

А. С. РЕХТИН, И. П. ТЕРСКИХ

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПО ВЕЛИЧИНЕ ЗАДРОССЕЛИРОВАННОГО ДАВЛЕНИЯ В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ

Известно, что производительность машинно-тракторных агрегатов может быть выражена следующим уравнением:

$$W = \frac{27 N_{ен}}{K_a} \cdot \zeta_{Ne} \cdot \eta_T \cdot T_{см} \cdot \zeta_T \text{ га, см,} \quad (1)$$

где  $N_{ен}$  — номинальная эффективная мощность двигателя,  
 $\zeta_{Ne}$  — степень использования эффективной мощности двигателя,

$\eta_T$  — коэффициент полезного действия трактора,

$T_{см}$  — время смены,

$\zeta_T$  — степень использования времени смены,

$K_a$  — удельное сопротивление агрегата.

Из уравнения (1) видно, что производительность агрегата определяют такие переменные величины, как степень использования эффективной мощности двигателя  $\zeta_{Ne}$  и степень использования времени смены  $\zeta_T$ . При этом нужно также иметь в виду, что КПД трактора увеличивается с увеличением степени использования эффективной мощности двигателя.

Эффективная мощность двигателя является функцией двух переменных величин: крутящего момента  $M_e$  и числа оборотов коленчатого вала двигателя  $n$ :

$$N_e = f(M_e \cdot n).$$

Определение числа оборотов особых затруднений не вызывает. Основным эксплуатационным режимом работы тракторного двигателя является работа при нормальных оборотах. Поэтому степень использования эффективной мощности двигателя  $\zeta_{Ne}$  будет определяться по использованию крутящего момента:

$$\zeta_M = \frac{M_e}{M_{en}},$$

где  $M_e$  — крутящий момент двигателя фактический,  
 $M_{en}$  — номинальный крутящий момент двигателя.  
 Степень использования крутящего момента  $\zeta_M$  характеризует загрузку двигателя на данном скоростном режиме.

Для определения крутящего момента, развиваемого двигателем, может быть использована линейная зависимость задресселированного давления со средним эффективным давлением<sup>1</sup>.

$$P_3 = P_{3xx} + aP_e, \quad (2)$$

где  $P_3$  — задресселированное давление, соответствующее данной нагрузке и данным оборотам,

$P_{3xx}$  — задресселированное давление холостого хода при тех же оборотах,

$a$  — угловой коэффициент, определяющий угол наклона прямой, изображающей зависимость  $P_3 = f(P_e)$ .

Схема дросселирования давления из цилиндров двигателя показана на рис. 1.

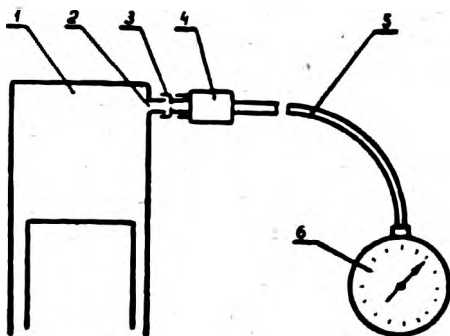


Рис. 1. Схема дросселирования.

1 — цилиндр ДВС; 2 — специальное отверстие в головке блока; 3 — дроссель; 4 — фильтр; 5 — трубка; 6 — прибор.

<sup>1</sup> А. С. Рехтин. «Взаимосвязь задресселированного давления с индикаторными и эффективными показателями». Известия ИСХИ, вып. 26, 1966.

Давление из цилиндра 1 двигателя внутреннего сгорания через специальное отверстие в головке блока 2 (или через форсунку-датчик) подводится к дросселю 3 (диаметр отверстия дросселя 0,4—0,5 мм). После дросселя через фильтр 4 задросселированное давление соединительной трубкой 5 подводится к фиксирующему прибору 6.

Соединительная трубка и полость прибора являются ресивером, способствующим гашению колебаний давления.

Отбор давления может осуществляться как от одного цилиндра, так и одновременно от всех цилиндров двигателя. При отборе давления от одного цилиндра задросселированное давление, полученное от разных цилиндров данного двигателя, будет различно, что объясняется различным техническим состоянием отдельных цилиндров.

