

## НАГРЕВ ДВИГАТЕЛЕЙ ПАРОМ ОТ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК НЕБОЛЬШОЙ ПАРПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

*Н. А. САНЮКЕВИЧ*

Ст. преподаватель

(Московский лесотехнический институт)

Из всех способов, применяющихся для нагрева двигателей в условиях безгаражного хранения машин на лесозаготовительных пунктах, наиболее эффективным является нагрев паром. Пар используется: 1) для прогрева двигателей, охладившихся после длительной стоянки на открытом воздухе или в неотапливаемом помещении; 2) для подогрева двигателей при необходимости поддержания их в состоянии готовности в течение всей стоянки на морозе; 3) для периодического подогрева воды в системе охлаждения; 4) для нагрева помещений поста службы эксплуатации машин мастерского участка (профилакторий, помещение для обогрева людей, передвижная мастерская, топливозаправочная установка и т. д.).

Известно, что продолжительный подогрев трудоемок, и на его осуществление расходуется много пара; то же можно сказать и о периодических кратковременных прогревах.

Наиболее приемлемым можно признать кратковременный нагрев холодного двигателя.

При определении количества тепла, потребного для нагрева холодного двигателя, необходимо учитывать:

1. Тепло, затрачиваемое на нагрев массы двигателя ( $Q_{дв}$ ) и массы радиатора ( $Q_{рад}$ ) от температуры наружного воздуха ( $t_{н.в}$ ) до  $+60^{\circ}\text{C}$ ;

2. Тепло, необходимое для нагрева масла, находящегося в системе смазки ( $Q_{м}$ );

3. Передачу тепла агрегатам, находящимся в соприкосновении с двигателем —  $Q_{тп}$ ;

4. Потерю тепла двигателем во внешнюю среду за время нагрева, слагающуюся из потерь на лучеиспускание ( $Q_{л}$ ) и потерь на конвекцию ( $Q_{к}$ ).

В общем виде тепловой баланс при нагреве холодного двигателя списывается формулой:

$$Q_{нагр} = Q_{дв} + Q_{рад} + Q_{м} + Q_{тп} + Q_{л} + Q_{к} .$$

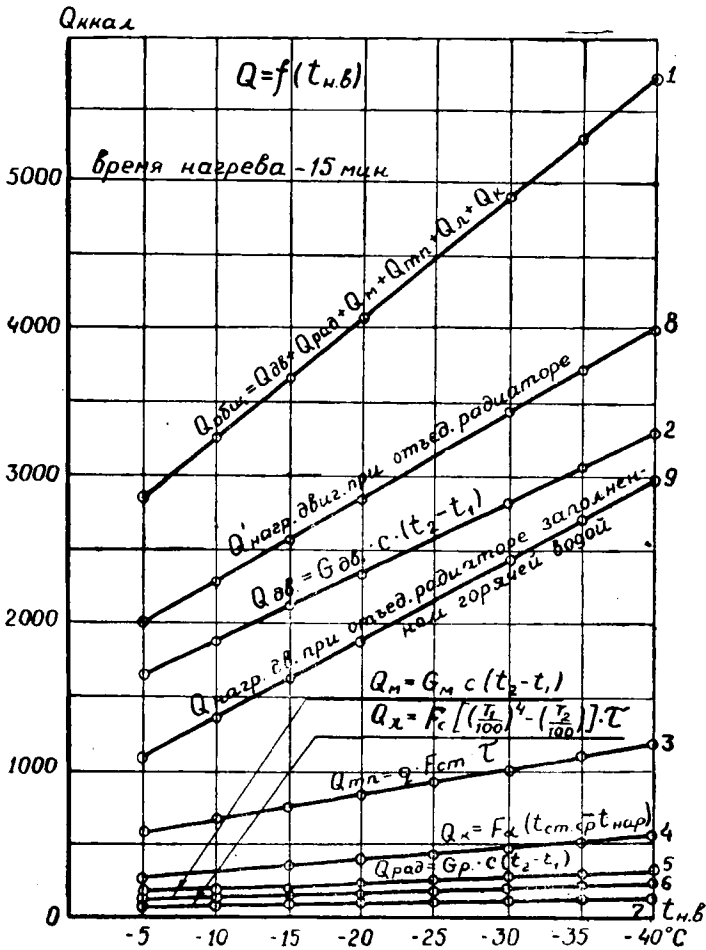


Рис. 1. График количества тепла в ккал, потребного для нагрева холодного двигателя ЗИС-21 до  $t$  воды в блоке  $60^{\circ}\text{C}$  при различных  $t$  воздуха.

