

УДК 63-83-52:519.768.2

© 2009 г. Д.О. Герасимов,
Г.Г. Гоппе, канд. техн. наук
(Иркутский государственный технический университет)

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЯГОДУТЬЕВЫМИ МЕХАНИЗМАМИ КОТЛОАГРЕГАТОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕСУРСОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Для тягодутьевых механизмов котлоагрегатов тепловых станций – дутьевых вентиляторов и – дымососов показаны возможности энергосберегающего управления при снижении производительности котлоагрегатов вниз от номинальной. Рассмотрено два варианта энергосбережения – с применением частотно-управляемого электропривода и двухскоростного асинхронного двигателя. Дана оценка сроков окупаемости рассмотренных вариантов энергосбережения.

Ключевые слова: энергосбережение, коэффициент полезного действия, дросселирование, асинхронный двигатель, преобразователь частоты, турбомеханизм, производительность, котлоагрегат, тепловая электростанция.

Введение

Современные высокопроизводительные котлоагрегаты (КА) тепловых электростанций являются сложными объектами управления с числом контролируемых и регулируемых переменных, достигающим нескольких сотен.

Основная цель управления такими объектами сводится к получению пара с необходимыми показателями при наибольшей технико-экономической эффективности – это высокий коэффициент полезного действия (КПД), безопасность условий труда, экологические ограничения и другие факторы.

Система управления КА состоит из ряда относительно самостоятельных подсистем, связанных между собой через один из основных параметров котла – производительность.

Таковыми подсистемами являются система управления давлением пара, его температурой, уровнем воды в барабане котла или в переходной зоне, разряжением в топке, соотношением топливо – воздух и т.д.

В процессе эксплуатации КА их производительность может изменяться в определенных пределах: верхний обычно соответствует номинальной нагрузке, а нижний – устойчивой работе КА и чаще всего ограничивается нагрузкой, равной половине от номинальной.

Изменениям нагрузки должны соответствовать значения ряда управляющих

переменных – количество поступающего топлива, воды, воздуха.

Задача настоящей работы состоит в том, чтобы показать возможность энергосбережения при управлении дутьевыми вентиляторами и дымососами КА (при изменениях нагрузки КА в отмеченных выше пределах), используя ресурсы электропривода этих механизмов.

Производительность турбомеханизмов пропорциональна производительности КА, т.е. тоже может изменяться в 2 раза.

В качестве привода названных механизмов в большинстве случаев используется короткозамкнутый асинхронный двигатель, а управление их производительностью осуществляется методом дросселирования – изменением гидравлического сопротивления магистрали с помощью направляющих аппаратов, шиберов, заслонок. Этот способ управления связан со значительными энергетическими потерями, вызванными необходимостью преодоления дополнительно введенного гидравлического сопротивления.

Гораздо более экономичным способом управления производительностью этих же механизмов является способ изменения частоты вращения, который реализуется применением частотно-регулируемого АД. При этом предполагается, что вся трубопроводная арматура полностью открыта.

Новым устройством в технологическом комплексе «асинхронный двигатель-турбомеханизм-трубопроводная магистраль» является преобразователь частоты (ПЧ). Его использование, естественно, увеличивает капитальные вложения в электрооборудование тягодутьевых механизмов. Поэтому такие решения требуют серьезных технико-экономических обоснований. В некотором смысле альтернативой частотно-регулируемому электроприводу некоторых тягодутьевых механизмов, в частности дутьевых вентиляторов и дымососов, являются двухскоростные АД. Низкая скорость в них отличается от высокой обычно на 20%, обмотки гальванически развязаны и подключаются к электрооборудованию отдельными высоковольтными выключателями. Сами электродвигатели по своим массогабаритным показателям проигрывают обычным АД той же мощности, у них ниже и КПД (на 3÷5%) и выше стоимость (в 1,3÷1,5 раза).

Тем не менее их применение в качестве электропривода названных механизмов также позволяет экономить значительные объемы электроэнергии. Поэтому ниже, на примере широко используемых дутьевых вентиляторов КА БКЗ – 500, рассмотрим возможные объемы энергосбережения при применении в качестве электропривода частотно-управляемых и двухскоростных АД, а также технико – экономические оценки предлагаемых решений.