При неравномерной нагрузке отдельных цилиндров наблюдается изменение углового коэффициента «а» зависимости  $P_3 = f(P_e)$  по отдельным цилиндрам (имеется в виду, что и при отборе от одного цилиндра задросселированное давление отражает нагрузку всего двигателя).

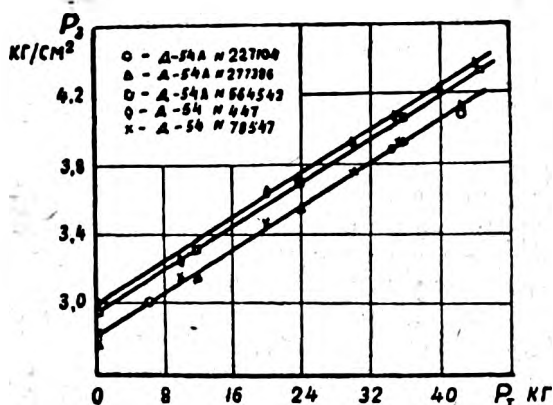


Рис. 2. Зависимость среднего по цилиндрам задросселированного давления от нагрузки по тормозу двигателей типа Д-54.

Среднее по цилиндрам задросселированное давление отражает нагрузку всего двигателя в целом и потому угловые коэффициенты «а» для двигателей одного типа одинаковы. На рис. 2 представлен график зависимости среднего по цилиндрам задросселированного давления  $P_3$  от нагрузки на

тормоз для пяти двигателей типа Д-54. Как видно из графика, угол наклона кривых зависимости  $P_3 = f(P_T)$  для всех двигателей одинаков, величина же среднего по цилиндрам задресселированного давления разных двигателей различна. Это объясняется различным значением  $P_{3xx}$  для разных двигателей. Следовательно, показателем нагрузки на двигатель является не абсолютное значение  $P_3$ , а приращение давления:

$$\Delta P_3 = P_3 - P_{3xx}$$

Однако, имея в виду, что при эксплуатационных режимах (в пределах регуляторной ветви)  $P_{3xx}$  изменяется незначительно, с достаточной для практики точностью  $P_{3xx}$  может быть определено заранее (при оборотах, близких к номинальным); в этом случае для определения загрузки двигателя при работе тракторных агрегатов достаточно измерить лишь величину задресселированного давления  $P_3$ , соответствующую данному режиму работы.

Коэффициент «а» для двигателей одного типа — величина постоянная и может быть определен при одновременном измерении задресселированного давления и крутящего момента, передаваемого двигателем. Коэффициент «а» для четырехтактных двигателей может быть подсчитан по полученному нами уравнению:

$$a = \frac{0,795 \cdot V_n \cdot i}{M_e} \cdot (P_3 - P_{3xx}), \quad (3)$$

где  $V_n$  — рабочий объем одного цилиндра, в литрах,

$i$  — число цилиндров,

$M_e$  — крутящий момент двигателя, в кгм,

$P_3$  — задресселированное давление, соответствующее крутящему моменту двигателя  $M_e$ ,

$P_{3xx}$  — задресселированное давление холостого хода при тех же оборотах.

Как видно из уравнения (3), коэффициент «а» можно определить для любого типа двигателей при наличии тормозного устройства, дающего возможность получать зависимость

$$P_3 = f(M_e).$$

Из уравнения (3) крутящий момент двигателя через задресселированное давление определяется следующим образом:

$$M_e = C(P_3 - P_{3xx}),$$

где

$$C = \frac{0,795}{a} \cdot V_n \cdot i \quad (4)$$

Тогда эффективная мощность  $N_e$  по задросселированному давлению определится по уравнению:

$$N_e = k \cdot n \cdot (P_3 - P_{3xx}), \quad (5)$$

$$K = \frac{C}{716,2},$$

$n$  — число оборотов коленчатого вала двигателя. Для двигателей типа Д-54 нами получены числовые значения коэффициентов  $C$  и  $K$ , равные соответственно 23,1 и 0,0323; тогда