1—общий расход тепла в ккал на нагрев двигателя с учетом всех потерь; 2—тепло, необходимое для нагрева массы металла двигателя; 3—потеря тепла за время нагрева теплопередачей; 4—потеря тепла за время нагрева конвекцией; 5—тепло, необходимое для нагрева радиатора; 6—тепло, необходимое для нагрева масла; 7—потеря тепла лучеиспусканием; 8—общий расход тепла на нагрев двигателя при отключенном радиаторе; 9—общий расход тепла на нагрев двигателя, вводимого с паром после одноразового заполнения его горячей водой и с отключенным радиатором.

Каждый из членов вышеуказанного баланса вычислен нами по теоретическим формулам и приведен на графике (рис. 1), характеризующем количество тепла, расходуемого в процессе прогрева двигателя ЗИС-21 при разных температурах наружного воздуха.

Анализируя общий баланс тепла, расходуемого при прогреве двигателя, приходим к заключению, что, не снижая степени нагрева двигателя, можно достичь значительной экономии тепловой энергии за счет отключения радиатора от системы охлаждения двигателя. Радиатор, как теплообменный аппарат, будучи необходимой принадлежностью работающего двигателя, оказывается ненужным при подготовке двигателя к запуску, так как на нагрев радиатора и содержащейся в нем

сильно охлажденной воды расходуется большое количество тепла. Если радиатор отключить, то расход тепла будет уменьшен, так как в этом случае нагреванию подвергается только двигатель; затраты тепла при  $t_{н.в} = -30^\circ\text{C}$  уменьшаются на 1465 ккал; на нагрев массы металла холодного двигателя затрачивается при той же температуре наружного воздуха до 2830 ккал.

Но при отключенном радиаторе можно значительно сократить кратковременный расход пара, подогревая двигатель путем заливки горячей воды в систему охлаждения. Даже одноразовая заливка позволяет достичь значительной экономии. Заливка воды, нагретой до  $90^\circ\text{C}$ , сообщает двигателю ЗИС-21 около 1000 ккал, следовательно, для нагревания двигателя до температуры  $60^\circ\text{C}$  при  $t_{н.в} = -30^\circ\text{C}$  от паровой установки потребуется  $4844 - (1465 + 1000) = 2379$  ккал (см. график на рис. 1). При этих условиях (отключенный радиатор и заливка в охлаждающую систему двигателя горячей воды,  $t_{н.в} = -30^\circ\text{C}$ ) кратковременный расход тепла на нагрев двигателя уменьшается на 2465 ккал.

Еще большее значение имеет отключение радиатора в случае, когда необходимо поддерживать двигатели в состоянии постоянной готовности к запуску.

Так как поверхность радиатора в 8—10 раз больше поверхности теплоотдачи собственно двигателя, то при отключенном радиаторе потери тепла уменьшатся в 8—10 раз.

Приведенные выше расчеты не учитывают скорости ветра, который оказывает большое влияние на конвективный унос тепла —  $Q_k$ . Однако этот вопрос до настоящего времени не отражен в литературе.

### Экспериментальное исследование процесса нагрева двигателя паром

Свои опыты по выявлению влияния на нагрев двигателя М-47 температуры наружного воздуха ( $t_{н.в}$ ) и скорости ветра ( $W$ ) мы проводили на открытой площадке при  $t_{н.в}$  от 0 до  $-48^\circ\text{C}$  и  $W = 0 \div 5$  м/сек.

Методика экспериментов была следующей: холодный двигатель, простоявший продолжительное время на морозе, заливали водой, нагретой до  $90^\circ\text{C}$ . (При этом двигателю за весьма короткое время сообщалось около 7200 ккал тепла, что при паровом прогреве потребовало бы 11,25 кг пара. На выпуск такого количества пара затрачивается 9—10 минут.) Пар впускается в систему охлаждения после заливки воды.

