электронный научно-технический журнал
ИНЖЕНЕРНЫЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51036. ISSN 2307-0595

Развитие методов снятия и обработки индикаторных диаграмм

11, ноябрь 2015

Леонов И. В.[1], Луцкая С. А.[1,*]

УДК: 531.8 (075.8)

[1]Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана
*solutskaya@gmail.com

Введение

Индикаторная диаграмма представляет собой замкнутую кривую. По оси абсцисс откладывают величину перемещения поршня, а по оси ординат — давление в цилиндре. По её форме можно судить об исправности машины и рабочего процесса в цилиндре. При отклонении от нормальной формы диаграммы можно определять - в чём именно заключается неисправность. С использованием индикаторной диаграммы можно определять индикаторную мощность и определять КПД машины. Таким образом, индикаторные диаграммы применяют для технической диагностики поршневых машин.

Индикаторной диаграммой называют графическую зависимость давления в цилиндре от перемещения поршня в поршневых машинах, а своё название она получила от используемого для её регистрации измерительного прибора – механического или электронного индикатора.

Первые индикаторные диаграммы были использованы Джеймсом Уаттом и его работником Джоном Саузерном для повышения КПД паровых двигателей. В 1796 году Д. Саузерн применил простой, но несовершенный, метод получения диаграмм. Он прикрепил планку таким образом, чтобы она двигалась синхронно с поршнем, тем самым отслеживая перемещение поршня относительно неподвижной оси, в то время как карандаш, связанный с измерителем давления, двигался в перпендикулярном поршню направлении, отмечая таким образом величину давления,

Диаграмма позволила Уатту вычислить выполненную паром работу, с учётом того, что давление падает до нуля к концу хода, тем самым гарантируя, что вся полезная энергия была учтена. Уатт использовал эту диаграмму для повышения мощности парового двигателя и долго держал её в секрете.

Схема экспериментальной установки с механическим индикатором фирмы Майгак, применяемой в МГТУ им. Н.Э. Баумана лабораторной работе, представлена на рисунке 1. Цилиндр компрессора 1 через кран 2 соединяется с цилиндром индикатора 3. Поршень

индикатора 4 под действием давления перемещается и сжимает пружину 5. Перемещение поршня 4 через рычажный механизм 6 с постоянным передаточным отношением сообщается пишущему стержню. Лист бумаги 8, на котором записывается диаграмма, закрепляют на барабане 7 пластинчатыми пружинами. Барабан приводится во вращение шнуром 10, прикреплённым к поршню компрессора. Возврат барабана в исходное положение осуществляется пружиной 9. В результате суммирования перемещений стержня и барабана на листе бумаги вычерчивается индикаторная диаграмма. За начало отсчёта давления на индикаторной диаграмме принимают линию атмосферного давления.