$$M_e = 23,1 (P_3 - P_{3xx}) \text{ кгм};$$

$$N_e = 0,0323 \cdot n \cdot (P_3 - P_{3xx}) \text{ л. с.}$$

На рис. 3 представлен график зависимости задросселированного давления  $P_3$  от крутящего момента двигателей разного типа: Д-54А, СМД-14А, Д-40, Д-48М. Угол наклона  $\varphi$  зависимости  $P_3 = f(M_e)$  определяет жесткость силового звена прибора, измеряющего крутящий момент двигателя по задросселированному давлению. Он зависит от величины «а» и литража двигателя и может быть определен непосредственно из графика (рис. 3) или по уравнению (3):

$$t_{\text{гф}} = \frac{P_3 - P_{3xx}}{M_e} = \frac{a}{0,795 \cdot V_n \cdot i}$$

Для определения эффективных показателей работы двигателя по задросселированному давлению могут использоваться манометры со шкалой на 6 кг/см<sup>2</sup> и специальные приборы — работомеры двигателя типа РБИ [1, 2]. Работомер дает возможность определить загрузку и механическую работу двигателя.

Наиболее целесообразным и практически приемлемым вариантом является подключение работомера и определение эффективных показателей двигателя по величине задросселированного давления одного цилиндра, развивающего мощность среднюю по отношению к другим цилиндрам. У такого «среднего» цилиндра задросселированное давление по величине будет близким к усредненному от всех цилиндров. На рис. 4 показано изменение усредненного (пунктирная прямая) задросселированного давления и задросселированного давления от каждого цилиндра в зависимости от крутящего момента двигателя. Как видно на рис. 4, у данного двигателя наиболее близко по значению к усредненному — задроссели-

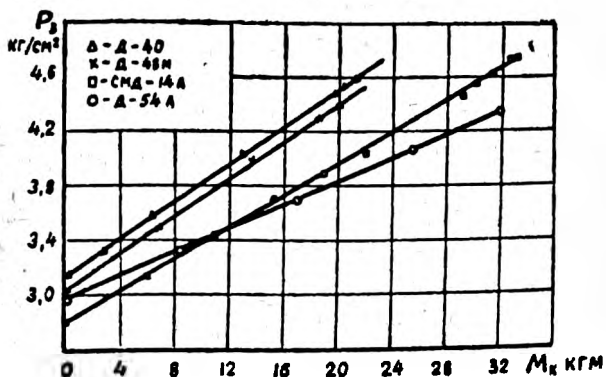


Рис. 3. Зависимость задресселированного давления от крутящего момента двигателей СМД-14А, Д-54А, Д-40, Д-48М.

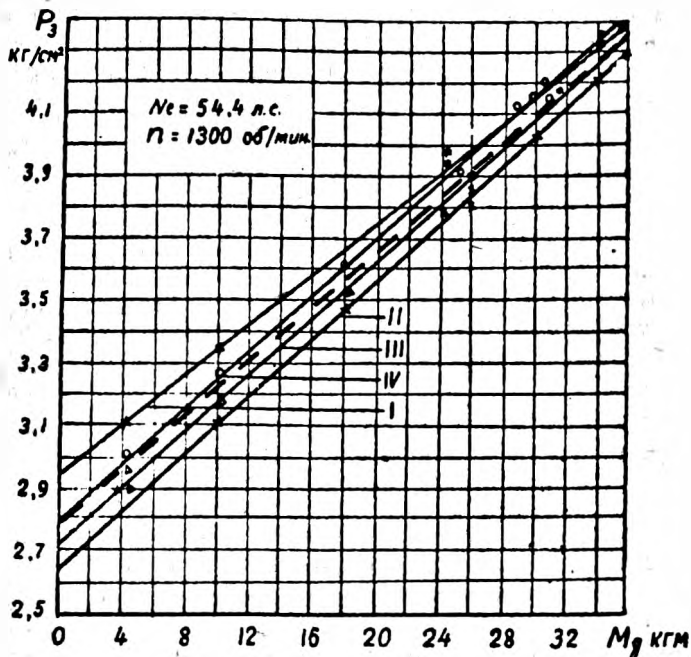


Рис. 4. Зависимость величины задресселированного давления отдельных цилиндров двигателя Д-54 от крутящего момента. I, II, III, IV — зависимость  $P_3 = f(M_g)$  соответствующих цилиндров.

