



**Частотно-регулируемые
приводы переменного тока**
(Экономия электроэнергии)

Воронеж 2006 г.

Экономия электроэнергии частотно-регулируемыми приводами переменного тока

Асинхронные электродвигатели переменного тока являются основными преобразователями электрической энергии во всем мире и применяются в промышленности, коммерции и даже дома. Представить нашу сегодняшнюю жизнь без использования электродвигателей невозможно. Они являются основными преобразователями электрической энергии в другие формы. По этой причине около двух третей производимой электроэнергии расходуется электродвигателями.

Большая часть энергии, потребляемой электродвигателями, расходуется на эксплуатацию вентиляторов, компрессоров и насосов. Согласно произведенным расчетам, примерно 50% всех электродвигателей используются именно для этих целей.

Эти отдельные виды нагрузки – вентиляторы, компрессоры и насосы особенно привлекательны с точки зрения экономии электроэнергии. Сравнительно недавно появились новые, альтернативные методы управления насосами и вентиляторами, которые дают возможность значительной экономии электроэнергии по сравнению с традиционными методами.

В основном, вентиляторы и насосы проектируются с возможностью удовлетворять максимальные требования систем, в которых они установлены. Однако, очень часто, реальные потребности изменяются и становятся значительно меньше проектных мощностей. В таких случаях приходится устанавливать дополнительные выходные заслонки (шибера) на вентиляторы или дросселирующие клапаны на насосы. Такие методы являются простыми и эффективными, но оказывают значительное воздействие на КПД системы.

В настоящее время появились другие способы управления, которые адаптируют вентиляторы и насосы к изменяющимся условиям и не оказывают столь сильного, как указанные ранее, воздействия на коэффициент полезного действия системы. Новые методы предусматривают прямое изменение скорости вращения вентиляторов и насосов. Это позволяет выполнять более эффективное управление потоками воздуха или жидкости, по сравнению с традиционными. И кроме того, применение частотно-регулируемых приводов дает значительные преимущества перед другими системами управления переменной скоростью.

Динамические насосы прикладывают момент давления к жидкости посредством вращения погруженной в нее крыльчатки. Производимый момент увеличивает давление или расход на выходе насоса.

Если система, в которой используется насос, является частью процесса, параметры которого часто или постоянно меняются, то потребуется использование специальных методов для изменения характеристик насоса или сети. Для этих целей, в основном, используются два метода. Первым из них является дросселирование, которое изменением положения задвижки изменяет характеристики сети. Другой, метод изменения скорости, изменяет непосредственно характеристику насоса.

Первый метод снижает расход в системе, повышая давление насоса. Второй метод снижает расход путем уменьшения скорости вращения крыльчатки насоса.

На промышленных предприятиях, предприятиях коммунального хозяйства и водоочистных сооружениях регулирование дросселированием потока наиболее распространенный метод регулирования. КПД регулирования дросселированием, однако, значительно хуже КПД регулирования скорости вращения, при котором экономия энергии часто превышает 50%.

Насосы и связанные с ними части установок, такие как трубопроводы, клапаны и резервуары, всегда рассчитываются по максимальному количеству передаваемой жидкости. Средняя же подача насоса, как правило, составляет лишь долю максимальной производительности.

Применение метода регулирования скорости вращения крыльчатки с использованием частотно-регулируемых приводов переменного тока серии EI позволяет получить до 50% экономии электроэнергии и до 20% воды. Экономический эффект прямо пропорционален непроизводительным затратам и может достигать 80%.

Прочие достоинства:

• пуск двигателя происходит плавно, без пусковых токов и ударов, что снижает нагрузку на двигатель и механику, исключают гидроудары в трубопроводах, значительно продлевая срок их службы;

ü для питающей сети преобразователь является чисто активной нагрузкой и потребляет ровно столько энергии, сколько требуется для выполнения работы (с учетом КПД двигателя);

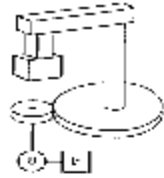
ü обеспечивается полная электрозащита двигателя от перегрузок по току, перегрева, обрыва фаз и утечек на землю.

