

УДК 62-6

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ КОТЛОАГРЕГАТА ПРИ ПОНИЖЕНИИ РАБОЧЕГО ДАВЛЕНИЯ

Ершов Александр Андреевич

студент

Московский государственный университет путей сообщения, Москва
eea.alexander@mail.ru

Аннотация. В статье исследована зависимость паропроизводительности котлоагрегата от давления, приведены соответствующие расчеты, показывающие все достоинства и недостатки.

Ключевые слова: энергоэффективность; котлоагрегат; давление; паропроизводительность.

KOTLOAGREGAT'S ENERGY EFFICIENCY AT FALL OF WORKING PRESSURE

Ershov Alexander Andreevich

student

Moscow state university of means of communication, Moscow

Abstract. In article dependence of a kotloagregat's steam productivity from pressure is investigated, the corresponding calculations shows merits and demerits.

Key words: energy efficiency; kotloagregat; pressure; steam productivity.

Население Земного шара в настоящее время составляет 7 миллиардов человек и возрастает примерно на 2-3 % в год (прогноз на 2050 – 9,5 миллиардов). Во многих странах острота проблемы роста населения несколько снижена высокой детской смертностью и низкой продолжительностью жизни.

В процессе своей жизнедеятельности любой человек каждый день пользуется доступными благами, полученными от энергии топлива и других ценнейших ресурсов Земли. Будь то просто свет, для освещения помещения, или тепло, для комфортного пребывания человека.

Среднее на душу населения потребление мощности в настоящее время составляет примерно 0,8 кВт, но национальные различия в уровне потребляемой энергии очень велики – от 10 кВт в США и 4 кВт в странах Европы до 0,1 кВт в центральной Африке. Средние темпы роста национального дохода в странах современного мира равны 2-5 % в год. При таких темпах роста ежегодное потребление энергии с учетом роста населения должно возрастать на 4-8 %. Поэтому энергетические программы всех стран нацелены на сбережение энергии и экономию ресурсов, для ее получения. И этот вопрос сегодня как никогда актуален.

Как один из вариантов экономии рассмотрим вопрос о понижении рабочего давления парового котла. В самом деле, если большинство технологических процессов на предприятии требуют пара давлением 4 атм или ниже, то зачем вырабатывать пар давлением 10 атм?

Очевидно, что снижение рабочего давления котла действительно экономит топливо, просто потому, что количество энергии, необходимое для получения пара при низком давлении, меньше, чем при высоком давлении.

Насколько это эффективно? Целесообразно ли? Какие есть плюсы и минусы? Для ответов на эти вопросы нашей задачей будет провести объективные расчеты и на уровне цифр сделать соответствующие выводы.

Итак, что же на самом деле принесёт понижение рабочего давления котла?

Паропроизводительность котла при номинальном давлении рассчитывается из условия уноса пара с определённой скоростью с поверхности воды определённой площади.

Рассмотрим котел производительностью 5000 кг/час с поверхностью испарения 7 м², рассчитанный для работы при 10 атм с удельной паропроизводительностью (нагрузкой зеркала испарения) 0,2 кг/(м²с).

Для начала определим удельный объем пара при расчетном давлении 10 бар. Сухой насыщенный пар есть продукт законченного парообразования, причем температура этого пара равняется температуре кипения воды при данном давлении.

Воспользуемся универсальным уравнением, которое описывает состояние любых реальных газов, полученное в 1939 г. русскими учеными И.И. Новиковым и М.Н. Вукаловичем.

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT \left[1 - \frac{C}{vT^{\frac{3+2m}{2}}} \right],$$

где a и b – постоянные уравнения Ван-дер-Ваальса; C – константа; m – величина, определяющая свойства двойной молекулы; R – газовая постоянная пара.

Для водяного пара уравнение состояния М.Н. Вукаловича и И.И. Новикова в современной термодинамике является наиболее точным уравнением. В нем помимо влияния сил взаимодействия и объема самих молекул учитывается также ассоциация молекул, заключенных в объединении одиночных молекул в двойные, тройные и тому подобные сложные соединения. Если считаться с подобной ассоциацией молекул реального газа, то такой газ является не однородным газом, а смесью газов, состоящей из одиночных, двойных, тройных молекул и т.д.