рованное давление третьего цилиндра. Экспериментальная проверка показала, что максимальные расхождения в величинах задресселированного давления «среднего» цилиндра и усредненного от всех цилиндров не превышают 1,5%.

При отборе задресселированного давления из одного «среднего» цилиндра значительно упрощаются замеры, сокращается время, потребное на них, а главное, имеется возможность определения эффективной мощности двигателя непосредственно в полевых условиях без специальных тормозных установок при сложных технических уходах. В этом случае нагрузка на «средний» цилиндр может быть осуществлена механическими потерями других выключенных цилиндров. Необходимо отметить, что нагрузка при выключении одного или двух цилиндров достаточно стабильна и ни в коей мере не нарушает рабочего процесса невыключенных цилиндров и не влияет на показания манометра. Но выключения двух цилиндров недостаточно, чтобы создать нормальный рабочий режим для «среднего» цилиндра. Если же выключить третий цилиндр, оставив работать только один, то последний будет работать в зоне безрегуляторной ветви характеристики, то есть в зоне перегрузки. Показания в этой зоне не всегда стабильны и не дают представления о работе цилиндра на номинальном режиме.

Для создания нормального рабочего режима для «среднего» цилиндра, от которого производится отбор давления, мы пользовались сочетанием нагрузочных режимов, создаваемых двумя выключенными цилиндрами и дросселированием масла в гидросистеме трактора. Дросселирование масла осуществляли гидравлическим допружателем двигателя. Для этих целей также может быть использован дроссель-расходомер ДР-70.

Процесс замера задресселированного давления у среднего по мощности цилиндра и определения эффективной мощности двигателя осуществляется следующим образом. Перед испытаниями двигатель прогревают до  $t = 75^{\circ}\text{C}$ . Выявляют средний по мощности или оборотам цилиндр. Выявление среднего цилиндра осуществляется методом их поочередного выключения. Выключив три цилиндра, замеряют число оборотов коленчатого вала двигателя или непосредственно через специальный валик, устанавливаемый в отверстие для рукоятки, или через вал отбора мощности. Установив форсунку-датчик (рис. 5) или форсунку с головкой-датчиком (рис. 6) на средний цилиндр и подсоединив к ней трубку с манометром, пе-

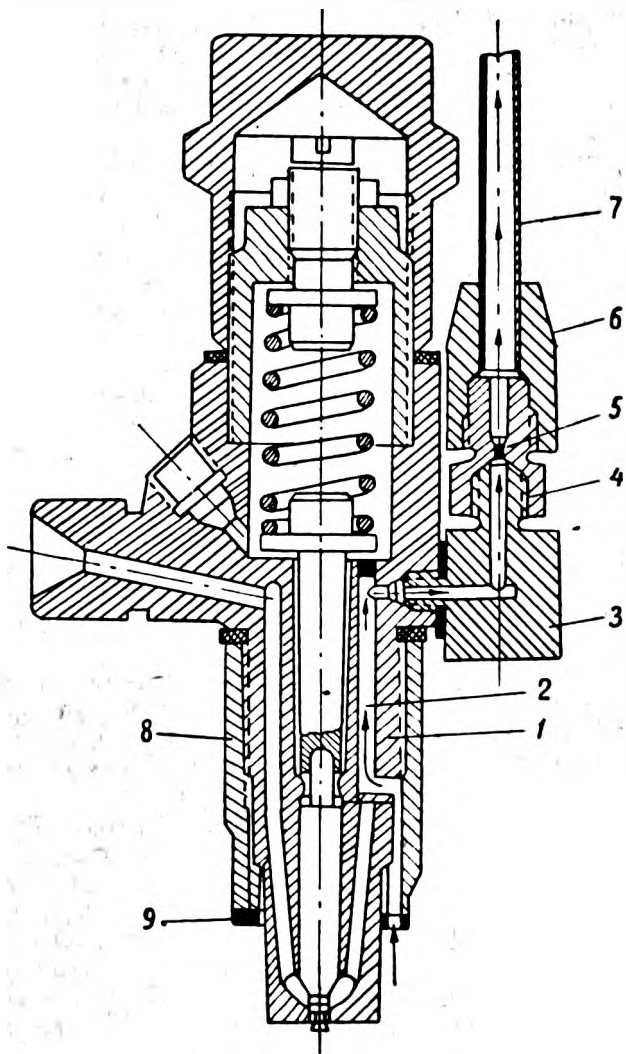


Рис. 5. Форсунка для отбора давления газов из цилиндра двигателя.