Преимущества такого способа прогрева двигателей по сравнению с паровым нагревом без предварительной заливки воды заключаются в следующем:

1. Время нагрева двигателей машин сокращается на 10—12 минут.
2. Появляется возможность нагрева двигателей всего парка машин от несложной передвижной паробогревательной установки, так как подготовка горячей воды может производиться заблаговременно.
3. Может быть использована облегченная пароподогревательная установка, что очень важно для агрегата передвижного типа.

Двигатель нагревали до  $60^\circ\text{C}$ ; эта температура оказывалась достаточной для нормального запуска. Во всех опытах подачу пара в обогреваемый двигатель производили при одинаковом давлении, следовательно, расход пара в единицу времени был одинаковым. Температура замерялась дистанционными термометрами.

По данным испытаний построены графики для расхода пара и затрат времени на нагрев двигателя.

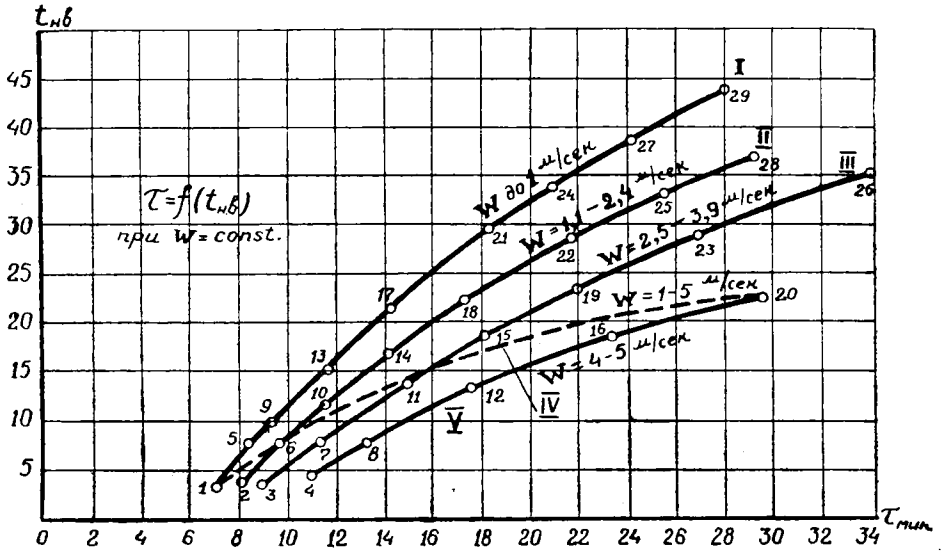


Рис. 2. График затраты времени на нагрев паром двигателя М-17 при меняющейся  $t$  наружного воздуха и постоянной его скорости.

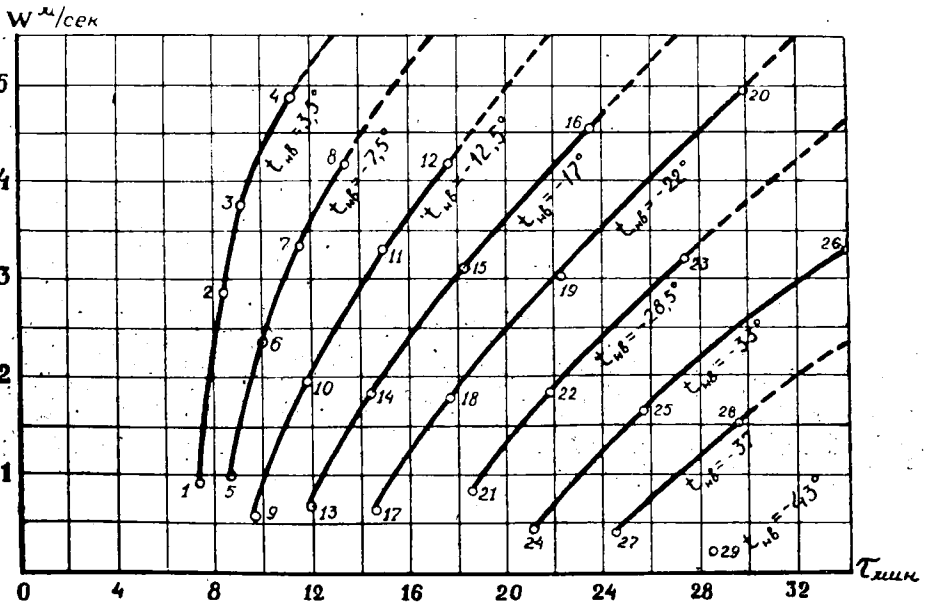


Рис. 3. График затраты времени на нагрев паром двигателя М-17 при меняющейся скорости воздуха и  $t$  наружного воздуха — const.