Частотные преобразователи ЕІ сочетают в себе уникальные качества – высокий технический уровень, надежность и невысокую цену. Эти устройства просты в эксплуатации и долговечны. Они не требуют наладки при установке и легко встраиваются в существующие системы. Широкий диапазон мощностей и различные варианты систем управления позволяют подобрать варианты решения практически любых задач.

В приложении приведены примеры использования преобразователей для решения некоторых задач, пример нескольких дней работы насосного агрегата ЦТП при регулировке напора воды преобразователем ЕІ и краткое описание принципа работы преобразователя.

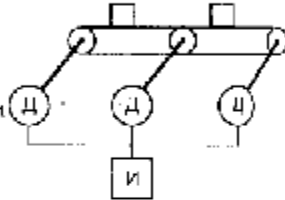
Примеры использования преобразователей серии EI

- Плавный разгон и торможение массивного груза
- Точное позиционирование механики
- Устранение ударных нагрузок и пусковых токов



Привод поворотной башни МНЛЗ в СТПЦ

- Синхронизация работы двигателей
- Безступенчатое изменение скорости
- Плавный пуск и остановка

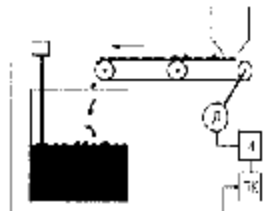


Система регулирования подачи соды

- Точное поддержание и регулирование скорости вращения
- Исключение обрывов и ловы шпалец производительности
- Значительное улучшение качества нити

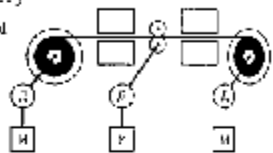


- Безступенчатое регулирование скорости подачи стекломассы
- Точное поддержание уровня



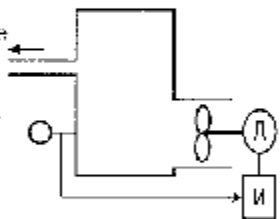
Система управления технологическим процессом перемотки нитей

- Управление по моменту
- Согласование работы 2 электродвигателей
- Поддержание заданной температуры стеклованни на всех этапах процесса



Система регулирования уровня стекломассы

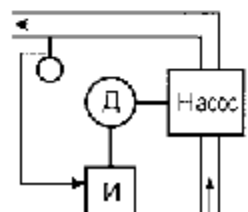
- Точное поддержание давления в магистрали
- Устранение регулирующих заслонок
- Экономия электроэнергии



Линия по производству стекловолна, привод намоточных аппаратов
Привод линии по производству стекловолна

Привод подачи воздуха

- Точное поддержание давления в магистрали
- Снижение эксплуатационных затрат
- Экономия электроэнергии



Насосная станция, привод насоса второго подъема

Экономия энергии на вентиляторах

1. ВЕНТИЛЯТОРЫ

В осевых вентиляторах воздух (или газ) перемещается вдоль оси рабочего колеса вращаемого двигателем.

В отличие от радиальных, характеристика давления осевых вентиляторов часто имеет седлообразный участок. Для упрощения, мы рассматриваем характеристику, показанную на рис. 1.

