

МАШИНОВЕДЕНИЕ

А. В. ТЕРЗЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ НАЧАЛЬНОГО ПЕРИОДА ИНДУКЦИИ
ВИХРЕКАМЕРНОГО ДИЗЕЛЯ

Начальный период индукции (задержка воспламенения) вихрекамерного тракторного дизельмотора является определяющим параметром рабочего процесса, заключающего в себе большие возможности в отношении существенного улучшения двигателя по всем его показателям. С начальным периодом индукции (τ_i) непосредственно связаны такие вопросы дизелестроения, как управляемость рабочего процесса, жесткость работы, экономичность, быстроходность и пуск дизелей. При работе двигателя на начальный период индукции влияют многочисленные факторы, которые изменяются как при изменении скоростных и нагрузочных режимов, так и угла опережения впрыска и температуры охлаждающей воды. Под влиянием этих факторов величина начального периода индукции может уменьшаться или увеличиваться, в связи с чем и процесс сгорания будет протекать различно.

В настоящем исследовании мы ставили перед собой задачу выяснить закономерности изменения начального периода индукции, а следовательно и протекание последующего процесса сгорания по различным характеристикам. Опыты проводились на тракторном двигателе „Д-35“. Режим работы двигателя контролировался измерением мощности, числа оборотов, расхода топлива, расхода воздуха и температуры выхлопных газов. Для определения начального периода индукции и параметров протекания процесса, второй цилиндр двигателя подвергался индицированию в вихревой и основной камерах, пьезокварцевым датчиком с осциллографом МПО-2. Схема установки датчиков на двигателе представлена на рис. 1.

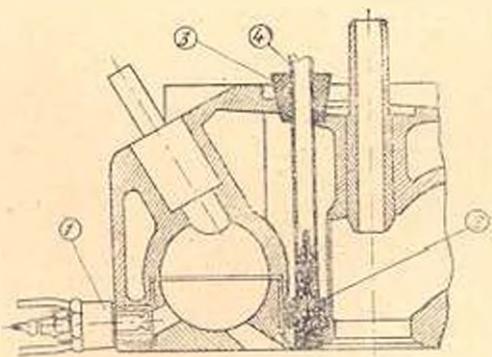


Рис. 1. Установка датчиков на двигателе.

Тарировка датчиков производилась при помощи гидравлического манометра со специально изготовленным краном (для динамической тарировки). Отметка момента впрыска на осциллограммах производи-

лась контактным датчиком, установленным на форсунке. Для определения начального периода индукции и параметров протекания процесса был разработан новый метод обработки индикаторных диаграмм, по их первым производным [1]. Для получения первой производной пользовались графическим методом. Сильно увеличенная (12–15 раз) энциклопеном развернутая индикаторная диаграмма делилась на равные участки и для каждого участка определялась величина $\frac{\Delta P}{\Delta \varphi}$. Дли-

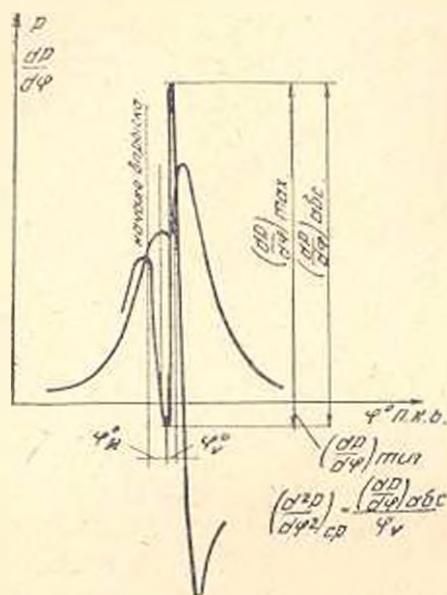


Рис. 2. Графический метод обработки индикаторной диаграммы.

