

А.Г. КАЛИНИН, В.Н. ЛАРИОНОВ, А.В. ШЕПЕЛИН

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВЫТЯЖНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ

*Ключевые слова:* энергосбережение, методика обследования, вентиляторы, частотно регулируемый электропривод.

*Описан метод оценки эффективности применения частотно регулируемого электропривода в вентиляторах, работающих под разрежением с асинхронным электроприводом, для оценки эффективности их эксплуатации и разработки мероприятий по энергосбережению, а также детализации учета электроэнергии в этих установках. Приведены опыт использования метода и рекомендации к замерам необходимых параметров для дальнейшего вычисления. Данная статья может быть использована организациями, занимающимся энергетическим обследованием, проектированием и наладкой систем очистки воздуха как в промышленности, так и в ЖКХ.*

A.G. KALININ, V.N. LARIONOV, A.V. SHEPELIN

## EFFICIENCY OF APPLICATION OF THE CONTROLLED-VELOCITY ELECTRIC DRIVE OF SUCTION FANS

*Keywords:* an energy conservation, diagnostic study method, fans, the frequency control of a drive.

*In this article the method of an estimation of efficiency of application the frequency control of a drive in the fans working under depression with the asynchronous electric drive, for an estimation of efficiency of their operation and working out of actions on an energy conservation, and as detailed elaborations of fixing of the electric power in these installations is described. Experience of use of a method and the recommendation to gaugings of the important data for the further calculation is shown. Given article can be used the companies, engaged power inspection, designing and adjustment of systems of clearing of air both in the industry and in housing and communal services.*

В России значительную долю агрегатов, снабженных электроприводом, составляют центробежные машины – насосы и вентиляторы, которые ежегодно расходуют около 300 млрд кВт·ч электроэнергии, т.е. примерно 20% всей электроэнергии, вырабатываемой энергосистемами страны. Из них на перекачку чистых и сточных вод расходуется около 12 млрд кВт·ч электроэнергии. В большинстве случаев высокие расходы объясняются низким эксплуатационным КПД и недостаточно эффективным регулированием технологического процесса.

В связи с постоянным повышением тарифов на энергоносители и их увеличивающимся дефицитом в настоящее время стала весьма острой проблема экономии всех видов энергоресурсов и перехода на энергосберегающие технологии.

Особенность работы вытяжных вентиляторов (рис.1) состоит в том, что со стороны всасывания изменяется сопротивление воздуховода по мере заполнения фильтра. Поэтому традиционный подход в расчетах по напорной аэродинамической характеристике завода-изготовителя невозможен. Примером сопротивления являются различного рода фильтры, шиберы, направляющие устройства и т.п. Процесс заполнения фильтра, расположенного перед вентилятором, носит обычно циклический характер и предполагает постоянное значение разрежения на входе фильтра. Практика показывает, что на вытяжных вентиляторах в системах очистки воздуха пренебрегают установкой датчиков разрежения, создаваемого вентилятором, и нагнетаемого давления, что затрудняет поиск режимов работы.

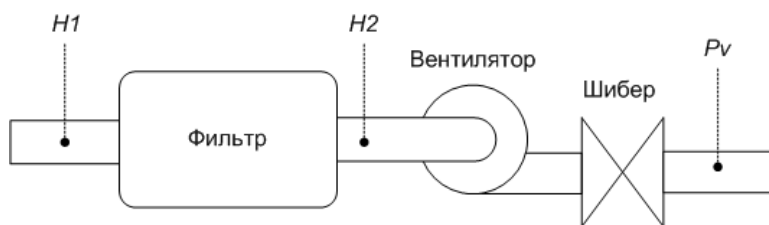


Рис. 1. Традиционная схема вытяжной установки:  
*H1* – разрежение в цехе; *H2* – разрежение, создаваемое вентилятором;  
*Pv* – нагнетаемое давление в окружающую среду

Настоящая методика разработана для проведения энергетических обследований работы вытяжных вентиляционных систем с асинхронным электроприводом с целью оценки энергоэффективности их работы и разработки мероприятий по энергосбережению. Одной из основных особенностей настоящей методики является доступность получения информации о технологических параметрах без остановки техпроцесса.

Для расчетов режимов работы вентилятора требуется определить расход воздуха, проходящего через него, из аэродинамической характеристики по кривой мощности на валу. Расчет мощности производится по показаниям тока статора и паспортным данным двигателя. Замеры тока статора должны производиться в двух и более характерных точках техпроцесса, таких, например, как очищенный фильтр и заполненный фильтр. При расчете активной мощности, потребляемой из сети  $P_a$ , применяется «Г» образная схема замещения асинхронного двигателя, согласно которой реактивный ток двигателя определяется его параметрами, напряжением сети и не зависит от нагрузки (принятое допущение дает погрешность 2-3%).