Энергосберегающее управление с применением частотно-управляемого АД

Для того чтобы иметь представление о возможном объеме энергосбережения, целесообразно рассмотреть показатели конкретного турбомеханизма. В качестве примера используем дутьевой вентилятор ВДН – 26 КА БКЗ – 500. Основные его характеристики при номинальной производительности котла: производительность $Q_n = 277.5 \cdot 10^3 \text{ м}^3 / \text{час}$, напор $H_n = 622 \text{ мм}$ водяного столба. Котлоаг-

регат имеет номинальную производительность по пару $500 \text{ м}^3 / \text{час}$, на него работает два дутьевых вентилятора.

Сравним энергетические потери при управлении производительностью турбомеханизма двумя способами – методом дросселирования и изменением частоты вращения для следующих условий:

дросселирование – электропривод односкоростной нерегулируемый, управление производительностью с помощью направляющего аппарата и шиберов.

энергосберегающий способ – направляющий аппарат и шиберы открыты, управление производительностью изменением частоты вращения электропривода. Асинхронный электропривод для обоих случаев одинаковой мощности – 630 кВт и синхронной частотой вращения 750 об/мин.

Сравниваемые показатели целесообразно рассматривать в относительных единицах. В качестве базовых примем номинальные величины напора и производительности турбомеханизма.

Предполагается также, что напорная характеристика турбомеханизма согласована с магистралью, это означает, что номинальная производительность турбомеханизма при его номинальном напоре соответствует той же величине производительности для магистрали при полностью открытой трубопроводной арматуре. Тогда номинальная производительность $Q_{*H} = 1$, а напор $H_{*H} = 1$.

Для метода дросселирования напорная характеристика турбомеханизма остается неизменной, а изменение происходит с параметрами напорной характеристики магистрали. Если для номинальной производительности назвать напорные характеристики турбомеханизма и магистрали естественными, то при снижении производительности методом дросселирования система управления переходит на искусственные характеристики магистрали, т.е. на характеристики с большим гидравлическим сопротивлением. Последнее следует из соотношения для напорной характеристики турбомеханизма [1].

$$H = \left[1 + \lambda \frac{L}{D_y} + \sum \xi_c + \xi(\bar{y}) \right] \cdot \frac{Q^2 \cdot \gamma}{2g \cdot S_y^2}, \quad (1)$$

где H – напор (давление) на входе в магистраль; λ – удельный коэффициент трения о стенки трубопроводной магистрали; L – длина магистрали; D_y – условный внутренний диаметр магистрали; $\sum \xi_c$ – суммарный коэффициент сопротивления поворотов и местных сужений по длине магистрали; $\xi_a(\bar{y})$ – коэффициент сопротивления, вносимый регулирующим органом – направляющим аппаратом, шибером и др.; $0 \leq \bar{y} \leq 1$ – относительное положение затвора регулирующего органа; Q – объемная производительность; $\bar{y} = 0$ – полностью закрыт и $\xi(\bar{y} = 0) = \infty$; $\bar{y} = 1$ – полностью открыт и $\xi(\bar{y} = 1) = \min$; γ – удельный вес транспортируемой среды; g – ускорение силы тяжести; S – площадь внутреннего поперечного сечения магистрали. Из (1) видно, что, уменьшая \bar{y} от 1 до 0, можно изменять и производительность трубопровода от некоторой номинальной до нулевой. При $\bar{y} = 1$ напорная характеристика магистрали как раз и будет естественной.

В [1] показано, что в относительных единицах напорная характеристика магистрали может быть представлена как:

$$H_* = k_M Q_*^2, \quad (2)$$

где H_* – относительное значение напора; Q_* – относительное значение производительности; $k_M = \frac{1.5 - 0.5 \cdot Q_*^2}{Q_*^2}$ – коэффициент пропорциональности.