1 — корпус форсунки; 2 — канал; 3 — штуцер; 4 — корпус дросселя; 5 — калиброванное отверстие; 6 — накидная гайка; 7 — трубка для отвода газов; 8 — гайка; 9 — прокладка с отверстиями для пропуска газов из цилиндра в канал форсунки.



Эффективная мощность двигателей, полученная различными методами

Методы определения мощности	Д-54 б/н		Д-54А № 277386 до устранения неисправностей		Д-54А № 277386 после устранения неисправностей		Д-54А № 227104		Д-48М № 142556	
	Не, л. с.	σ, %	Не, л. с.	σ, %	Не, л. с.	σ, %	Не, л. с.	σ, %	Не, л. с.	σ, %
По ГОСТ 491—55	57,2	0,0	50,3	0,0	54,2	0,0	54,2	0,0	41,0	0,0
По величине задросселированного давления с нагрузкой тормозом	56,0	2,10	51,8	2,98	53,1	2,04	52,8	2,59	42,0	2,44
По величине задросселированного давления при попарном выключении цилиндров с догрузкой тормозом	56,3	1,60	49,2	1,41	52,1	3,32	52,6	2,96	41,7	1,71
По величине задросселированного давления при попарном выключении цилиндров с догрузкой дросселированием масла в гидросистеме трактора	—	—	50,5	0,43	52,7	2,55	52,6	2,96	42,3	3,17

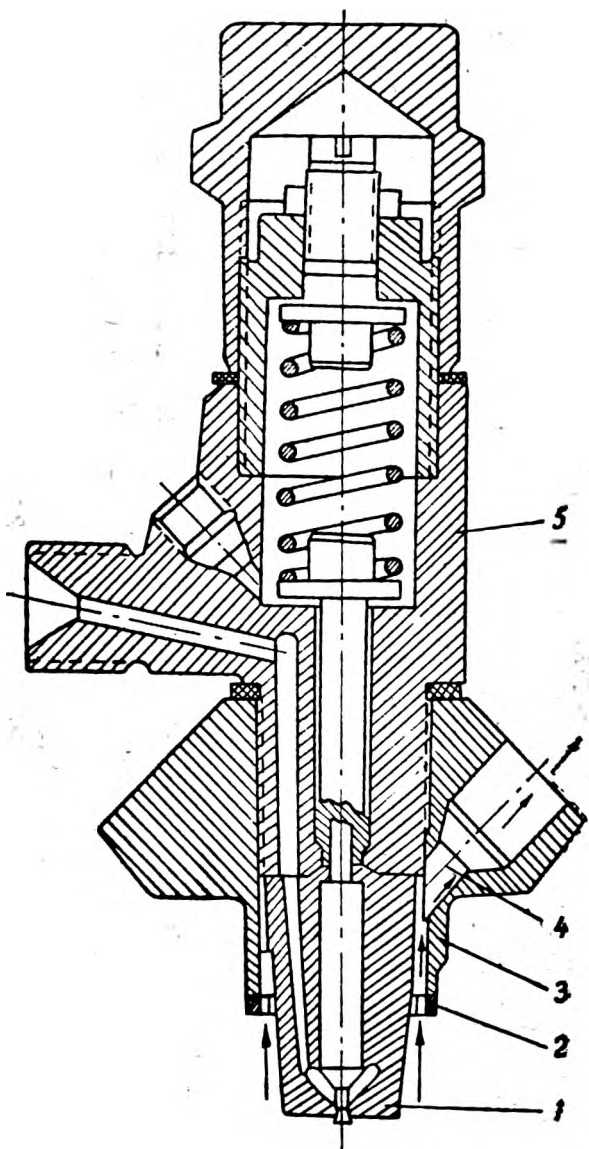


Рис. 6. Форсунка с головкой-датчиком для отбора давления газов из цилиндра двигателя.