Из этого уравнения можно определить удельный объем сухого насыщенного пара v . Газовую постоянную пара R примем равной 461,52 Дж/(кг·К); $a = 620 \text{ Н} \cdot \text{м}^4/\text{кг}^2$; $b = 0,0009 \text{ м}^3/\text{кг}$; $C = 405000 \text{ м}^3 \cdot \text{К}/\text{кг}$; $m = 1,968$; давление $p = 10 \text{ бар} = 10^6 \text{ Па}$; $T = 457,25 \text{ К}$. Подставив числовые значения, получим, что удельный объем пара составляет 0,177 м³/кг.

Скорость уноса пара при этом будет составлять произведение паропроизводительности $0,2 \text{ кг/м}^2\text{с}$ и удельного объема – $0,177 \text{ м}^3/\text{кг}$:

$$0,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2\text{с}} \cdot 0,177 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} = 0,035 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

А теперь понизим давление в котле до 5 атм.

Известно, что удельный объем пара низкого давления больше удельного объема пара высокого давления.

Удельный объем пара при 5 атм составляет $0,315 \text{ м}^3/\text{кг}$ (при $p = 5 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па}$; $T = 432,05 \text{ К}$).

Сохраняя расчетную скорость уноса пара $0,035 \text{ м/с}$, получим максимальную удельную паропроизводительность котла в новых условиях:

$$d \frac{\text{кг}}{\text{м}^2\text{с}} \cdot 0,315 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} = 0,035 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$d \frac{\text{кг}}{\text{м}^2\text{с}} = \frac{0,035 \text{ кг}}{0,315 \text{ м}^2\text{с}}$$

$$d = 0,1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2\text{с}}$$

Таким образом, производительность котла при давлении 5 атм и той же самой скорости уноса пара составит:

$$0,1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2\text{с}} \cdot 7 \text{ м}^2 \cdot 3600 \frac{\text{с}}{\text{час}} = 2500 \frac{\text{кг}}{\text{час}}$$

Очевидно, что производительность котла оказалась снижена (почти вдвое), и все потому, что удельный объем пара при низком давлении выше.

Таким образом, снижение давления в котле приводит к снижению номинальной производительности. Отсюда видно, что снижение давления пара в котле возможно, если паропотребление предприятия это допускает. Если же остается высоким, то скорости уноса пара будут выше номинальных, и это приведёт к таким последствиям, как:

- 1) высокая турбулентность водяной поверхности в котле;
- 2) унос воды – влажный пар;
- 3) унос химикатов – грязный пар.

Эти отрицательные моменты приводят к различным проблемам в паровой системе, таким как:

- 1) сложность поддержания заданного уровня котловой воды;
- 2) высокий эрозионный износ запорной и регулирующей арматуры;
- 3) ухудшение качества теплообменных процессов на паропотребляющем оборудовании.

Всё это может серьёзно сказаться на общих производственных затратах.

А теперь посмотрим, сколько же составит экономия при снижении давления пара с 10 до 5 атм? Для того чтобы ответить на этот вопрос, необходимо обратиться к таблице физических свойств насыщенного пара.

Энтальпия насыщенного пара при давлении 10 атм составляет 2781,7 кДж/кг. При давлении 5 атм энтальпия насыщенного водяного пара составит 2756,9 кДж/кг. Разница составляет 24,8 кДж/кг или 0,89 %.

Снижение затрат при производстве того же количества пара, но более низкого давления составит всего 0,89 %.

Таким образом, получив небольшую экономию топлива, можно получить излишне высокие затраты на обслуживание и снижение производительности оборудования.

Список использованных источников

- | | |
|---|---|
| 1. Вукалович М.П., Новиков И.И. Техническая термодинамика. М., 1968. 496 с. | 2. Твайделл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии. М., 1990. 392 с. |
|---|---|

Впервые данная статья была опубликована в сборнике материалов IV Международной научно-практической конференции «Современная наука: тенденции развития» (26 марта 2013 г., Краснодар).