Примеры естественной и искусственной напорных характеристик магистрали представлены на рис. 1 (графики 1 и 2), где использованы следующие обозначения: 1 – естественная напорная характеристика магистрали; 2 – искусственная напорная характеристика магистрали $Q_* = 0.8$; 3 – естественная напорная характеристика турбомеханизма; 4 – искусственная напорная характеристика турбомеханизма $Q_* = 0.8$; 5 – график КПД турбомеханизма для метода дросселирования; 6 – график мощности, потребляемой из сети для метода дросселирования; 7 – график мощности, потребляемой из сети для метода $\omega = \text{var}$; $abcd$ – площадь, соответствующая энергии, потребляемой за год, для метода дросселирования; $kcde$ – площадь, соответствующая потребляемой за год энергии для метода $\omega = \text{var}$; $ajsc$ – площадь, соответствующая экономии энергии за год для $\omega = \text{var}$ по сравнению с дросселированием

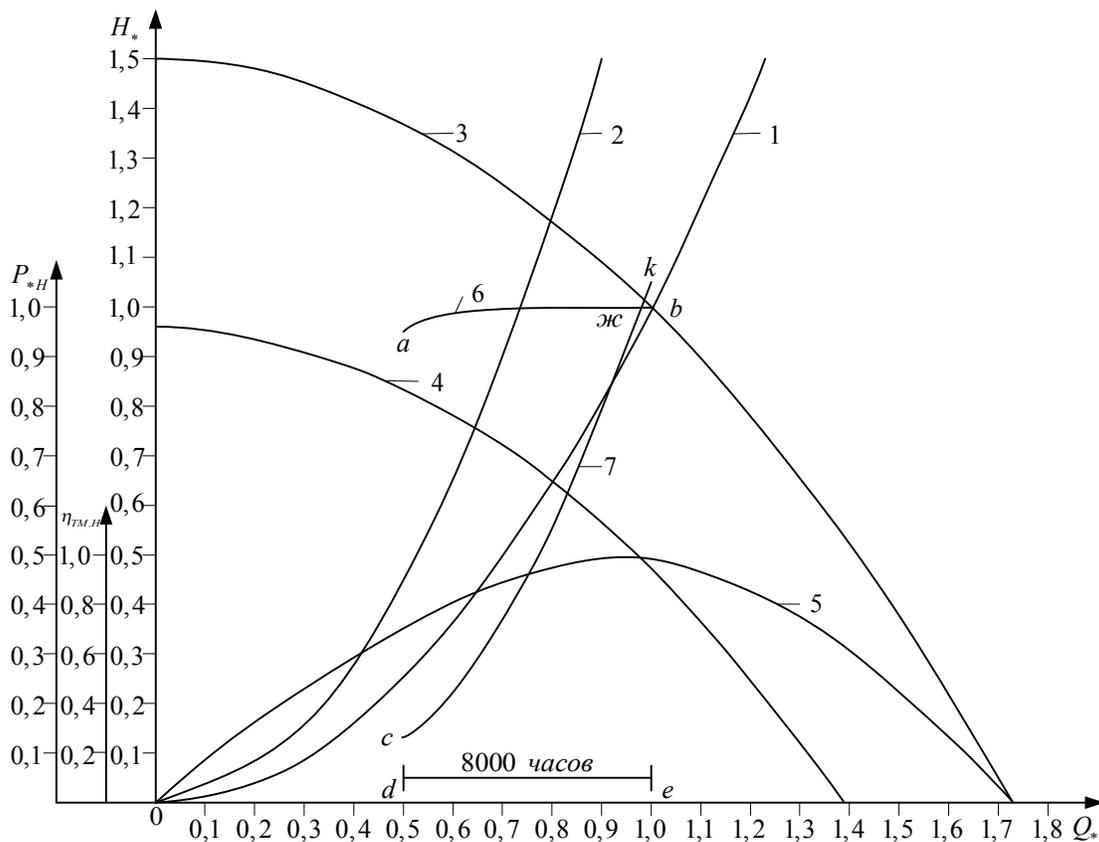


Рис. 1. Характеристика турбомеханизма и магистрали.

