

ПАРОВАЯ МАШИНА ВНОВЬ ВОСТРЕБОВАНА

В.А. Жигалов

Бийский котельный завод

подавляющее большинство предприятий России имеет установленную мощность менее 4000 кВт. Это и предприятия пищевой промышленности, и добывающие предприятия, и лесопереработка, и ЖКХ, наконец. В этом докладе рассматривается энергоснабжение таких предприятий.

Высокая стоимость электроэнергии, поставляемой РАО «ЕЭС России» вызывает недовольство у всех без исключения потребителей, подключенных к централизованному источнику этой энергии.

Отсутствие электросетей во многих перспективных для промышленного освоения районах заставляет потребителей искать источники электроэнергии, которые могут быть развернуты в короткое время при минимальных затратах в непосредственной близости от места потребления энергии. Но и этим потребителям необходима, возможно, более дешевая электроэнергия.

Какие же источники электроэнергии мощностью до 4000 кВт имеются на нашем, да и на мировом рынках?

В качестве таких источников предлагаются электростанции с двигателями внутреннего сгорания (ДВС), работающими на жидком или газообразном топливе и электростанции с газовыми или паровыми турбинами. Ветровые электростанции рассматриваться не будут, поскольку они не могут применяться в континентальных районах, к которым относится и Алтай, где средняя скорость ветра невысока.

Наибольшее распространение имеют электростанции с ДВС, работающими на жидком топливе. Имея большие затраты на топливо, они производят самую дорогую электроэнергию. Кроме того, имеющимися средствами удается использовать лишь небольшую часть сбрасываемого такими двигателями тепла. Решающим аргументом за их применение являются невысокие требования к обслуживающему персоналу и небольшие затраты на приобретение и запуск таких станций.

Электростанции с ДВС, которые работают на магистральном или попутном газе, имеют приемлемую стоимость

электроэнергии, однако ограничен регион их применения.

Ограниченный регион применения имеют и электростанции с газовыми турбинами, имеющие наибольшее распространение в местах добычи углеводородного сырья.

Электростанции с паровыми турбинами, получающими дешевый пар от котлов, работающих на местных видах топлива, сами имеют высокую стоимость и большие эксплуатационные расходы. Кроме того, они, так же как газотурбинные электростанции, требуют обслуживания специалистами высокой квалификации.

Указанных недостатков лишены малые тепловые электростанции, в которых для привода генератора используются поршневые паровые машины.

Немного об истории создания паровых машин.

Первый паровой двигатель описан Дени Папеном в 1690 г. Однако это был не чисто паровой двигатель, а пароатмосферный, поршень которого двигался атмосферным давлением в сторону вакуума, получаемого при конденсации пара, находящегося в цилиндре. И через восемь лет, в 1698 г. Томас Севери построил такую машину, которую применил для откачивания воды из шахты. В 1705 г. Томас Ньюкомен построил машину, в которой поршень двигался в одну сторону избыточным давлением пара, а в обратную атмосферным давлением. И более шестидесяти лет паровые машины только и делали, что перекачивали воду. Иногда эту воду сливали на водяное колесо, и получали универсальный двигатель с вращательным движением, правда с КПД не более 0,1%.

В апреле 1763 г. И.И. Ползунов передал начальнику Колывано-Воскресенских заводов докладную записку и проект изобретенного им парового двигателя. Это был проект первого в мире не «пароатмосферного», а парового поршневого двигателя, непрерывная работа которого обеспечивалась использованием двух цилиндров. Запустили самый мощный в то время двигатель (32 лошадиные силы) 3

ПАРОВАЯ МАШИНА ВНОВЬ ВОСТРЕБОВАНА

июня 1766 г., уже после смерти изобретателя.

В год, когда Ползунов начал работу над своей машиной, механику университета Глазго Джеймсу Уатту поручили починить модель паровой машины Ньюкомена. Работа над этой машиной определила основное направление деятельности Уатта – снижение расхода пара и топлива, то есть повышение КПД машины. И в 1784 г. Джеймс Уатт запатентовал двигатель с кривошипно-ползунным механизмом, который с отдельными не принципиальными изменениями служил человечеству более 150 лет. Однако в конце сороковых годов прошлого века поршневая паровая машина была вытеснена паровыми турбинами, и казалась навсегда.

Негативное отношение к паровым машинам у наших современников сформировано взятыми из школьного учебника физики сведениями о том, что КПД паровоза составляет 10-12%. Это соответствует действительности, но относится только к паровозу. А для стационарных паровых машин достигнутый еще полвека назад уровень КПД составлял 22%. Следует напомнить, что все типы паровых машин (поршневые, винтовые, турбины) работают по циклу Ренкина, а не по циклу Карно, и КПД всех машин вычисляется по одной формуле. Логика подсказывает, что в этом случае должна применяться машина наиболее простой конструкции – поршневая паровая машина.

Приведём некоторые значения КПД паровых машин для случая выхлопа пара в атмосферу, т.е. при конечном давлении $p_k=0,1$ МПа.

$t, ^\circ\text{C}$ p_n , МПа	200	250	300	350	400	450
0,5	11,0	11,6	11,9	13,2	13,5	13,8
0,7	12,8	13,9	15,0	15,3	15,6	16,2
1,0	15,2	15,7	16,2	16,7	17,7	18,6
1,3	16,4	17,0	17,6	18,4	19,2	19,7
1,6		18,2	18,8	19,6	20,3	20,7
2,0		19,2	20,1	20,9	21,8	22,2

Эти значения показывают динамику роста КПД машины при повышении параметров вырабатываемого котлом пара, но так же ясно они показывают, что экономически нецелесообразно для обычных

условий использовать машину, имеющую $\text{КПД} > 21\%$. Заметного роста КПД можно достигнуть применением конденсатора, но и это оправдано только при больших мощностях.

