тренировки – вывести работу ДВС на номинальный режим работы.

После полной регулировки параметров пользователем, он нажимает кнопку «Оценка». Рядом с кнопкой появляется оценка работы по четырехбальной системе.

На «ПАНЕЛИ ИНСТРУКТОРА» справа появляется горизонтальная индикация для каждого параметра разрегулирования (верхний синий индикатор - введен инструктором), параметра регулирования (средний зеленый индикатор - введен пользователем) и разбаланс регулирования (нижний красный индикатор). Индикация соответствует выбранному номеру цилиндра. Горящие лампы с номерами указывают на номер цилиндра, на котором имеется разбаланс параметра, введенного инструктором и обучаемым.

В оценку работы обучаемого входит сложность задания (количество параметров разрегулирования), суммарный разбаланс и время режима контроля.

Кнопка «Сброс режима» на «ПАНЕЛИ ИНСТРУКТОРА» возвращает тренажер в исходное состояние (в том числе и параметры, введенные инструктором).

8. Порядок выполнения занятия

1. Изучить структуру и возможности тренажера, используя инструкцию, методические указания.

2. Перейти в режим «Обучение»

3. Осуществить пуск двигателя, используя рукоятки СТОП-РАБОТА, которую следует первоначально установить в положение РАБОТА. Затем воспользовавшись рукояткой ОБОРОТЫ выставить минимально устойчивые

обороты двигателя соответствующие 10 % номинальной мощности и потом нажать кнопку ПУСК. Зафиксировать в отчете значения основных параметров.

4. Выставить используя круглую рукоятку ОБОРОТЫ режим номинальной мощности (100 %). Зафиксировать в отчете значения основных параметров.

5. Путем изменения на панели РЕГУЛИРОВКА ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЯ внешних условий (температуры, давления воздуха, температуры забортной воды, силы ветра, течения и волнения моря), а также температуры и давления наддувочного воздуха проанализировать их влияние на параметры работы дизеля (частоту вращения, мощность, температуры выпускных газов по цилиндрам и в выпускном коллекторе, температуры масла, воды и т.п.).

6. Путем изменения давления конца сжатия, давления сгорания, температуры конца расширения, цилиндрической подачи, угла опережения подачи топлива, угла окончания подачи топлива по отдельным цилиндрам проанализировать изменение параметров работы дизеля.

7. Оформить отчет по практическому занятию.

9. Требования к отчету

1. Отчет выполняется на листах формата А4.
2. Отчет должен содержать название и цель занятия.
3. Отчет должен содержать описание проведенных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мясников Ю.Н., Иванченко А.А., Никитин А.М. Информационные технологии в пропульсивном комплексе морского судна: монография – СПб: ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, 2013. – 364 с.
2. Возницкий И.В. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Том 2. Теория и эксплуатация двигателей / И.В. Возницкий, А.С. Пунда. - М.: Моркнига, 2010. - 382 с.
3. Техническая эксплуатация судовых дизельных установок: учеб. пособие. Г.В. Гоголев, Ю.А. Лисняк – Севастополь: СевГУ, 2017. – 372 с.
4. Спиряков С.В. Тренажерная подготовка: учебное пособие. – СПб.: ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова, 2014. – 127 с.
5. MAK M32C Project Guide. Propulsion. CATERPILLAR Motoren. GmbH&Co/KG, Kiel, 2007. – 99 с.

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ И ВНУТРЕННИХ ФАКТОРОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ СУДОВОГО СРЕДНЕОБОРОТНОГО ДИЗЕЛЯ

*Методические указания
к выполнению практического тренажерного занятия*

*Составители: Гоголев Геннадий Вениаминович,
Ткач Сергей Николаевич*

В авторской редакции

Изд. № 88/2019. Объем 1 п.л. Усл. печ. л. 0,93. Уч.-изд. л. 0,98.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»