Напорная характеристика турбомеханизма естественная в относительных единицах приближенно может представлено в виде [2]:

$$H_* = 1.5 - 0.5 \cdot Q_*^2. \quad (3)$$

Управление производительностью при регулировании частоты вращения осуществляется переходом на искусственные напорные характеристики турбомеханизма. Они могут быть рассчитаны в соответствии с уравнением:

$$H_{*И} = 1.5(\omega_*)^2 - 0.5 \cdot Q_*^2, \quad (4)$$

где $\omega_* = \omega / \omega_H$ – относительное значение скорости вращения привода для искусственной напорной характеристики.

Для данного способа управления предполагается, что напорная характеристика магистрали является естественной. В дополнение к изложенному следует помнить, что для метода дросселирования, помимо ухудшения характеристик магистрали, уменьшается и КПД турбомеханизма. Типовой график его приведен на рис. 1 в виде кривой 5. Его математическое описание для левой части графика записывается как:

$$\eta_{ТМ} = 1.88\eta_{ТМ.Н} \cdot Q_* - 0.88\eta_{ТМ.Н} \cdot Q_*^2. \quad (5)$$

Для метода же с регулируемой частотой вращения КПД турбомеханизма остается постоянным, равным $\eta_{ТМ.Н}$.

Имея выражения для расчета естественных и искусственных напорных характеристик магистрали и турбомеханизма, а также для КПД турбомеханизма, можно перейти к оценке энергетических затрат для сравниваемых способов управления.

Общее выражение для относительной мощности, потребляемой из сети электроприводом турбомеханизма, может быть представлено как:

$$P_* = \frac{Q_* \cdot H_*}{\eta_{ЭП} \cdot \eta_{ТМ}}, \quad (6)$$

где $\eta_{ЭП}$ – значение КПД электропривода.

Если выражение (6) рассматривать для метода дросселирования, то вместо $\eta_{ЭП}$ следует использовать $\eta_{АД}$ – КПД асинхронного двигателя.

Для номинального режима и этого же способа управления (6) предстанет в виде:

$$P_{*Н} = \frac{Q_{*Н} \cdot H_{*Н}}{\eta_{АД.Н} \cdot \eta_{ТМ.Н}}. \quad (7)$$

Тогда мощность в (7) можно принять за номинальную и считать ее равной «1», а для остальных режимов эта же мощность будет оцениваться по отношению к номинальной. Данные расчета относительной мощности для метода дросселирования показаны в табл. 1, из которой видно, что КПД АД в данном диапазоне изменения производительности практически постоянный, поскольку нагрузка со стороны турбомеханизма изменяется незначительно. На рис. 1 график мощности для метода дросселирования представлен кривой 6. Если полагать, что турбомеханизм с одинаковой вероятностью работает в каждой точке выделенного диапа-

зона изменения производительности, то можно найти среднюю относительную мощность в этом диапазоне. Для данного случая она будет равна $P_{*CP.DP} = 0,987$.

Таблица 1

Q_*	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
H_*	1	1,095	1,18	1,255	1,32	1,375
η_{TM}	$\eta_{TM.H}$	$0,98\eta_{TM.H}$	$0,942\eta_{TM.H}$	$0,885\eta_{TM.H}$	$0,812\eta_{TM.H}$	$0,72\eta_{TM.H}$
η_{AD}	$\eta_{AD.H}$	$\eta_{AD.H}$	$\eta_{AD.H}$	$\eta_{AD.H}$	$\eta_{AD.H}$	$\eta_{AD.H}$
P_*	1	1	1	0,99	0,97	0,95

По такой же методике можно рассчитать мощность, потребляемую электроприводом из сети для способа управления производительностью частотой вращения. Отличие от метода дросселирования состоит в том, что искусственные напорные характеристики турбомеханизма пересекаются с естественной характеристикой магистрали в точках выбранной производительности, где значения относительного напора существенно меньше, чем при дросселировании. На рис. 1 это показано для примера в виде графика 4 для производительности 0,8.