Из графика на рис. 2 видно, что при скорости воздуха до 1 м/сек, на нагрев двигателя при  $t_{н.в} = -5^\circ \text{C}$ , затрачивается время 7,6 мин; при  $t_{н.в} = -15^\circ \text{C}$  — 11,4 мин; при  $t_{н.в} = -20^\circ \text{C}$  — 18,8 мин и при  $t_{н.в} = -40^\circ \text{C}$  — 25,5 мин. Снижение температуры наружного воздуха от  $-5^\circ$  до  $-40^\circ \text{C}$  при неизменной скорости ветра (до 1 м/сек) требует увеличения продолжительности нагрева от 7,6 до 25,6 мин, то есть в 3,4 раза.

Особенно сильно на продолжительность нагрева влияет снижение температуры при больших скоростях ветра. Об этом наглядно свидетельствует кривая IV (рис. 2); при  $t_{н.в} = -5^\circ \text{C}$  время, необходимое для нагрева двигателя, равно 11,6 мин, а при  $t_{н.в} = -22^\circ \text{C}$  — 29,6 мин, то есть продолжительность нагрева увеличивается в 2,6 раза.

График на рис. 3 характеризует затраты времени на нагрев того же двигателя при постоянной температуре наружного воздуха, но при меняющейся скорости ветра. При  $t_{н.в} = -5^\circ \text{C}$  изменение скорости воздуха от 1 до 4,8 м/сек требует увеличения времени нагрева от 7,2 до 11 мин, то есть в 1,5 раза, а при  $t_{н.в} = -22^\circ \text{C}$  изменение скорости от 1 до 4,8 м/сек требует увеличения времени нагрева от 14,4 до 28,6 мин, то есть в 2 раза.

Кривая V на рис. 2 показывает, что при одновременном снижении температуры наружного воздуха и увеличении скорости ветра резко увеличивается продолжительность нагрева. Например, при снижении температуры  $t_{н.в}$  от  $-5^\circ$  до  $-22^\circ \text{C}$  при одновременном увеличении скорости воздуха от 1 до 4,8 м/сек продолжительность нагрева возрастает в 4 раза (с 7,2 до 29,6 мин).

В графике на рис. 4 показан расход пара (в кг) при нагреве двигателя М-17 до  $60^\circ \text{C}$  в зависимости от температуры наружного воздуха ( $t_{н.в}$ ) и скорости ветра ( $W$ ).

Каждая кривая характеризует расход пара при почти неизменной скорости ветра.

Из графика на рис. 4 видно, что снижение  $t_{н.в}$  от  $-5^\circ$  до  $-25^\circ \text{C}$  при скорости ветра, не превышающей 1 м/сек, ведет к увеличению расхода пара в 2,11 раза, а такое же снижение температуры наружного воздуха при скорости ветра 4—5 м/сек увеличивает расход пара в 2,9 раза.

Расход пара в зависимости от скорости ветра при постоянной температуре наружного воздуха виден из графика рис. 4 по линиям  $a$ — $b$ ,  $c$ — $d$  и т. д., параллельным оси ординат.

При  $t_{н.в} = -5^\circ \text{C}$  изменение скорости воздуха  $W$  от 1 до 4—5 м/сек, увеличивает расход пара с 4,4 до 6,4 кг, то есть в 1,5 раза. При  $t_{н.в} = -25^\circ \text{C}$  при тех же изменениях скорости ветра расход пара увеличивается с 9,3 до 18,8 кг, то есть в два раза. Одновременно увеличение температуры воздуха и скорости ветра приводит к весьма резкому увеличению расхода пара.