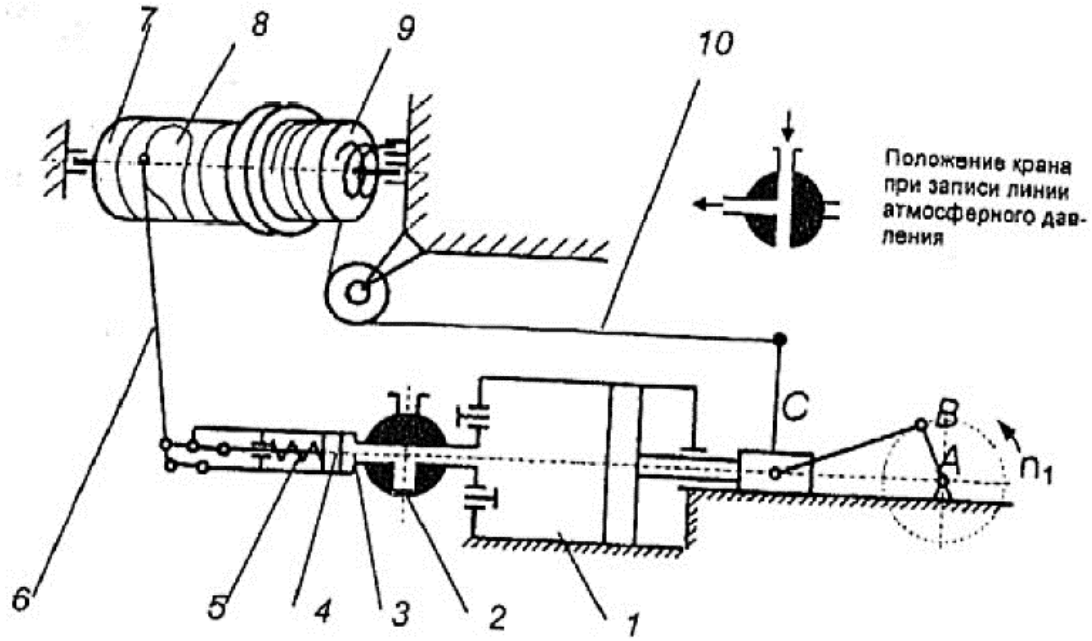


Рис. 1. Схема экспериментальной установки с механическим индикатором фирмы Майгак

По мере развития тепловых двигателей и увеличения их быстроходности совершенствовались и индикаторные приборы. Простые по устройству механические индикаторы уступили место более сложным, которые позволяют не только получать индикаторные диаграммы отдельных процессов и судить о правильности их протекания, но и наблюдать отдельные процессы непосредственно на экране.

До настоящего времени регистрация индикаторных диаграмм в ДВС обычно осуществлялась стробоскопическими электропневматическими индикаторами типа МАИ-2, но устройство контактных датчиков давления [1] не позволяло получить характеристики скорости тепловыделения с достаточной точностью. Современные приборы для индицирования созданы на основе пьезокварцевых датчиков давления, нелинейность характеристик которых составляет менее 1%, прецизионных усилителей-преобразователей в интегральном исполнении и аналого-цифровых преобразователей сигнала, позволяющих проводить обработку диаграмм на компьютере. Многоканальность устройства позволяет одновременно с записью давления в цилиндре регистрировать в ДВС мертвую точку механизма и другие важные параметры.

Эти диаграммы позволяют на тактах сжатия и рабочего хода определить максимальное давление рабочего тела и максимальную скорость его нарастания. Вычислив из кинематики кривошипно-шатунного механизма изменение рабочего объема, можно найти совершенную индикаторную работу и изменение внутренней энергии рабочего тела. Это позволяет оценить качество протекания процессов газообмена и насосные потери в двигателе.