Величина КПД турбомеханизма остается постоянной [3], равной номинальному значению $\eta_{TM.H}$; более значительные же изменения претерпевает КПД электропривода $\eta_{ЭП} = \eta_{AD} \cdot \eta_{ПЧ}$, где $\eta_{ПЧ}$ – КПД преобразователя частоты. В связи со значительным снижением момента нагрузки и частоты вращения привода при уменьшении производительности вниз от номинальной уменьшается КПД АД и КПД ПЧ.

Оценочные данные по этим показателям получены в [4]. Все переменные для данного способа управления представлены в табл. 2.

Таблица 2

Q_*	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
H_*	1	0,81	0,64	0,49	0,36	0,25
η_{TM}	$\eta_{TM.H}$	$\eta_{TM.H}$	$\eta_{TM.H}$	$\eta_{TM.H}$	$\eta_{TM.H}$	$\eta_{TM.H}$
η_{AD}	$\eta_{AD.H}$	$0,99\eta_{AD.H}$	$0,98\eta_{AD.H}$	$0,97\eta_{AD.H}$	$0,97\eta_{AD.H}$	$0,96\eta_{AD.H}$
$\eta_{ПЧ}$	0,95	0,94	0,94	0,93	0,93	0,92
$\eta_{ЭП}$	$0,95\eta_{AD.H}$	$0,93\eta_{AD.H}$	$0,92\eta_{AD.H}$	$0,90\eta_{AD.H}$	$0,90\eta_{AD.H}$	$0,883\eta_{AD.H}$
P_*	1,05	0,784	0,556	0,38	0,24	0,142

Расчет средней относительной мощности для представленных выше условий изменения производительности составит $P_{*CP,\omega=var} = 0.5$. Тогда для $\omega = var$ выигрыш в средней мощности составит

$$\Delta P_{ЭКОН} = P_{*CP.DP} - P_{*CP,\omega=var} = 0.987 - 0.5 = 0.487.$$

Рассмотрим, в какой объем экономии электроэнергии превращается данная цифра. Для этого используем АД типа ДАЗО-4-560Х-841 с номинальной мощностью 630 кВт, синхронной частотой вращения $n_0 = 750 \text{ об/мин}$, $\eta_{AD.H} = 0,947$. Мощность, потребляемая из сети для номинальных условий, составит:

$$P = \frac{Q_H \cdot H_H}{\eta_{АД.Н} \cdot \eta_{ТМ.Н}} = \frac{77 \text{ м}^3 / \text{сек} \cdot 6220 \text{ Па} \cdot 10^{-3}}{0,947 \cdot 0,82} = 617,5 \text{ кВт}.$$

Соответственно средняя экономия по мощности:

$$\Delta P_{ЭКОН} = 617,5 \cdot 0,487 = 300,7 \text{ кВт}.$$

Если турбомеханизм работает 8000 часов в году, то объем экономии электроэнергии составит:

$$\mathcal{E}_{ЭКОН} = 300,7 \cdot 8000 = 2405503 \text{ кВт час}.$$

Энергосберегающее управление тягодутьевыми механизмами с использованием двухскоростных асинхронных двигателей

Покажем, что существенный эффект энергосбережения при управлении тягодутьевыми механизмами может быть получен и при использовании в качестве привода двухскоростного АД. В отличие от изложенного выше, где по отдельности рассматриваются процессы при дросселировании и при управлении изменением производительности турбомеханизма частотой вращения, здесь используются оба способа.

Выглядит это следующим образом. Предположим, что КА работает на полной производительности, тогда тягодутьевой механизм работает на высокой скорости при открытой трубопроводной арматуре. При снижении производительности до определенного уровня используется метод дросселирования. При дальнейшем снижении производится переключение АД на низкую скорость, при этом полностью открывается трубопроводная арматура. Если производительность продолжает снижаться и далее, то опять используется дросселирование.

При обратном ходе, т.е. повышении производительности, порядок управления обратный, переключение на высокую скорость выполняется при той же производительности, на которой производилось переключение на низкую скорость.

В качестве двухскоростного рассмотрим АД типа ДАЗО2-17-44-8/10У1, который находит широкое применение в качестве электропривода дутьевых вентиляторов и дымососов. Его мощность 630/320 кВт и соответственно КПД 91,5/90,5%. Последние показатели меньше, чем для односкоростного АД типа ДАЗО-4-560Х-841, рассмотренного выше, для которого $\eta_H = 94,7\%$.