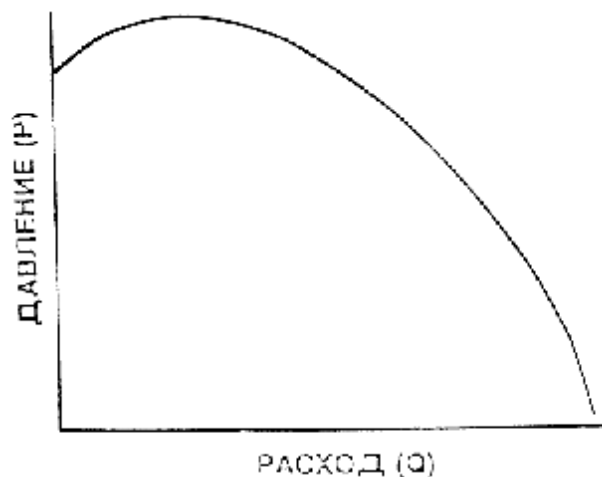


Рис. 1 Характеристика вентилятора

Рисунок является примером того, что может производить вентилятор на своем выходе при заданной скорости вращения. Кривая представляет график зависимости выходного давления от потока воздуха. Стандартные характеристики вентиляторов обычно представляют собой ряд кривых для различных скоростей вращения и включают в себя производительность вентилятора и требуемую мощность. Они очень полезны для выбора оптимального вентилятора для любых целей. По ним также можно определить характеристики вентилятора при изменении условий эксплуатации.

На рис. 2 показана характеристика системы вместе с характеристикой типового вентилятора.

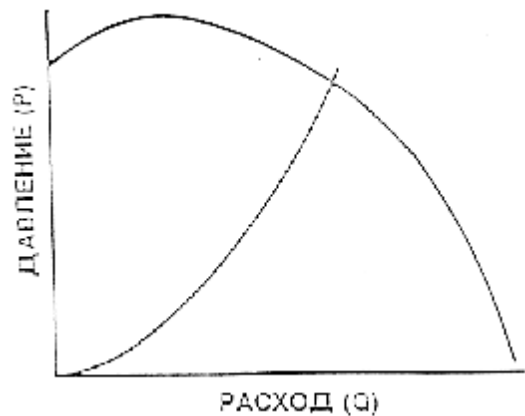


Рис. 2 Характеристика системы

Характеристика системы не зависит от вентилятора, но определяет требования системы вентиляции, в которой будет работать вентилятор. Она показывает, какое давление требуется от вентилятора для покрытия всех потерь в системе и обеспечения требуемого потока воздуха. Характеристика системы – это совокупность требований «нагрузки» предъявляемой к вентилятору. Точка пересечения двух кривых является фактической рабочей точкой системы. Это реальное давление и расход, которые должны будут обеспечены на выходе вентилятора при работе системы. Без внешних воздействий, вентилятор будет работать только в этой точке.

1.1 Действие вентилятора

Однако, множество систем вентиляции требуют эксплуатации в широком диапазоне рабочих точек. На рис. 3 показан график типичных изменений расхода, наблюдаемых в типовой системе. Имеется несколько методов изменения расхода (GFM) системы для достижения оптимальных точек эксплуатации.

МОДУЛИРОВАННЫЙ ПРОФИЛЬ НАГРУЗКИ

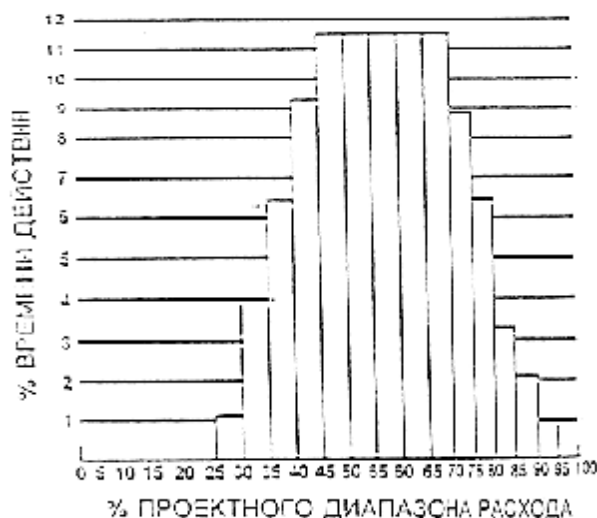


Рис. 3 Действие вентилятора

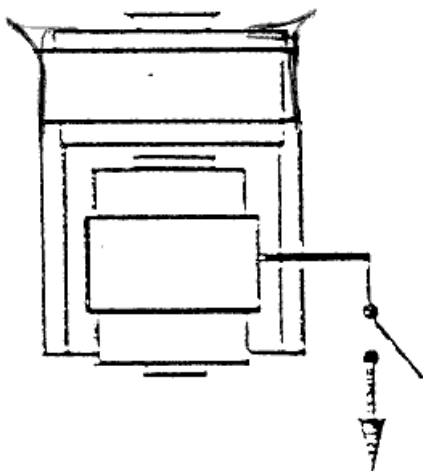


Рис. 4

Цикличность: Например, в домашних обогревателях. Но, это производит хаотичный расход воздуха и неприемлема для коммерческих и промышленных применений.