ны участков по оси абсцисс при обработке индикаторных диаграмм не превышали 1,5–2° поворота коленчатого вала и поэтому для данного участка можно было принять $\frac{\Delta P}{\Delta \varphi} \approx \frac{dP}{d\varphi}$. Пример такого метода обработки индикаторных диаграмм приведен на рис. 2. Этот метод дал возможность определить не только начальный период индукции, но и ряд параметров рабочего процесса, а именно:

$$а) \quad \left(\frac{dP}{d\varphi} \right)_{\max} \left[\frac{\text{кг}}{\text{см}^2 \text{ гр}} \right]$$

$$\text{или} \quad \left(\frac{dP}{dt} \right)_{\max} \left[\frac{\text{кг}}{\text{см}^2 \text{ msec}} \right];$$

$$б) \quad \left(\frac{dP}{d\varphi} \right)_{\min} \left[\frac{\text{кг}}{\text{см}^2 \text{ гр}} \right] \quad \text{или} \quad \left(\frac{dP}{dt} \right)_{\min} \left[\frac{\text{кг}}{\text{см}^2 \text{ msec}} \right];$$

$$в) \quad \left(\frac{dP}{d\varphi} \right)_{\text{абс}} \left[\frac{\text{кг}}{\text{см}^2 \text{ гр}} \right] \quad \text{или} \quad \left(\frac{dP}{dt} \right)_{\text{абс}} \left[\frac{\text{кг}}{\text{см}^2 \text{ msec}} \right];$$

$$г) \quad \varphi_n \text{ [гр. п. к. в]} \quad \text{или} \quad \tau_n \text{ [msec]};$$

$$д) \quad \frac{d^2 P}{d\varphi^2} \left[\frac{\text{кг}}{\text{см}^2 \text{ гр}^2} \right] \quad \text{или} \quad \frac{d^2 P}{dt^2} \left[\frac{\text{кг}}{\text{см}^2 \text{ msec}^2} \right]$$

Исследование начального периода индукции по скоростной характеристике, выявление непосредственного влияния числа оборотов на рабочий процесс вообще, и на начальный период индукции в частности, в связи со все большим увеличением быстроходности дизелей имеет большое теоретическое и практическое значение.

Число оборотов изменялось в значительном интервале— 700–1750 об/мин. Зависимости начального периода индукции и параметров протекания процесса от числа оборотов двигателя приведены

на рис. 3. Из этого графика видно, что изменение числа оборотов сильно сказывается не только на начальный период индукции, но и на дальнейший ход протекания процесса сгорания. При увеличении числа оборотов начальный период индукции по времени уменьшается, а по углу поворота коленчатого вала значительно увеличивается. Уменьшение начального периода индукции с увеличением числа оборотов является результатом изменения большого множества факторов. Так, например, при увеличении числа оборотов повышается температурное состояние рабочего пространства цилиндра (температура поршня, стенок камеры и клапанов) и давление в момент впрыска топлива*. С другой стороны при увеличении числа оборотов двигателя скорость вихревого движения в цилиндре возрастает, что приводит к улучшению смесеобразования и увеличению коэффициента теплоотдачи от воздуха к распыленному топливу. Кроме того, при повышении числа оборотов начало впрыска смещается в сторону увеличения запаздывания [2], ибо при этом уменьшается время, в течение которого давление топлива от остаточного возрастает до давления открытия иглы форсунок. Следует также отметить, что при уменьшении числа оборотов смесеобразование ухудшается, так как процесс впрыска топлива по времени растягивается и процесс разогрева смеси затягивается.

Очевидно, что влияние всех этих факторов на начальный период индукции взаимно переплетаются, но влияние возрастания температуры и давления при увеличении числа оборотов среди всего этого разнообразия факторов является доминирующим, хотя и влияние остальных факторов нельзя отрицать.

Кривые параметров протекания процесса $\left(\frac{dP}{d\varphi}\right)_{\max}$, $\left(\frac{dP}{d\varphi}\right)_{\min}$, $\left(\frac{dP}{d\varphi}\right)_{\text{авс}}$, τ_v и $\frac{d^2P}{d\varphi^2}$ представленные на том же графике, показы-

вают, что изменение числа оборотов влияет не только на начальный период индукции, но и на дальнейший ход процесса сгорания. Максимальная скорость повышения давления при увеличении числа оборотов возрастает, причем величина ее зависит от начального периода индукции. Минимальная скорость повышения давления с увеличением числа оборотов уменьшает-