Из этого следует, что если для рассмотренного ранее номинального режима относительная мощность была взята равной единице, то здесь она будет немного выше. Синхронная скорость вращения АД равна 750/600 об/мин. Исходя из этого, номинальной производительности соответствует высокая скорость, а низкой – скорость, составляющая 0,8 от нее.

Поэтому переключение с одной скорости на другую целесообразно выполнять при производительности 0,8.

Все характеристики турбомеханизма и магистрали для двух скоростей вращения приведены на рис. 2, где используются следующие обозначения: 1 – естественная напорная характеристика турбомеханизма; 2 – искусственная напорная характеристика турбомеханизма $\omega_* = 0,8$; 3 – естественная напорная характери-

стика магистрали; 4, 5 – искусственные характеристики магистрали на высокой скорости вращения; 6, 7, 8 – искусственные характеристики магистрали на низкой скорости вращения турбомеханизма; 9, 10 – графики КПД турбомеханизма для двух скоростей вращения; 11 – график мощности, потребляемой из сети, на высокой скорости АД; 12 – график мощности, потребляемой из сети, на низкой скорости АД; *abde* – площадь, соответствующая экономии электроэнергии при использовании двухскоростного режима АД.

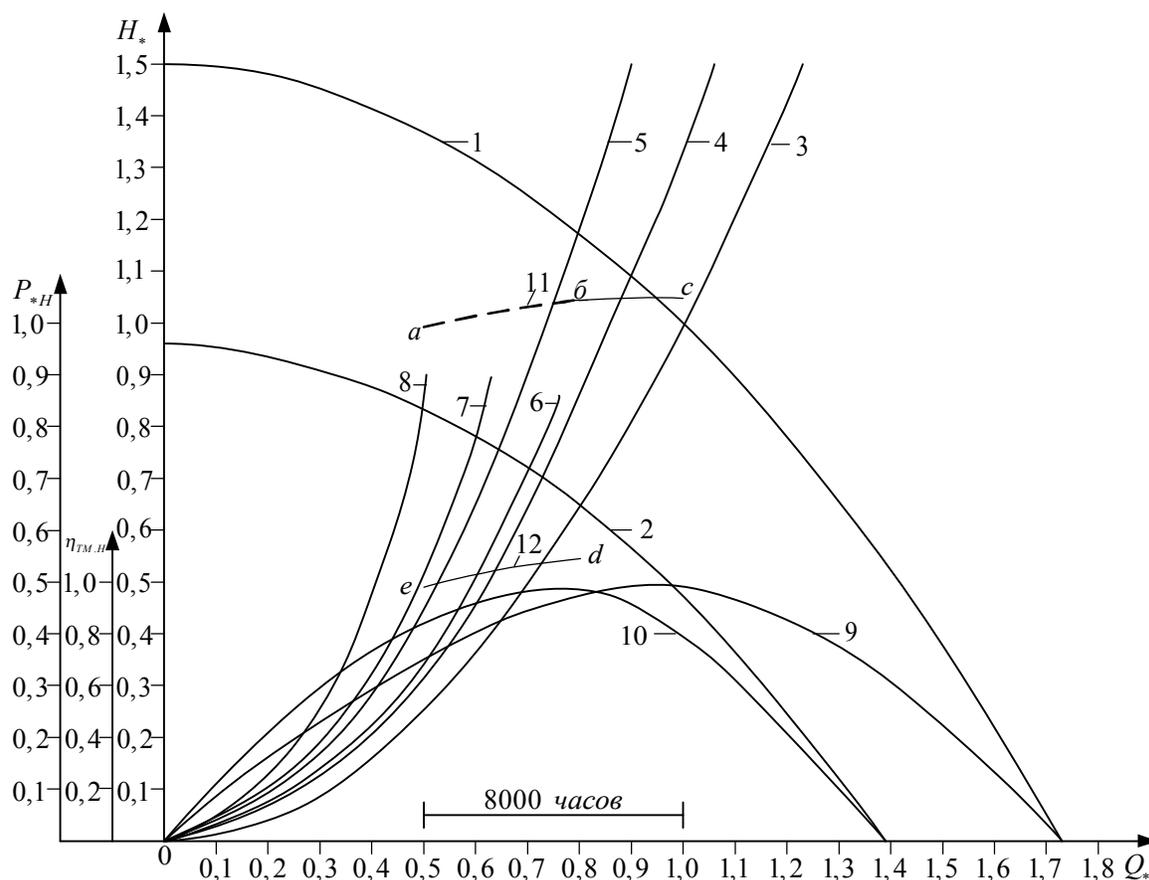


Рис. 2. Характеристика турбомеханизма и магистрали при использовании в качестве электропривода двухскоростного АД.

Особый интерес вызывают графики для мощности. В частности, на кривой 11 участок «бс» соответствует мощности, потребляемой из сети при работе на высокой скорости. Продолжение графика влево в виде штриховой линии – это мощность при дальнейшем снижении производительности, но при той же высокой скорости вращения. Кривая 12 – график мощности, потребляемой из сети, при работе на низкой скорости в диапазоне производительности (0.5 – 0.8).

Данные для расчета относительных мощностей на высокой и низкой скоростях вращения представлены соответственно в табл. 3 и 4. В качестве номинального значения КПД АД принят КПД односкоростного типа ДАЗО-4-560Х-841 $\eta_H = 94,7\%$.