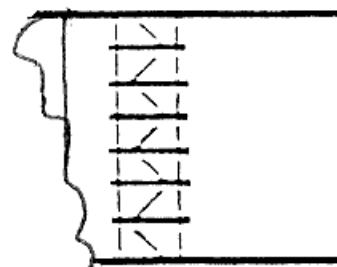


Рис. 5

Выходной шибер: Управляемый шибер устанавливается на выходе вентилятора. Для управления расходом он поворачивается, уменьшая проходное сечение выхода и снижая расход воздуха.

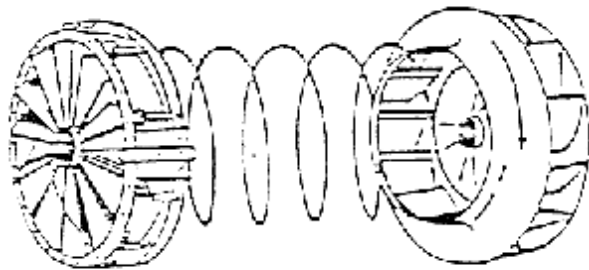


Рис. 6

Поворотные лопасти на входе: Изменение физических характеристик потока воздуха на входе изменяет рабочую характеристику вентилятора, что изменяет расход воздуха на выходе.

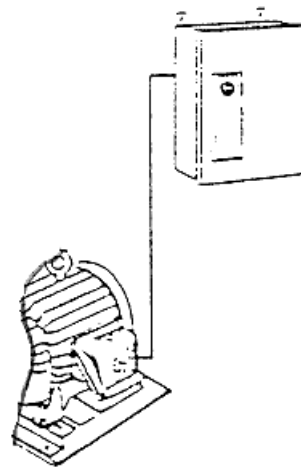


Рис. 7

Приводы переменной скорости: Изменение числа оборотов изменяет характеристику вентилятора и, как следствие, расход воздуха.

Каждый из трех последних методов воздействует либо на характеристику системы, либо на характеристику вентилятора, задавая разные рабочие точки. Таким образом, они также могут изменять производительность вентилятора и требуемую мощность. Ниже приведены примеры каждого метода.

2. ВЫХОДНЫЕ ШИБЕРЫ

Выходные шиберы воздействуют на характеристику системы увеличивая сопротивление потоку воздуха на выходе вентилятора. Характеристика системы является простой функцией и может быть выражена как

$$P = K \cdot (GFM)^2$$

Где P – давление, требуемое для производства заданного расхода в системе. K – функция системы представляющая сопротивление трения потоку воздуха. GFM – это требуемый расход воздуха. Шибер на выходе вентилятора воздействует на коэффициент K . На рис. 8 показаны несколько характеристик системы при различных положениях выходных шиберов.

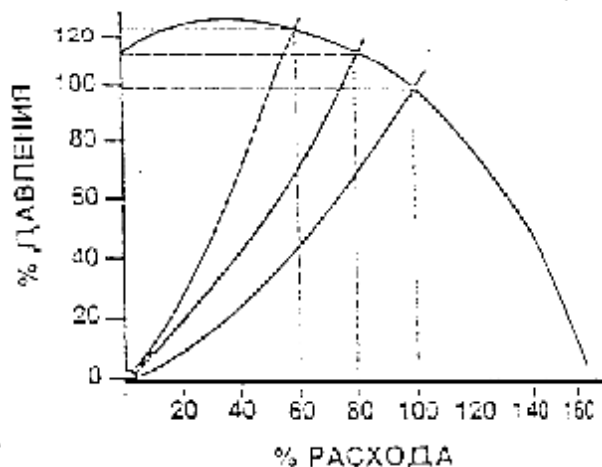


Рис. 8 Выходной шиббер-кривая системы

На рис. 9 представлен график требований мощности для такого типа эксплуатации. Из этой характеристики видно, что требуемая мощность с уменьшением расхода, уменьшается незначительно.