Снижение  $t_{н.в}$  от  $-5^\circ$  до  $-25^\circ \text{C}$  с одновременным увеличением скорости ветра с 1 до 5 м/сек дает увеличение расхода пара с 4,4 до 18,8 кг, то есть в 4,27 раза.

Для аналитического вывода зависимости  $Q = f(t_{н.в}, W)$  нами подсчитан удельный расход пара  $q_{уд}$ , представляющий расход пара в граммах в единицу времени, необходимый для повышения температуры нагрева на  $1^\circ \text{C}$  при определенном температурном перепаде.

$$q_{уд} = \frac{1000Q}{\tau(t_{нагр} - t_{н.в})\Delta t_{ср}} \frac{z}{\text{мин (град)}^2}$$

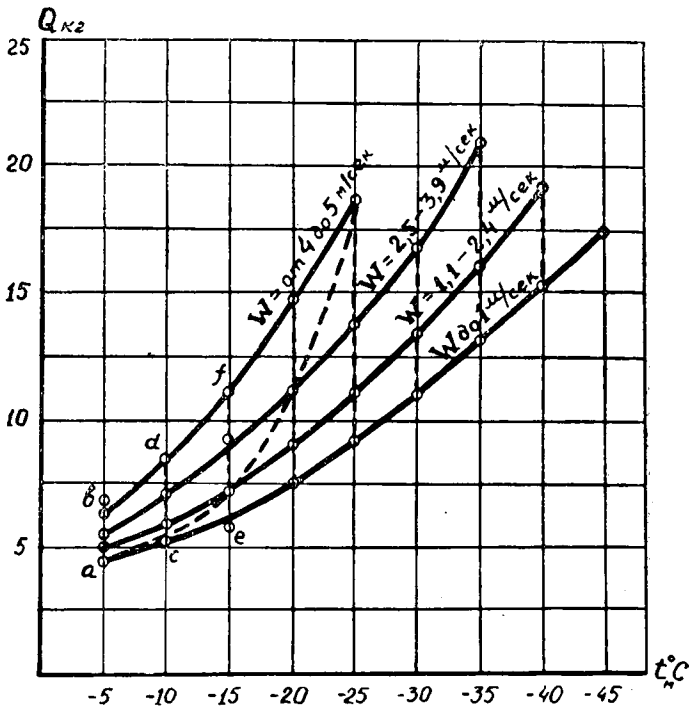


Рис. 4. График расхода пара в кг на нагрев двигателя М-17.

Зная удельный расход пара и время нагрева, мы можем подсчитать количество пара, необходимого для нагрева двигателя при любой температуре наружного воздуха и любых скоростях ветра (в пределах исследованных), по формуле:

$$Q = \frac{q_{\text{уд}}(t_{\text{нагр}} - t_{\text{н.в}})\Delta t_{\text{ср}}\tau}{1000}$$

где  $Q$  — расход пара на нагрев двигателя в кг;  
 $q_{\text{уд}}$  — удельный расход пара в г/мин (град)<sup>2</sup>;  
 $t_{\text{н.в}}$  — температура наружного воздуха в °С;  
 $t_{\text{нагр}}$  — температура нагрева двигателя в °С;  
 $\Delta t_{\text{ср}}$  — прирост температуры за время нагрева в °С;  
 $\tau$  — время нагрева при данных  $W$  и  $t_{\text{н.в}}$ , мин.

Значения величин  $q_{\text{уд}}$  и  $\tau$  приведены в табл. 1.

Приведенная выше формула учитывает расход пара при нагревании двигателя М-17, а для подсчета расхода пара при нагревании других типов двигателей в формулу следует ввести коэффициент  $\mu$ , который подсчитывается, исходя из соотношений весов поверхности охлаждения и емкостей систем охлаждения разных двигателей (для двигателя М-17  $\mu$  принимается равным единице).