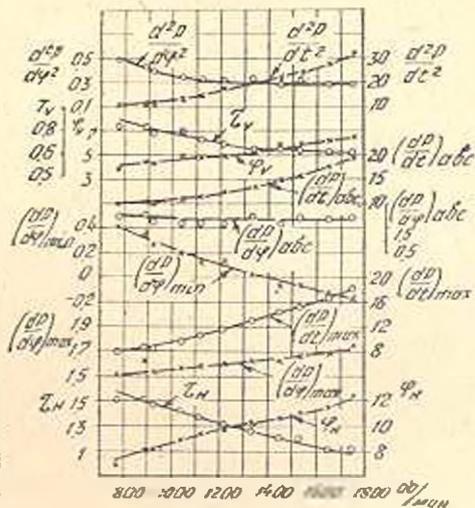


Рис. 3. Зависимости параметров протекания процесса от числа оборотов двигателя.

* В наших опытах давление в конце сжатия при $n = 775$ об/мин было равно $48,6 \text{ кг/см}^2$, а при 1750 об/мин — $52,4 \text{ кг/см}^2$.

ся и тем самым обуславливает наличие „провала“ в протекании процесса. Такое протекание минимальной скорости нарастания давления можно объяснить тем, что при высоких оборотах двигателя (следовательно при больших φ_H) сгорание переходит на линию расширения. Как видно из графика, приведенного на рис. 3, значения минимальной скорости повышения давления, начиная уже с 1350 об/мин, приобретает отрицательные значения. Следует отметить, что такое протекание процесса нежелательно. Зависимости, приведенные на рис. 3, получены из индикаторных диаграмм, снятых в вихревой камере. Непосредственно в надпоршневом пространстве имеет место более значительный „провал“.

Нагрузочная характеристика снималась на основном скоростном режиме двигателя ($n = 1400$ об/мин). Зависимости начального периода индукции и параметров протекания процесса от нагрузки двигателя представлены на рис. 4. Рассматривая эти кривые можно

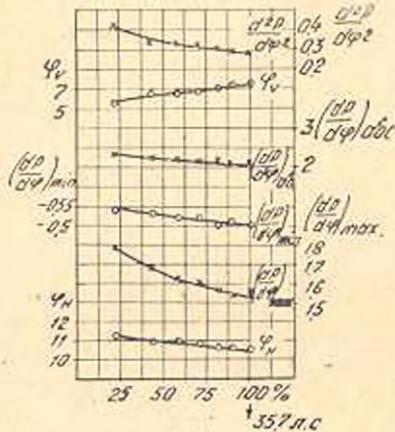


Рис. 4. Зависимости параметров протекания процесса от нагрузки двигателя.

заметить, что с увеличением нагрузки (то есть с уменьшением коэффициента избытка воздуха) начальный период индукции уменьшается. Влияние коэффициента избытка воздуха по-видимому незначительно, ибо за начальный период индукции значение коэффициента избытка воздуха в несколько раз больше, чем его среднее значение, отнесенное ко всему процессу сгорания. Воспламенение же происходит в том месте камеры, где создается наиболее благоприятные условия по составу смеси. С увеличением количества подаваемого топлива температура стенок камеры сгорания, поршня, клапанов и др. возрастает. Это влечёт за собой сокращение

продолжительности начального периода индукции. Влияние же уменьшения температуры рабочего пространства вследствие выстрела большого количества топлива сравнительно не больше.

На начальный период индукции в сторону его сокращения может значительно повлиять также следующее: с увеличением количества топлива подаваемого за φ_H для данного цикла, увеличивается также количество топлива индукционной фазы (наиболее реакционно-способная часть топлива), что и в свою очередь способствует быстрому воспламенению, то есть сокращению φ_H . Рассматривая изменение остальных параметров протекания процесса $\left(\frac{dP}{d\varphi}\right)_{max}$, $\left(\frac{dP}{d\varphi}\right)_{min}$

$\left(\frac{dP}{d\varphi}\right)_{abc}$, φ_c и $\frac{d^2P}{d\varphi^2}$ можно убедиться, что они в основном зависят

от φ_n и следуют за его изменением. В частности следует отметить, что фаза повышения давления в противоположность протеканию начального периода индукции с увеличением нагрузки несколько растёт. В общем же по нагрузочной характеристике параметры протекания процесса сгорания изменяются в незначительных пределах.