3. ПОВОРОТНЫЕ ЛОПАТКИ НА ВХОДЕ

Этот метод изменяет характеристику вентилятора таким образом, что она пересекает кривую характеристики системы в разных точках. Рис. 10 показывает изменения характеристики вентилятора при различных положениях поворотных лопаток.

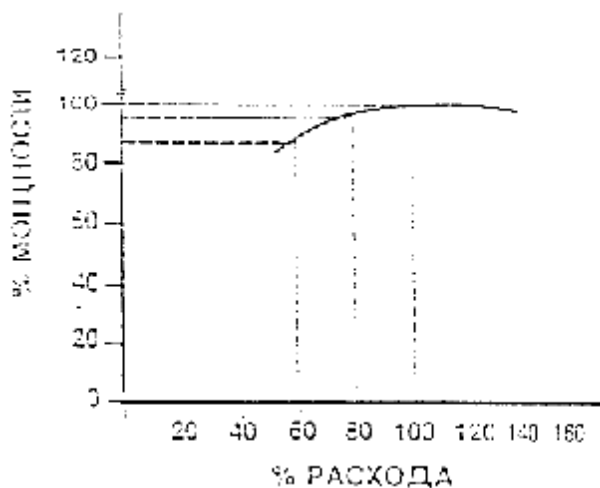


Рис. 9 Выходной шиббер-мощность

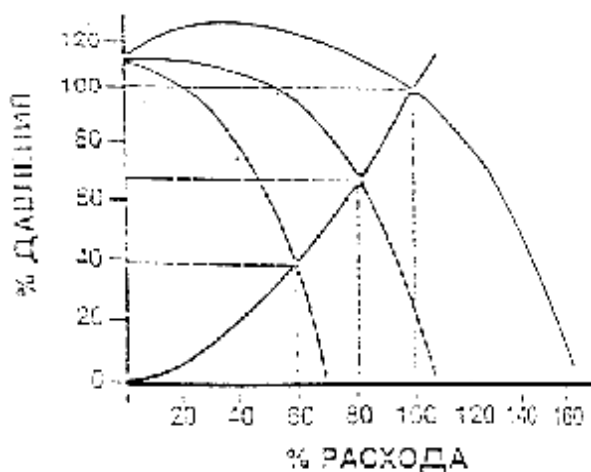


Рис. 10 Установки поворотных лопаток

Мы можем видеть на рис. 11, что требуемая мощность в этом методе снижается значительно больше, чем в методе с выходным шиббером.

4. ПРИВОДЫ ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТИ

Этот метод использует преимущества изменения характеристик вентилятора при изменении скорости вращения. Эти изменения количественно выражаются в комплекте формул, называемых законами подобия. Эти законы следующие:

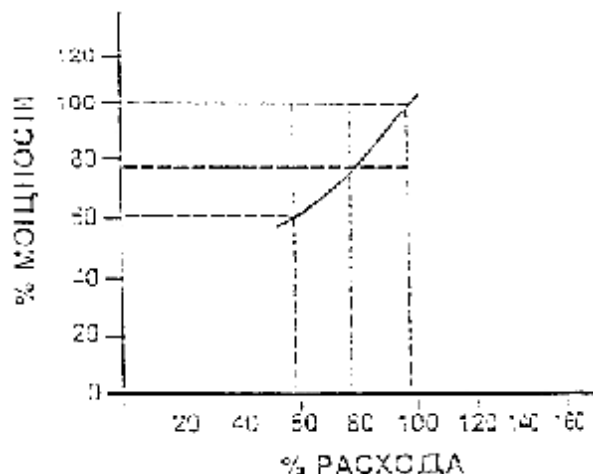


Рис. 11 Поворотные лопатки-мощность

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \quad \frac{HP_2}{HP_1} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3$$