1 — распылитель; 2 — прокладка; 3 — головка-датчик; 4 — канал головки-датчика для отвода газов; 5 — корпус форсунки.

реходят к непосредственным замерам величины задресселированного давления. Вначале замеряют величину задресселированного давления и число оборотов коленчатого вала на холостом ходу двигателя при работе его на всех цилиндрах. Далее, выключив два цилиндра, к которым не подключен манометр, дросселированием масла в гидросистеме создают нормальный нагрузочный режим, наблюдая в это же время за оборотами двигателя по тахометру.

Для удобства наблюдения за изменением оборотов коленчатого вала двигателя нами было изготовлено специальное устройство, состоящее из универсального редуктора, устанавливаемого на вал отбора мощности, гибкого валика и тахометра. Соответствующие замеры производят по достижении номинальных оборотов коленчатого вала двигателя.

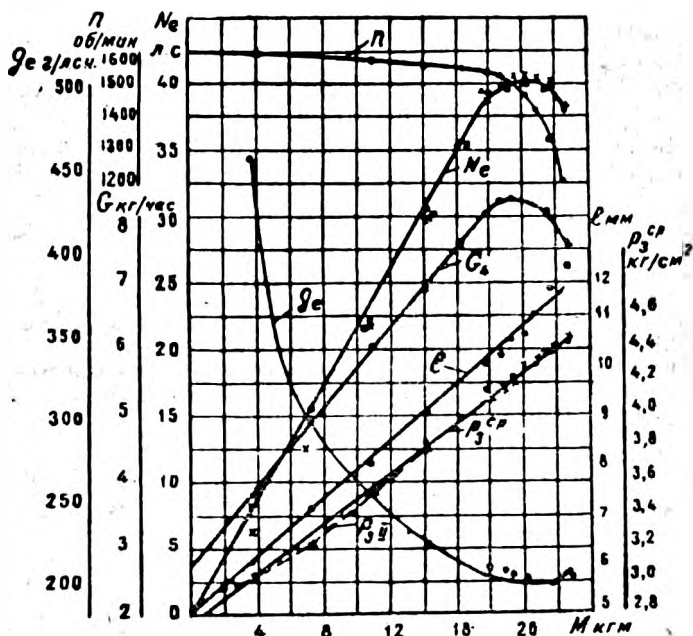


Рис. 7. Регуляторная характеристика двигателя Д-40 с за-  
мером эффективной мощности двигателя по тормозу и по  
величине задресселированного давления.

00 — мощность, замеренная по тормозу; хх — мощность, замеренная по величине усредненного задресселированного давления;  
■ — мощность, замеренная по величине задресселированного давления «среднего» (второго) цилиндра при нагрузке, создаваемой выключением цилиндров с догрузкой тормозом.

Эффективную мощность двигателя подсчитывают по формуле 5 или 6.

Сравнение изложенного метода определения эффективной мощности двигателя производилось с тормозным методом ГОСТ-491-55. На рис. 7 изображена регуляторная характеристика двигателя Д-40 с замером мощности по тормозу и по величине задресселированного давления при разных видах нагрузки. Нагрузка осуществлялась как тормозом при работе двигателя на всех цилиндрах, так и выключением цилиндров в сочетании с тормозной нагрузкой.

На рис. 7 видно, что мощность, полученная по величине задресселированного давления, отличается от мощности, полученной по тормозу, лишь незначительно. В табл. 1 показаны результаты замеров мощности по величине задресселированного давления для разных двигателей в сравнении с результатами, полученными по ГОСТ.

Важным условием при замерах величины задресселированного давления является соблюдение плотности соединений в штуцерах и отводящей газы трубке. Малейшая утечка газов искажает результаты замеров. Места утечки газов можно обнаружить мыльной водой, дизельным маслом или автотол.

## ЛИТЕРАТУРА

Безвершенко В. А. Работомер к тракторному двигателю. Записки ЛСХИ, в. 73 (сб. научных работ XIII), 1958.

Шептовицкий В. М. Усовершенствование работомера тракторного двигателя. Зап. ЛСХИ, т. 96 (механизация и электрификация сельского хозяйства), 1965.