Именно использование пара высоких параметров, с давлением выше 100 атм. и температурой выше 500°C позволяет достигать в мощных турбинах КПД до 35%. Однако если изготавливать котлы малой мощности на такие параметры пара, то сами эти котлы будут иметь низкий КПД, что отразится на экономичности всей установки.

Именно необходимость достижения высоких экономических показателей заставляет в малых тепловых электростанциях использовать для привода генератора поршневую паровую машину.

В качестве основы для поршневой паровой машины проще всего использовать модернизированный двигатель внутреннего сгорания. Промышленность России выпускает разнообразные двигатели, среди которых можно подобрать подходящий для модернизации в машину заданной мощности.

Данные выпускающихся ДВС и мощности паровых машин однократного расширения, изготовленных на базе шестицилиндровых модификаций этих двигателей.

№	Тип двигателя	Объем, л	Частота вращения	Мощность, кВт
1	15/18	19,2	500	117
2	16,5/21	27	500	165
3	26/38	120	500	730
4	30/33 т	140	500	850
5	31/36 т	163	500	990
6	29/41,5	164	500	1000
7	29/43	170	500	1040
8	34,5/50	280	375	1280
9	37/53	340	375	1560
10	42,5/60	400	300	1470

1. В столбце тип: числитель – диаметр цилиндра, знаменатель – ход поршня в см.

2. Мощность подсчитана по формуле:

$$N = V \cdot p \cdot n / 573,$$

где V- объём цилиндров;

$p=0,7$ МПа - среднее давление в цилиндрах;

n - число оборотов;
573 - коэффициент.

3. Индекс «т»-тепловозный двигатель.

4. В дальнейшем можно комбинировать, сделав например машину 31/38, мощностью 1050 кВт.

При использовании машины с числом цилиндров, кратным шести, имеется возможность в зависимости от требуемого соотношения между количествами тепловой и электрической энергий использовать машину в режимах однократного или двойного расширения. В последнем случае треть цилиндров используются в качестве первой ступени, а две трети в качестве второй ступени. Это позволяет менять соотношение получаемых от станции тепловой и электрической энергии в зависимости от сезонной потребности.

Современные технологические и смазочные материалы позволяют создать на базе выпускающихся ДВС паровые машины, работающие на паре с температурой до 350°C. Такие машины будут развивать мощность не меньшую, чем мощность исходного двигателя.

Особенно хорошие экономические показатели будут у малых тепловых электростанций на предприятиях, использующих пар на технологические нужды.

Это прежде всего заводы по переработке мясных и молочных продуктов, спиртзаводы и многие другие предприятия. В этом случае перегретый пар после совершения работы в машине обладает достаточным теплосодержанием и направляется на технологические нужды предприятия. Если в теплообменнике пар сконденсируется, т.е. будет использовано тепло, затраченное на парообразование, общий КПД такой станции может достигнуть величины 70%.

Разберём примеры использования котла производительностью $V=6000$ кг пара в час при выработке электроэнергии и при комплексном использовании тепловой и электрической энергии.

Для работы паровой машины используется пар следующих параметров:

Давление - $p_n=1,0$ МПа.

Температура - $t = 360^\circ\text{C}$.

Удельная энтальпия (теплосодержание) - $h_1=3179$ кДж/кг.

Возьмем табличное значение $d = 7,16$ кг/кВт*ч, теоретическая мощность составит:

$$N = V/d = 6000/7,16 = 738 \text{ кВт.}$$

При механическом КПД $\eta_m=0,9$ получим агрегат мощностью $738*0,9=660$ кВт.

Предположим, что пар после его использования в паровой машине идет на технологические нужды предприятия или теплоснабжение. В этом случае необходимо, чтобы на выходе из машины пар имел давление выше атмосферного, зададим $p_k=0,2$ МПа.

При использовании того же котла, что в предыдущем примере, мы будем располагать мощностью $N=(h_1-h_2)*V*0,278/1000$

$$N=(3179-2799)*6000*0,278/1000=634 \text{ кВт.}$$

При механическом КПД $\eta_m=0,9$, $N_a=570$ кВт.

Кроме того, данное предприятие будет располагать тепловой мощностью $N_r=(h_2-h^*)*V=(2799-192)*6000=15600000$ кДж, или 3,7 Гкал.

Группа инженеров ОАО «БикЗ» занимается разработкой семейства поршневых паровых машин мощностью от 100 до 2000 кВт, выполненных на современном техническом уровне, для их использования в составе малых тепловых электростанций, что решит вопрос автономного тепло- и электроснабжения поселков или предприятий.

Предполагаемая стоимость получаемой от таких станций тепловой и электрической энергии составит:

электроэнергии – 0,4 руб./кВт*ч ;

тепловой энергии – 68 руб./Гкал.

При использовании только электроэнергии и сбросе тепловой стоимость электроэнергии составит 0,86 руб./кВт*ч

Такая стоимость энергии позволяет с уверенностью прогнозировать, что в самое ближайшее время предприятиями России будет освоен выпуск поршневых паровых машин для их использования в составе малых тепловых электростанций.

Конечно, эти паровые машины не должны быть копией машин, выпускавшихся 60 лет назад, а должны вобрать в себя последние достижения двигателестроения.

Паровая машина вновь востребована, и ещё долго будет служить людям.