Где: N – Скорость вентилятора

Q – Расход (GFM)

P – Давление

HP – Мощность

Обратите внимание, что при совмещении законов расхода и давления, результатом является формула, которая соответствует формуле характеристики системы –

$$[\text{Хар-ка Системы } P=K \cdot (\text{GFM})^2]$$

$$P_2 = P_1 \cdot (N_2/N_1)^2$$

$$Q_2/Q_1 = N_2/N_1 \Rightarrow (Q_2/Q_1)^2 = (N_2/N_1)^2$$

Подставим $(Q_2/Q_1)^2$ вместо $(N_2/N_1)^2$ в первое уравнение, получим:

$$P_2 = P_1 \cdot (Q_2/Q_1)^2 \text{ или } P_2 = [P_1/(Q_1)^2] \cdot (Q_2)$$

Значение $P_1/(Q_1)^2$ равно системной константе K. Это показывает, что вентилятор будет следовать кривой характеристики системы при изменении скорости вращения.

На рис. 12 показан метод управления с переменной скоростью.

График на рис. 13 показывает значительное уменьшение потребляемой мощности при использовании этого метода. При помощи формулы расчета мощности из закона подобия мы можем произвести расчет снижения требуемой мощности.

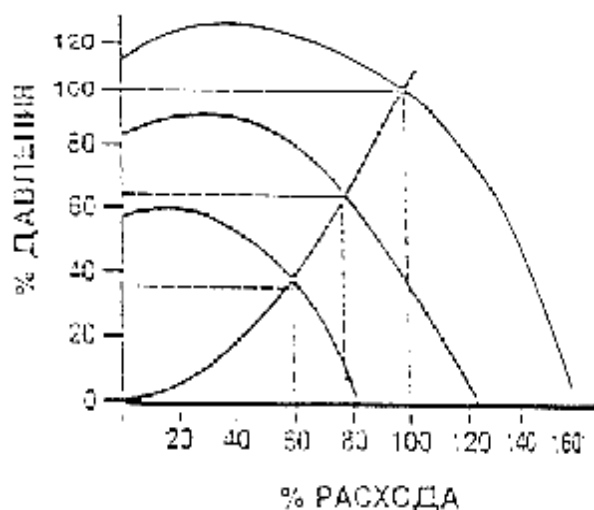


Рис. 12 Метод переменной скорости

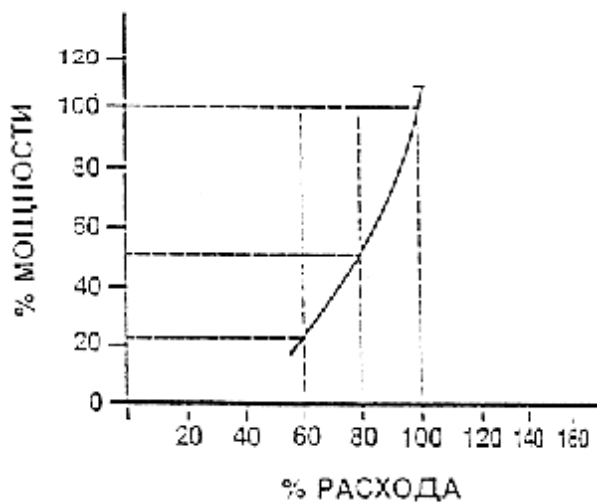


Рис. 13 Мощность

Метод переменной скорости осуществляет управление расходом способом, наиболее близко соответствующим нагрузочной характеристике системы. Это позволяет вентилятору производить требуемые результаты с минимальным расходом энергии. Другие два метода изменяют некоторые параметры системы, что сказывается в значительном снижении коэффициента полезного действия вентилятора. Следовательно, потребляемая мощность при этих двух методах значительно больше, чем при методе переменной скорости.