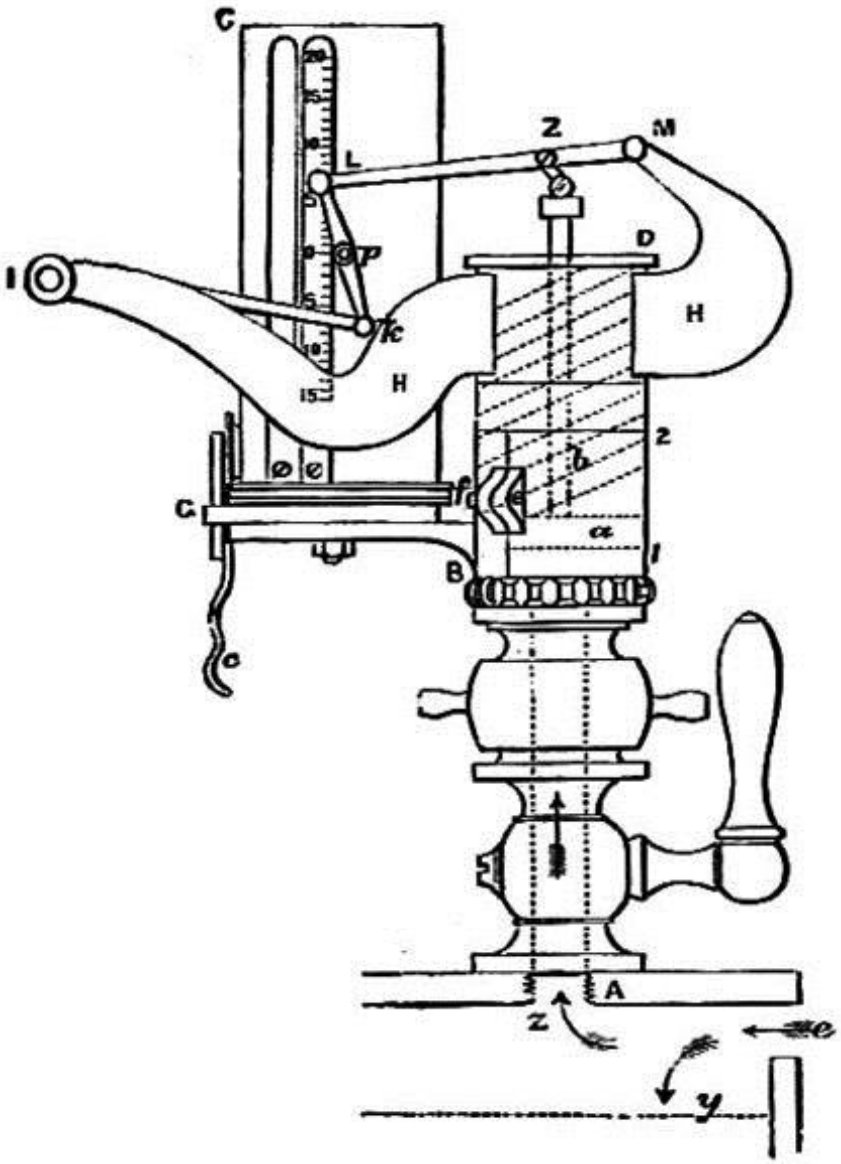


Рис. 2. Механизм для снятия индикаторной диаграммы, 1885 год.
Steam and the Steam Engine: Land and Marine

В связи с развитием современных технологий и необходимостью применения ЭВМ для автоматизации обработки индикаторной диаграммы в МГТУ им. Н.Э. Баумана была разработана программа, позволяющая и обрабатывать результаты реального эксперимента, и моделировать виртуальный эксперимент. На рисунке 3 представлена блок-схема разработанного электронного устройства. В него вводятся необходимые исходные данные для последующего расчёта. Блок расчёта перемещения поршня по этим данным произво-

дит расчёт перемещения поршня по времени, которое связано с углом поворота коленчатого вала

$$t = \frac{\varphi}{\omega},$$

где ω - угловая частота вращения вала.

Сигнал с датчика давления преобразуется с помощью АЦП и подаётся на ЭВМ. В результате компьютер получает два массива – сигнал датчика давления и массив перемещения поршня по времени. На печать выводятся график перемещения поршня, а также график сил давления.