Коэффициенты для двигателей:

М-17	$\mu = 1,0$
КДМ-46	$\mu = 0,94$
ЗИС-21	$\mu = 0,33$
ЯАЗ-200	$\mu = 0,51$

Таблица 1

Наружная температура $t_{н.в}$ °С	Скорость ветра ( $W$ )							
	до 1 м/сек		1,1÷2,4 м/сек		2,5÷3,9 м/сек		4,0÷5,4 м/сек	
	$q_{уд}$	$\tau$	$q_{уд}$	$\tau$	$q_{уд}$	$\tau$	$q_{уд}$	$\tau$
	$\frac{q_{уд}}{z}$	мин	$\frac{q_{уд}}{z}$	мин	$\frac{q_{уд}}{z}$	мин	$\frac{q_{уд}}{z}$	мин
	мин(град) <sup>2</sup>		мин(град) <sup>2</sup>		мин(град) <sup>2</sup>		мин(град) <sup>2</sup>	
— 5	0,285	7,1	0,274	8,2	0,270	8,6	0,262	11,0
— 10	0,256	8,4	0,242	9,3	0,227	11,3	0,224	13,2
— 15	0,208	9,4	0,196	11,6	0,188	14,9	0,205	17,5
— 20	0,202	11,7	0,182	14,2	0,171	18,2	0,189	23,4
— 25	0,178	14,4	0,180	17,4	0,159	22,0	0,178	29,6
— 30	0,164	18,4	0,167	21,8	0,150	27,0	—	—
— 35	0,155	21,0	0,161	25,5	0,141	34,0	—	—
— 40	0,147	24,3	0,157	30,0	—	—	—	—

Теплосодержание выпускаемого в двигатель пара было равно 640 ккал/кг, а формула для определения количества тепла в этом случае имеет вид:

$$Q = 0,640 q_{уд}(t_{нагр} - t_{н.в}) \Delta t_{ср} \tau \cdot \mu \text{ ккал};$$

чтобы определить количество тепла, необходимое для предпускового нагрева двигателей различных типов, необходимо пользоваться формулой:

$$Q_{общ} = 0,640 \{ [q_{уд}(t_{нагр} - t_{н.в}) \Delta t_{ср} \tau k] (\mu_1 n_1 + \mu_2 n_2 + \dots + \mu_n n_n) \}$$

где:  $k$  — коэффициент потери тепла в паропроводах  $k = 1,1$ ;

$n_n$  — число машин с двигателем типа « $n$ ».

Формула хорошо удовлетворяет поставленным целям, но ее применение затруднено тем, что при расчетах по этой формуле всегда требуется иметь под руками таблицы значений  $q_{уд}$  и  $\tau$ ; кроме того, сами расчеты по этой формуле довольно громоздки.

Мы поставили задачу изобразить функцию  $Q = f(t_{н.в}, W)$  формулой, которая представляла бы зависимость между переменными величинами в удобной и ясной форме, обладающей необходимой точностью и вместе с тем легкой для запоминания, записи и для расчетов.

Пользуясь экспериментальными данными расхода пара на нагрев двигателя при разных температурах наружного воздуха и разных скоростях ветра, переведем весовые единицы расхода пара в тепловые.

Все опыты распределяются на четыре серии, в каждой из которых переменная  $W$  оказывается постоянной.

Во всех четырех сериях значения переменной  $t_{н.в}$  принимались одинаковыми. Это дает возможность, пользуясь данными опыта, построить графики:

$$Q = f_1(t_{н.в}, W = \text{const})$$

и

$$Q = f_2(t_{н.в} = \text{const}, W)$$

При соответствующем выборе масштабов по осям координат можно изобразить эти зависимости прямыми, убедившись при этом, что прямые не пересекаются (рис. 5 и 6) и что переменная  $W$  должна входить в формулу в первой степени, а  $t_{н.в}$  — в степени  $3/2$ , таким образом