5 ЭКОНОМИЯ ЭНЕРГИИ

Можно выполнить расчет потребляемой энергии для каждого из выше указанных методов управления и, соответственно, стоимость их эксплуатации.

Как пример, здесь приведен простой анализ сравнения метода переменной скорости с методом выходного шибера. Для нашего удобства примем, что выбранный вентилятор работает на 300 об/мин и 100% расхода. Примем следующий график нагрузки

Расход	Время Работы %
100%	10%
80%	40%
60%	40%
40%	10%

6 ТРЕБУЕМАЯ МОЩНОСТЬ

Для каждой рабочей точки мы можем получить значение требуемой мощности из характеристики вентилятора. Эта мощность умножается на процент времени (деленный на 100%), в течение которого вентилятор работает в данной точке. Эти вычисления затем суммируются для получения «удельной мощности», которая представляет среднее потребление энергии вентилятором.

Расход	Время	Мощность	Уд. мощность
100	10	35	3,5
80	40	35	14,0
60	40	31	12,4
40	10	27	2,7
Всего			32,6

7 МЕТОД ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТИ

Подобные расчеты выполнены и для метода переменной скорости. Поскольку, характеристика вентилятора не имеет достаточных данных для всех значений мощности наших рабочих точек, то для расчета, мы воспользуемся законом подобия.

Первая точка, полученная из характеристики вентилятора: 100% расхода равны 100% скорости и равны 35 Л.С.

Формула расхода $Q_2/Q_1 = N_2/N_1$ может быть подставлена в формулу мощности $HP_2/HP_1 = (N_2/N_1)^3$ что дает нам:

$$HP_2/HP_1 = (Q_2/Q_1)^3$$

Когда $Q_1 = 100\%$ и $HP_1 = 35$ Л.С., Q_2 и HP_2 будут иметь следующие значения

Q_2	80	60	40
HP_2	18	7,56	2,24

Теперь мы обладаем достаточной информацией для вычисления «удельной мощности».

Расход	Время	Мощность	Уд. мощность
100	10	35	3,5
80	40	18	7,2
60	40	7,56	3,024
40	10	2,24	0,224
Всего			13,948

Сравнение этих данных с данными рассчитанными для метода выходного шибера, дает разницу в потреблении энергии. Метод переменной скорости требует менее половины энергии, потребляемой методом выходного шибера.

Для примера оценки разницы в стоимости между этими двумя методами, примем, что вентилятор работает 24 часа каждый день (730 часов в месяц).

Для определения потребляемых в течении месяца киловатт-часов, перемножим мощность в Л.С, на 0,746 и на 730 часов. Затем, для определения общей стоимости электроэнергии, это значение надо умножить на стоимость одного киловатт-часа.

	Выходной Шибер	Переменная скорости
Мощность (Л.С.)	32,6	13,948
× кВт/час	0,746	0,746
× час/месяц	730	730
= кВтч/месяц	17,753	7,596
Итого	100%	43%

Итак, метод переменной скорости, по сравнению с методом выходного шибера, дает возможность месячной экономии электроэнергии более, чем на 57% (за 100% принят «Выходной шибер»). В данном примере в расчет принималась только работа вентилятора. На практике же, должны учитываться коэффициенты полезного действия двигателя и привода. Однако, поскольку один и тот же двигатель использовался в обоих примерах, разница в

его характеристике влияет на приведенный конечный результат очень незначительно.

Если вы хотите провести анализ какого-либо специального случая применения, мы можем выполнить для вас детальный расчет с учетом характеристик двигателя и привода. Для этого потребуется график нагрузки системы и характеристики вентилятора.



«СТРОЙТЕХАВТОМАТИКА»
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ
ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

Россия, 394077 г. Воронеж, Московский проспект, 97
тел./факс: (4732) 392248 (многоканальный)
e-mail: gu-sta@gu-sta.ru [http:// www.gu-sta.ru](http://www.gu-sta.ru)