Характеристика по углу опережения впрыскивания снималась при постоянном числе оборотов ($n = 1400$ об/мин) и постоянной подаче топлива. При изменении угла опережения впрыска условия протекания процесса сильно меняются. При позднем впрыскивании топлива процесс сгорания перемещается на линию расширения и уменьшается полнота индикаторной диаграммы, а следовательно и мощность двигателя. При раннем же впрыскивании процесс сгорания начинается до достижения поршня В. М. Т., вследствие чего резко повышается скорость нарастания давления, падает мощность и ухудшается экономичность двигателя. Для экономичной и мягкой работы двигателя необходимо, чтобы основная масса рабочей смеси сгорала возможно быстрее и ближе к положению поршня у В. М. Т. Этого можно достичь при правильном подборе угла опережения впрыска. Угол опережения впрыскивания в наших исследованиях менялся в довольно широких пределах—от 0 до $18,2^\circ$ П. К. В.

Зависимости начального периода индукции и параметров протекания процесса $\left(\frac{dP}{d\varphi}\right)_{\max}$, $\left(\frac{dP}{d\varphi}\right)_{\min}$, $\left(\frac{dP}{d\varphi}\right)_{abc}$, φ_n и $\frac{d^2P}{d\varphi^2}$ от угла опережения впрыскивания иллюстрируются на рис. 5.

В рассматриваемом случае изменение как начального периода индукции, так и параметров протекания процесса происходит довольно резко, так как с изменением угла опережения впрыскивания резко меняются условия, при которых протекает процесс.

Тщательно поставленный эксперимент показывает, что кривая начального периода индукции имеет минимум при вполне определенном угле опережения впрыскивания. Такое протекание кривой φ_n объясняется тем, что влияние увеличивающегося объёма при движении поршня вниз сильнее, чем мгновенное (хотя и высокое) значение давления и температуры, так как быстрое падение давления при обратном движении поршня замедляет разогрев смеси (растёт теплоотдача на стенки) и тем самым уменьшает течение предпламенных процессов, что приводит к увеличению φ_n .

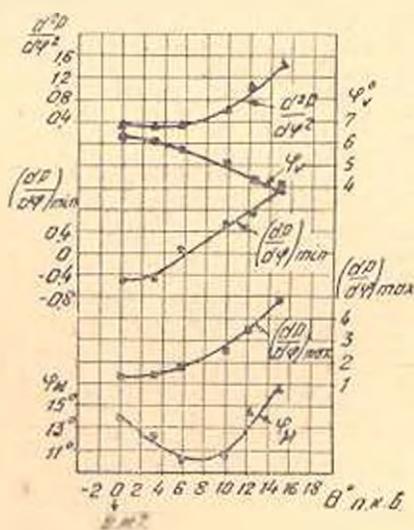


Рис. 5. Зависимости параметров протекания процесса от угла опережения впрыска.

Что касается кривых параметров протекания процесса $\left(\frac{dP}{d\varphi}\right)_{\max}$, $\left(\frac{dP}{d\varphi}\right)_{\min}$, $\left(\frac{dP}{d\varphi}\right)_{\text{ср}}$ и $\frac{d^2P}{d\varphi^2}$, то они не имеют характерного минимума, свойственного кривой $\varphi_{\text{н}}$. Однако при внимательном рассмотрении этих графиков можно обнаружить, что характер изменения кривой $\varphi_{\text{н}}$ сказывается на протекание этих кривых. При изменении угла опережения впрыскивания изменение их не монотонно. На участке увеличения $\varphi_{\text{н}}$ изменение этих кривых сравнительно слабое, что является результатом ветви кривой $\varphi_{\text{н}}$.