Таблица 3

Q_*	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
H_*	1	1,095	1,18	1,255	1,32	1,375
η_{TM}	$\eta_{TM.H}$	$0,979\eta_{TM.H}$	$0,94\eta_{TM.H}$	$0,88\eta_{TM.H}$	$0,81\eta_{TM.H}$	$0,72\eta_{TM.H}$
η_{AD}	$0,966\eta_{AD.H}$	$0,966\eta_{AD.H}$	$0,966\eta_{AD.H}$	$0,966\eta_{AD.H}$	$0,966\eta_{AD.H}$	$0,966\eta_{AD.H}$
P_*	1,0347	1,04	1,039	1,027	1,01	0,988

Среднее значение относительной мощности для диапазона производительности (0.8 – 1) составляет 1,0166.

Таблица 4

Q_*	0,8	0,7	0,6	0,5
H_*	0,64	0,715	0,78	0,835
η_{TM}	$\eta_{TM.H}$	$0,97125\eta_{TM.H}$	$0,915\eta_{TM.H}$	$0,83125\eta_{TM.H}$
η_{AD}	$0,955\eta_{AD.H}$	$0,955\eta_{AD.H}$	$0,955\eta_{AD.H}$	$0,955\eta_{AD.H}$
P_*	0,536	0,53959	0,53576	0,526

Среднее значение относительной мощности для диапазона производительности (0.5 – 0.8) равно 0,536. Тогда разница этих величин в рассматриваемом диапазоне составит $\Delta P_{*CP.ЭКОH} = 1,0166 - 0,536 = 0,4806$.

Если, как и прежде, предположить, что турбомеханизм работает в диапазоне (0.5 – 1) с равной вероятностью, то при годовой работе турбомеханизма – 8000 часов в диапазоне (0.5 – 0.8) он будет работать 4800 часов. Тогда, если использовать величину $\Delta P_{*CP.ЭКОH} = 0,4806$ и ранее принятую базовую мощность в 617.5 кВт, экономия энергии за год составит:

$$\Delta \mathcal{E}_{ЭКОH} = 0,4806 \cdot 617,5 \cdot 4800 = 1424498 \text{ кВт} \cdot \text{час}.$$

Но такой эффект будет только в том случае, если переключение скоростей осуществлять на относительной производительности $Q_* = 0.8$. Если, например, эту же операцию выполнять при $Q_* = 0.7$, то объем сэкономленной энергии уменьшится сразу на треть (см. график мощности 11 на рис. 2). Последнее является очень важным выводом при обосновании применения двухскоростных АД.

Попытаемся учесть то обстоятельство, что у двухскоростного АД номинальный КПД меньше на 3% на высокой скорости и на 4% – на низкой.