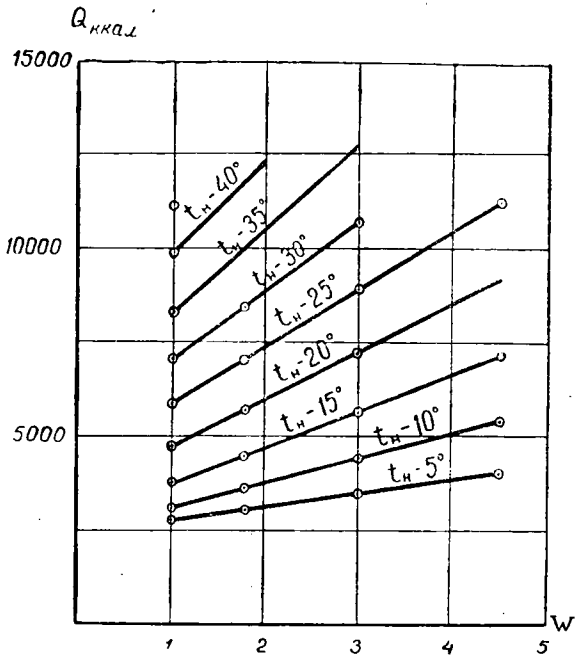


Рис. 5. График расхода тепла на нагрев двигателя М-17, построенный в координатах равномерных шкал.

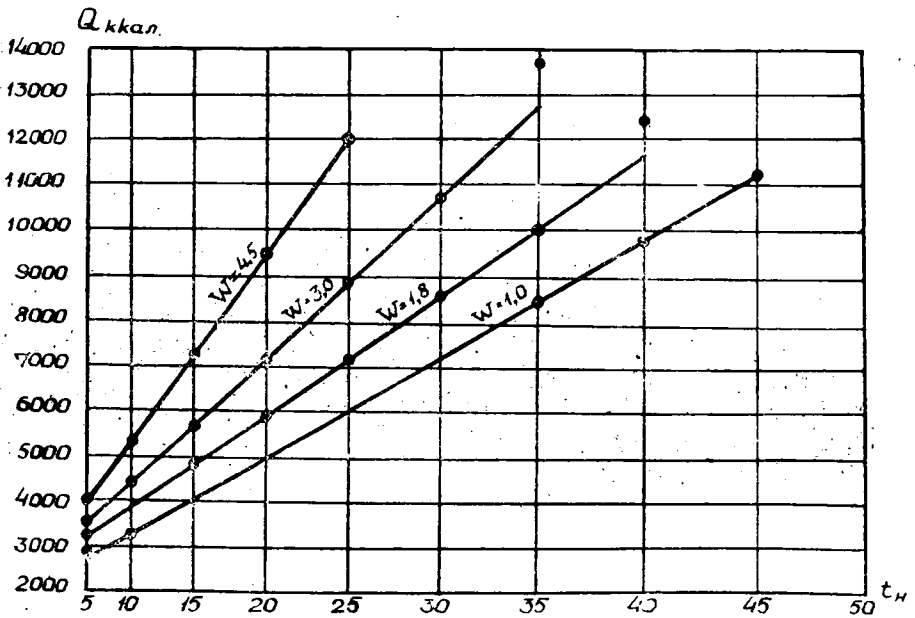


Рис. 6. График расхода тепла на нагрев паром двигателя М-17 при построении с применением шкалы  $x \sqrt{x}$  по оси  $x$  и равномерной шкалы по оси  $y$ .



зависимость между переменными  $Q$ ,  $t_{п.в}$ ,  $W$  может быть выражена формулой вида:

$$Q = (a \cdot t_{п.в} \sqrt{t_{п.в}} + b) W$$

Постоянные  $a$  и  $b$  вычислены на основании результатов двух опытов и приведены в табл. 2.

Таблица 2

Эмпирические постоянные	$W = 1 \text{ м/сек}$	$W = 1,8 \text{ м/сек}$	$W = 3,0 \text{ м/сек}$	$W = 4,5 \text{ м/сек}$
$a$	28,6	19,39	15,7	15,54
$b$	2560	1560	998	725

Подсчет количества тепла по вышеприведенной формуле дает результаты, весьма близкие к данным эксперимента: отклонения от опыта не превышают 2,66%, что вполне допустимо.

Пользуясь приведенной формулой, можно легко определить количество тепла, необходимое для нагрева двигателей в условиях любых лесозаготовительных районов, в которых эксплуатируются машины и механизмы.

При наличии в парке разных типов машин расчет количества тепла, необходимого для нагрева двигателей может быть произведен по формуле:

$$Q = [(a \cdot t_{п.в} \sqrt{t_{п.в}} + b) W] (\mu_1 n_1 + \mu_2 n_2 + \dots + \mu_n n_n) \text{ ккал.}$$

На рис. 7 построен график расхода тепла на нагрев двигателя М-17.