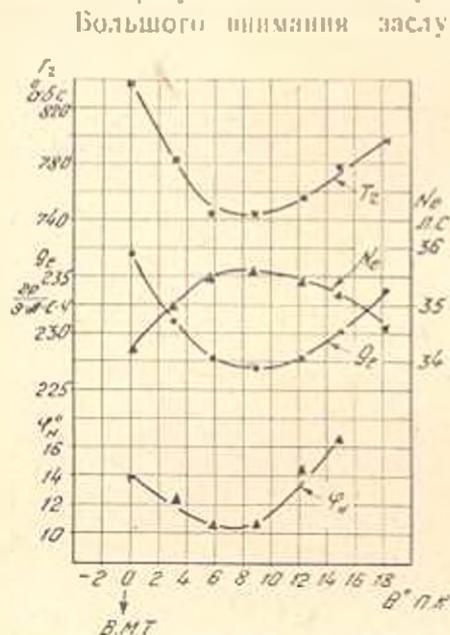


Рис. 6. Зависимости эффективных показателей двигателя от угла опережения впрыска.

близко к В. М. Т., что, как было указано выше, является гарантией экономичной и мягкой работы двигателя.

Характеристика по изменению температуры охлаждающей воды снималась на основном скоростном режиме двигателя ($n = 1400$ об/мин). При проведении этих опытов радиатор двигателя был снят и водяные трубки были соединены непосредственно с подводящей сетью. Изменение температуры охлаждающей воды достигалось регулированием количества воды, при помощи крана. Опыты проводились при температуре охлаждающей воды от 40 до 100°C с интервалами измерения через каждые 10°. Результаты этой серии опытов нанесены на рис. 7, а зависимости основных показателей протекания процесса от температуры охлаждающей воды иллюстрированы на рис. 8. Из графика, представленного на рис. 7 видно, что

Большого внимания заслуживает также характер протекания кривых эффективных показателей двигателя (рис. 6). Как видно из этого графика, кривая мощности (N_e) имеет максимум, g_e , T_e и $\varphi_{\text{н}}$ имеют минимумы, причем наименьшие значения эффективных показателей двигателя (максимальная мощность и минимальный удельный расход топлива) соответствуют минимальному значению $\varphi_{\text{н}}$. Таким образом, между $\varphi_{\text{н}}$ и эффективными показателями дизеля имеется прямая связь. Это свидетельствует об огромной роли $\varphi_{\text{н}}$ в деле правильной организации рабочего процесса.

Улучшение эффективных показателей двигателя при минимальном значении $\varphi_{\text{н}}$ можно объяснить тем, что при этом основная масса рабочей смеси сгорает быстро и

при увеличении температуры охлаждающей воды в пределах от 40 до 100°C несмотря на то, что коэффициент избытка воздуха (α) уменьшается, но эффективная мощность двигателя повышается на 4% и соответственно уменьшается эффективный удельный расход топлива. Это можно объяснить улучшением протекания процесса сгорания и уменьшением мощности трения. Данные, представленные на рис. 8 показывают, что изменение темпе-

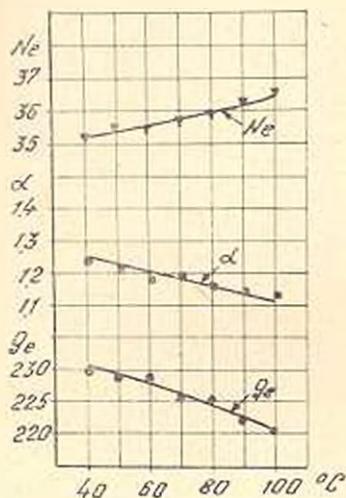


Рис. 7. Зависимости N_e , α и q_e от температуры охлаждающей воды.

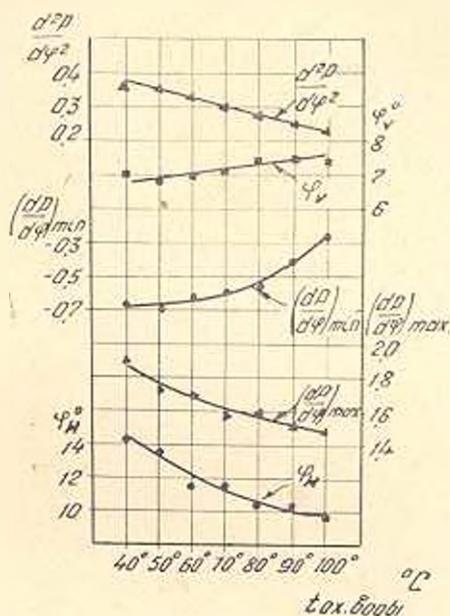


Рис. 8. Зависимости параметров протекания процесса от температуры охлаждающей воды.