Дополнительные потери от этого составят:

$$\Delta \mathcal{E}_{ПОГ.1} = 617,5 \cdot 0,03 \cdot 3200 = 59280 \text{ кВт} \cdot \text{час};$$

$$\Delta \mathcal{E}_{ПОГ.2} = 617,5 \cdot 0,04 \cdot 4800 = 118560 \text{ кВт} \cdot \text{час}.$$

Тогда «чистая» экономия составит для одного турбомеханизма

$$\Delta \mathcal{E}_{ЭКОH} = 1424498 - 59280 - 118560 = 1246658 \text{ кВт} \cdot \text{час}.$$

Как видим, данный показатель составляет примерно половину от возможного объема энергосбережения при использовании односкоростного АД с ПЧ. Однако еще раз подчеркнем, что такой эффект будет иметь место, если в течение 8000 часов работы турбомеханизма в год он 60% времени работает на низкой скорости.

Оценка технико-экономических показателей энергосберегающего управления

Для оценки рассмотренных энергосберегающих способов управления тягодутьевыми механизмами необходимо помимо стоимости сэкономленной электроэнергии рассчитать затраты на приобретение и внедрение соответствующего энергосберегающего оборудования и на основе этих данных получить срок окупаемости каждого из вариантов.

Управление производительностью на основе ПЧ и АД. Если считать стоимость $1 \text{ кВт} \cdot \text{час}$. электроэнергии равной $1 \text{ руб} / \text{кВт} \cdot \text{час}$., то стоимость сэкономленной электроэнергии составит $\mathcal{E}_{\text{ЭКОН}} = 2405503 \text{ руб/год}$.

Основные затраты здесь связаны с приобретением ПЧ. Если для низковольтных АД ($0,4 \text{ кВ}$) средняя стоимость 1 кВт мощности преобразователя частоты составляет до $2200 \text{ руб} / \text{кВт}$ [4], то для высоковольтных примерно в 4 раза больше. Тогда для АД ДАЗО-4-560х-841 мощностью 630 кВт это составит $630 \cdot 8800 = 5544000 \text{ руб}$. Сам АД данного типа стоит примерно 2000000 руб ., т.е. ПЧ примерно в 3 раза дороже двигателя. С учетом того обстоятельства, что ПЧ выбирается несколько большей мощности, чем АД, возьмем затраты на ПЧ равными 6 млн. рублей . Тогда срок окупаемости – $T_{\text{ОКУП}} = \frac{6000}{2405,5} = 2,5 \text{ года}$.

Управление с использованием двухскоростного АД. Двухскоростной АД примерно в 1,5 дороже односкоростного такой же мощности (на высокой скорости). Тогда стоимость его составит около 3 млн. рублей . К нему необходим еще один высоковольтный выключатель – вакуумный или газовый, примерной стоимости $0,5 \text{ млн. рублей}$. Тогда превышение расходов по сравнению с односкоростным АД составит $1,5 \text{ млн рублей}$. Срок окупаемости: $T_{\text{ОКУП}} = \frac{1500,000}{1246,658} = 1,2 \text{ года}$.

Отсюда можно сделать вывод о предпочтительности варианта с двухскоростным АД. В связи с предполагаемым в ближайшие годы ростом стоимости электроэнергии (2 – 3 раза) и снижением стоимости ПЧ достаточно привлекательным могут стать и решения с использованием частотно-управляемых АД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гonne Г.Г. Снижение энергетических потерь в трубопроводных магистралях при транспортировании жидкостей и газов // Энергосбережение и водоподготовка. – 2008. – №1. – С.68-72.
2. Гonne Г.Г., Герасимов Д.О. Математические модели систем регулирования расходов жидкостей и газов в трубопроводах при использовании для управления ресурсами электропривода. Отчет по гранту Минвуза РФ. – Иркутск 2001. ВНИЦ № 02.200.108420.
3. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры – М.: Энергоатомиздат, 1984.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Е.А. Ереминым.

E-mail:

Герасимов Д.О. – elprivod@istu.edu;

Gonne Г.Г. – elprivod@istu.edu.