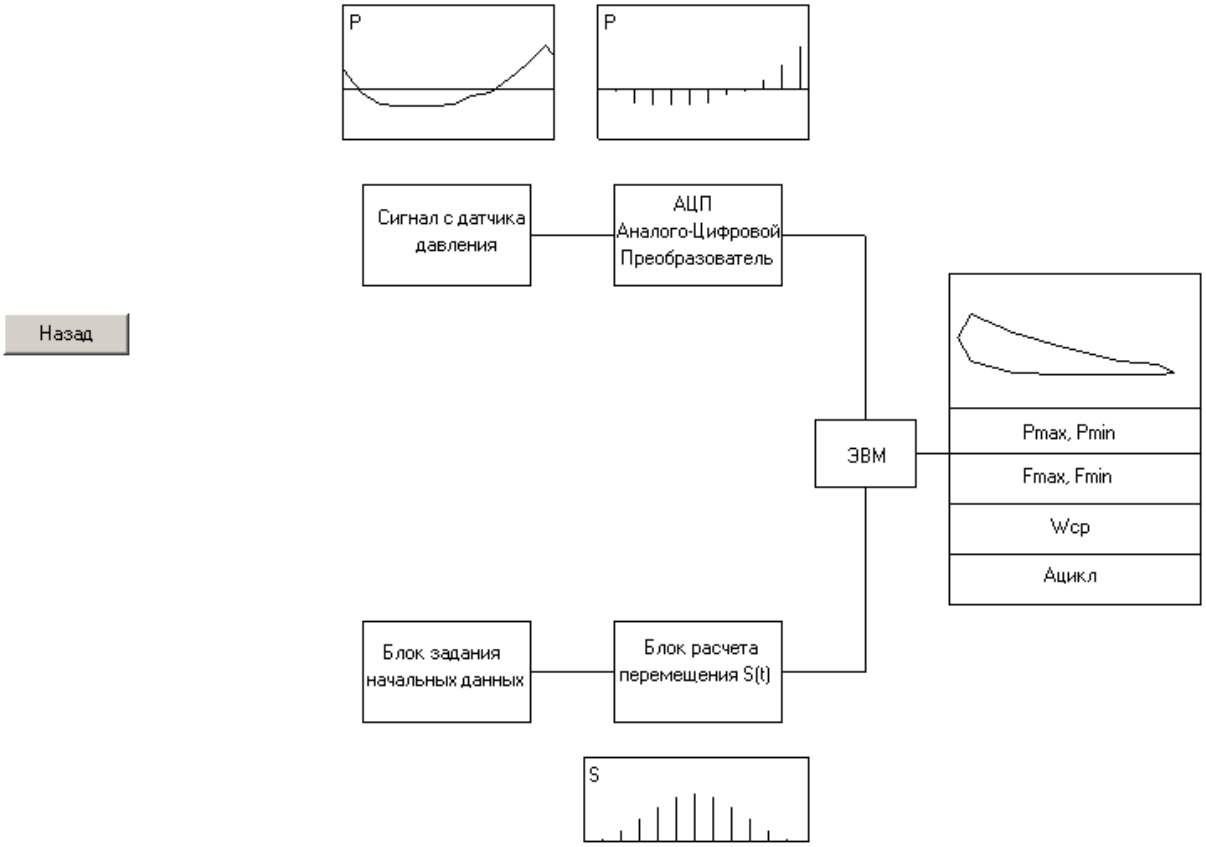


Рис.3. Блок-схема разработанного в МГТУ им. Н.Э. Баумана электронного устройства для обработки индикаторной диаграммы

По полученным экспериментальным данным можно вычислить минимальное и максимальное давление в цилиндре, а также работу, выполненную за цикл и среднюю мощность.

Новая программа не только упрощает выполнение лабораторной работы, но и позволяет проводить различные исследования – варьируя исходные данные, такие как длины звеньев или диаметр поршня, наблюдать изменение максимального давления, мощности или работы за цикл. Данные примера обработки индикаторной диаграммы представлены на рисунке 4. Затем демонстрируется сам процесс записи индикаторной диаграммы на экспериментальной установке (рис.5).

Исходные данные

Ход поршня, м	0,1
Отношение длин звеньев, L2/L1	4,4
Диаметр поршня, м	0,04
Угловая скорость, рад/с	300

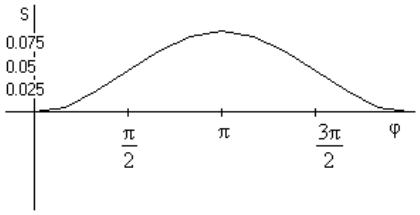
Обработка данных

Test

Блок-схема

Pmax, Па	12000
Pmin, Па	-5000
Fmax, Н	15,072
Fmin, Н	6
Ацикл, Дж	-1,567
Wср,Вт	32,81
Авс, Дж	0,549
Асж, Дж	-1,018

Перемещение



Сигнал датчика давления

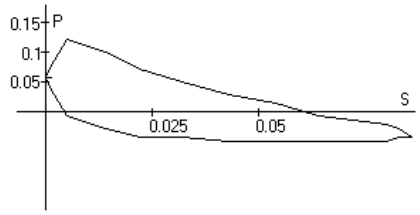
0,06
-0,01
-0,04
-0,05
-0,05
-0,05
-0,04
-0,02
-0,007
0,03
0,07
0,12

время

0,000
0,0017
0,0034
0,0051
0,0068
0,0085
0,0102
0,0119
0,0136
0,0153
0,017
0,0187