ратуры охлаждающей воды весьма эффективно влияют на начальный период индукции. При увеличении температуры охлаждающей воды с 40 до 100°C φ_n сокращается примерно на 37%. Значительно уменьшается также максимальная скорость повышения давления.

Следует отметить, что даже при температуре охлаждающей воды $t_{ох. в.} = 100^\circ\text{C}$ величины минимальной скорости нарастания давления хотя и повышаются, но остаются в зоне отрицательных величин. Период скорости повышения давления, как и следовало ожидать, с увеличением φ_n уменьшается. Полученные результаты являются наглядным доказательством того, что протекание процесса при высокой температуре охлаждающей воды предпочтительнее.

Армянский сельскохозяйственный институт

Поступило 25 IX 1957

Ա. Վ. ՔԵՐՉՅԱՆ

ՄՐԻԿԱՅԻՆ ԿԱՄԵՐԱ ՈՒՆԵՑՈՂ ԳԻՉԱՆԱՅԻՆ ՇԱՐՃԻՉԻ ՍԿՋՐՆԱԿԱՆ ԻՆՎՈՒԿՑԻՈՆ ՇՐՋԱՆԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Ա մ փ ո փ ո ս ւ ւ

Գիղելային շարժիչի սկզբնական ինդուկցիոն շրջանը հանդիսանում է բանվորական պրոցեսի սրտիչ պարամետրը, որի հետ անմիջականորեն կապված են գիղելաշինարարության հիմնական խնդիրները՝ անսեսեչիությունը, աշխատանքի կոշտությունը, գործարկումը և այլն:

Ներկա աշխատանքում սկզբնական ինդուկցիոն շրջանը և ամբողջ բանվորական պրոցեսի ընթացքն ուսումնասիրվել է ըստ հետևյալ բնութագրերի՝ արագություն, բևեղմանություն, վառելիքի սրսկման առաջընկման անկյան և հովացնող ջրի ջերմաստիճանի: Հետազոտությունը կատարված է արակտորային «Ի-35» գիղելային շարժիչի վրա: Ինդիկատորային գիազրաման ստացվել է տիեզակվարցային դաաշիկների օգնությամբ, ինչպես հիմնական, ահպես էլ մրրիային կամերաներից:

Սկզբնական ինդուկցիոն շրջանը և ամբողջ բանվորական պրոցեսն ուսումնասիրված են ոչ թե անմիջականորեն, ըստ ինդիկատորային գիազրամայի, ինչպես միշտ, այլ նրա առաջին կարգի ածանցյալը ներկայացնող կորի՝ $\frac{dI}{d\varphi} = I(\varphi)$, որն ստացվել է ինդիկատորային գիազրաման դրաֆիկական կա-

նակով գիֆերենցիուց:

Բանվորական պրոցեսի ընթացքը բնութագրելու և սկզբնական ինդուկցիոն շրջանի ազդեցությունը զնահատելու համար առաջարկված են նոր պարամետրեր՝ $\left(\frac{dI}{d\varphi}\right)_{\max}$, $\left(\frac{dI}{d\varphi}\right)_{\min}$, $\left(\frac{dI}{d\varphi}\right)_{\text{սծե}}$, $\frac{d^2I}{d\varphi^2}$, որոնք ստացվում են ինդիկատորային գիազրամայի առաջին կարգի ածանցյալը ներկայացնող կորից: Սահմանված են այդ պարամետրերի առնչություններն ըստ վերը նրշված բոլոր բնութագրերի: Այդ առնչությունները բերված են տեքստի նկ. 3, 4, 5, 6, 7, 8-ում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Мкртумян З. А. Описание процесса сгорания по индикаторной диаграмме. Сборник научных трудов Арм, СХИ, № 8, 1954 г.
2. Толстов А. И., Шмигельский Н. В., Гром А. Г., Ивайкин А. М., Столяров А. И. Исследование влияния конструктивных факторов впускной системы и оборотов топливного насоса на процесс подачи топлива и сгорания. Труды ЦИАМ, вып. 26, 1938 г.