Семейство кривых (а) характеризует общее количество тепла, необходимое для нагрева холодного двигателя в зависимости от температуры наружного воздуха и скорости ветра:

- I — при скорости ветра  $W = 1,0 \text{ м/сек}$ ;
- II — » » »  $W = 1,8 \text{ м/сек}$ ;
- III — » » »  $W = 3,0 \text{ м/сек}$ ;
- IV — » » »  $W = 4,5 \text{ м/сек}$ .

Кривая V, характеризующая расход тепла на нагрев холодного двигателя, построена по данным, полученным теоретическим расчетом.

Сопоставляя кривые, видим, что теоретически рассчитанные величины расхода тепла близки к средним значениям расхода, определяемым (опытными) кривыми I и IV.

На этом же графике приведено семейство кривых (б), характеризующих количество тепла, вносимого паром при нагреве того же двигателя и до тех же значений температуры, но после заполнения системы охлаждения горячей водой.

Из сопоставления приведенных семейств кривых (а) и (б) следует, что расход пара от котельной установки на нагрев двигателя без заполнения системы охлаждения горячей водой в два раза больше, чем на нагрев после заполнения.

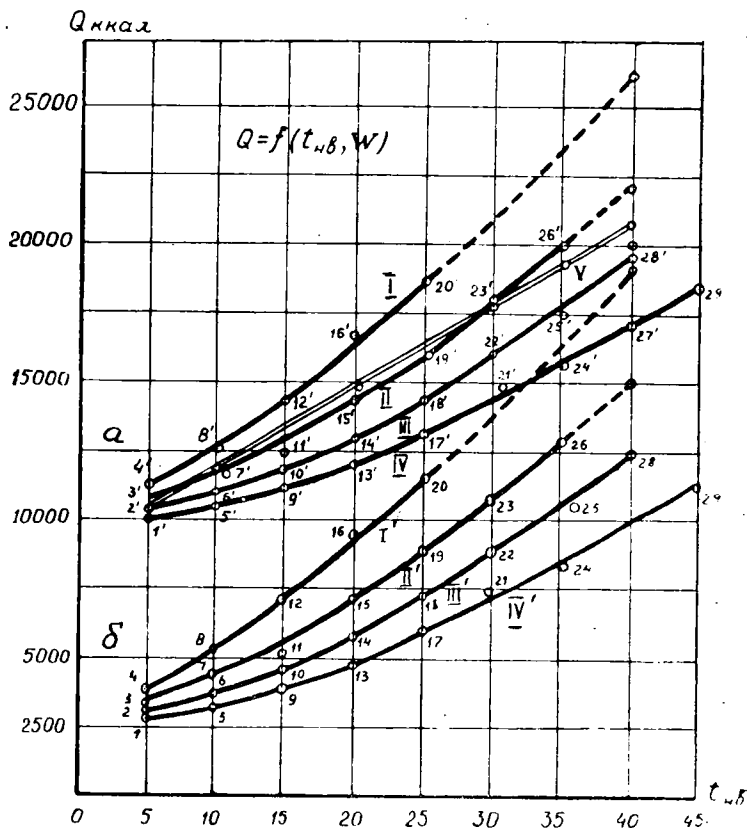


Рис. 7. График расхода тепла в ккал на нагрев двигателя М-17.

*a* — общее количество тепла; *б* — количество тепла, вносимого с паром после заполнения двигателя горячей водой.

Это наглядно показывает, что наш метод вполне оправдывается. Ибо подготовка горячей воды может быть произведена в любое время, а заливка ее в систему охлаждения двигателя нетрудна и занимает всего 1—2 минуты. Уменьшенный расход тепла позволяет применять легкие котельные установки с низким избыточным давлением и малой паропроизводительностью, эксплуатация которых на мастерских участках вполне целесообразна и не требует высокой квалификации обслуживающего персонала. При правильной организации работы такой котел обеспечит нагрев двигателей всех машин перед запуском, удовлетворит нужды топливо-заправочной станции и всех служб мастерского участка (профилакторий, передвижная столовая и пр.).

Поступила в редакцию  
17 февраля 1958 г.