Время находится как отношение угла поворота к угловой скорости

Преобразование сигнала в индикаторную диаграмму



Сила

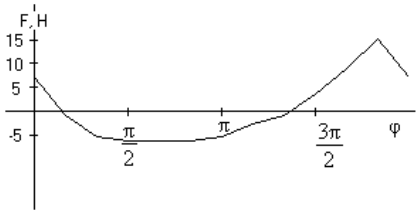


Рис. 4. Пример обработки индикаторной диаграммы компрессора

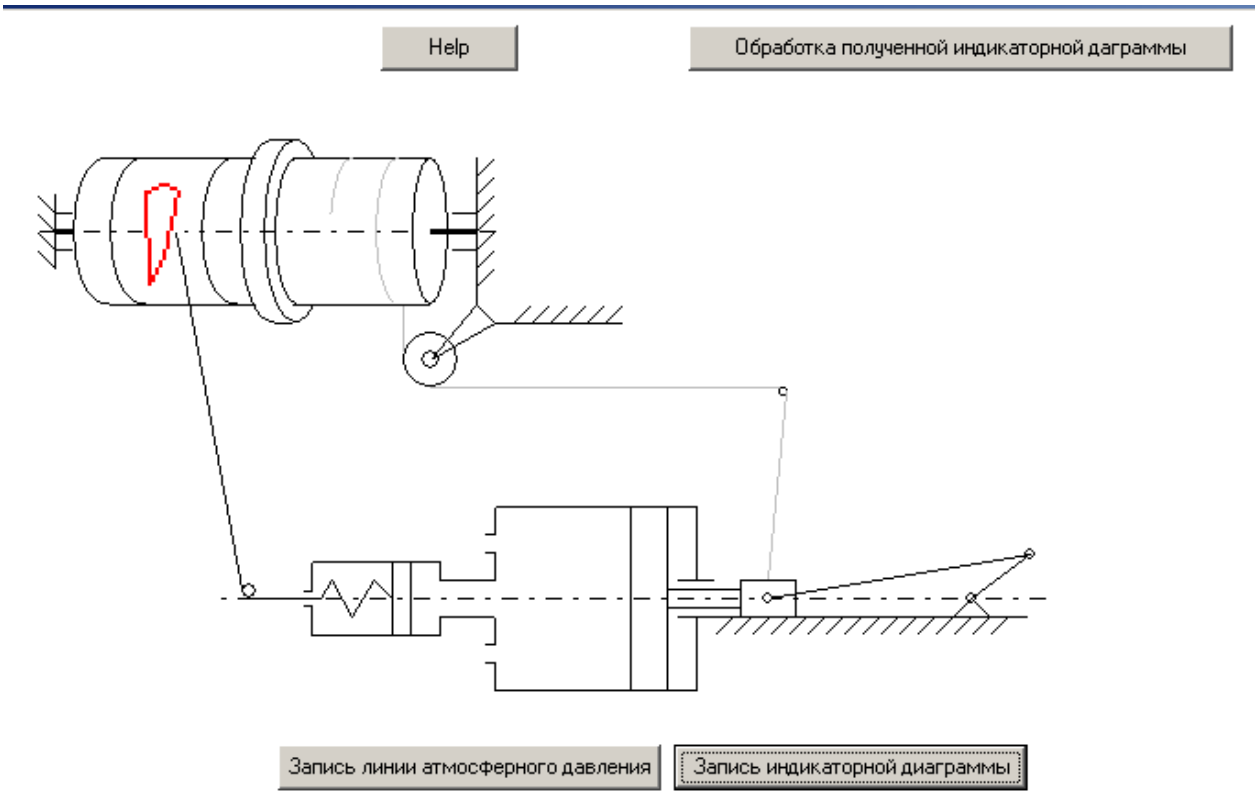


Рис. 5. Демонстрация процесса записи индикаторной диаграммы с использованием механического индикатора.

Алгоритм, по которому программа проводит расчёт приведен в справочном окне Help, что позволяет студентам ознакомиться с ним.

Заключение

1. Снятие и обработка индикаторной диаграммы предоставляет надёжный метод оценки качества процессов в поршневой машине, поэтому автоматизация её обработки является перспективным направлением совершенствования этого метода.

2. Процесс совершенствования метода снятия и обработки индикаторной диаграммы заключается, как в совершенствовании датчиков давления, так и разработки программ обработки экспериментальной индикаторной диаграммы

3. Оценки нарушений рабочего процесса поршневой машины возможны путём расчёта параметров отдельных участков диаграммы и сравнения их с теоретически достижимыми оптимальными значениями.

Список литературы:

1. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. и др. Машиностроение. Энциклопедия. Том IV-14. Двигатели внутреннего сгорания. / Под общ. ред. А.А. Александрова и Н.А. Иващенко. М.: Машиностроение. 2013. 784 с.

2. Щерба В.Е. Оценка эффективности работы поршневого вакуум-насоса и поршневого компрессора с кривошипно-шатунным приводом и приводом, обеспечивающим оптимальный закон изменения объема / Материалы XIII Научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов "Вакуумная наука и техника". (Москва, Мос. гос. ин-т электроники и математики, октябрь, 2006). М.: МИЭМ. 2006. 421 с. С. 122-126.

3. Белоусов В.С., Смирнов Д.Н. Математическое моделирование индикаторных диаграмм поршневых насосов сверхвысокого давления / Научный вестник НГТУ. Новосибирск: НГТУ. 2008. N 2. С. 59-70.

4. Леонов И.В., Леонов Д.И. Теория механизмов и машин. М.: Высшее образование. 2009. 239 с.