По паспортным данным рассчитываются:  
 реактивный ток асинхронного двигателя

$$I_{\mu} = I_{сн} \sin \varphi . \quad (1)$$

Активный ток, соответствующий реальной нагрузке двигателя  $I_a$ :

$$I_a = \sqrt{I_c^2 - I_{\mu}^2} , \quad (2)$$

где  $I_c$  – ток статора по замерам в двух характерных точках техпроцесса.

Значение активного тока дает фактическую мощность на валу двигателя:

$$P_a = \eta_{дв} \sqrt{3} U_c I_a , \quad (3)$$

где  $\eta_{дв}$  – КПД двигателя.

По полученным значениям мощности на валу по формуле (3) из аэродинамической характеристики делается заключение о режимах работы вентилятора.

Среди полученных режимов выбирается наиболее оптимальный с технологической точки зрения и минимально необходимый по эксплуатационному режиму. Например расход воздуха при заполненном фильтре по согласованию с технологическим персоналом. При этом в расчетах предполагаются неразрывность потока воздуха и постоянство его удельного веса.

Технологическая мощность, потребляемая агрегатом из сети для транспортировки объема воздуха с учетом потерь в вентиляторе и электродвигателе, определяется как

$$N_{\text{сети дв}} = \frac{\gamma g H Q}{\eta_{\text{вент}} \eta_{\text{дв}}}, \quad (4)$$

где  $H$  – нагнетаемое давление или создаваемое разрежение;  $Q$  – расход;  $\eta_{\text{вент}}$  – КПД вентилятора из его аэродинамической характеристики;  $\eta_{\text{дв}}$  – КПД двигателя из документации на двигатель;  $\gamma$  – плотность воздуха;  $g$  – ускорение свободного падения.

Оптимальные технологические требования для техпроцесса предполагают постоянное разрежение на входе агрегата ( $H_1$ ), и для оценки потребления мощности в режиме регулирования скорости используется отношение, вытекающее при этом из (4):

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{Q_1}{Q_2}. \quad (5)$$

Для расчета мощности по мере заполнения фильтра необходимо задаться шагом изменения расхода в пределах рассчитанного диапазона и зафиксировать средний период технологического цикла заполнения фильтра в часах. Таким образом, получается набор постоянных режимов с фиксированным временем работы, с погрешностью, определяемой выбранным шагом изменения расхода.

Расчет мощности с учетом (5) при регулировании скорости вычисляется в каждом режиме по формуле

$$N_{\text{сети ПЧ}}^i = \frac{N_{\text{сети дв}}^i \cdot Q_{\text{НОРМ}}}{Q^i}, \quad (6)$$

где  $Q_{\text{НОРМ}}$  – оптимальный технологический расход;  $Q^i$  – текущий расход;  $N_{\text{сети дв}}^i$  – текущая точка мощности по характеристике вентилятора с учетом КПД двигателя,  $\eta_{\text{ПЧ}}$  – КПД преобразователя частоты.

В качестве примера на рис. 2 приведена уровневая диаграмма потребления электрической мощности из сети по данным обследования ОАО «Аракчеевский гипс» согласно представленной методике с временем заполнения фильтра, равным 1 месяц (720 часов).

Экономические показатели при прямом включении в сеть и в режиме регулирования скорости посредством ЧРП приведены в табл. 1. При переводе значений экономии электроэнергии в денежный эквивалент по среднегодовому бюджету времени работы агрегата легко получить расходы от неоптимального регулирования в техпроцессе и экономически обосновать целесообразность установки регулируемого электропривода.

Для представления режимов работы вентилятора в регулируемом и нерегулируемом режимах строится напорная диаграмма. При построении диаграммы в нерегулируемом режиме следует преобразовать формулу (4) для получения значения напора в функции расхода

$$H = \frac{\eta_{\text{вент}} \eta_{\text{дв}} N_{\text{сети дв}}}{\gamma g Q}. \quad (7)$$

Для построения кривых в регулируемом режиме используется соотношение величин для центробежных вентиляторов

$$\frac{\omega}{\omega_n} = \frac{Q}{Q_n}; \quad \frac{Q}{Q_n} = \left( \frac{H}{H_n} \right)^2, \quad (8)$$

где  $\omega$ ,  $\omega_n$  – текущая и номинальная скорости рабочего колеса;  $Q$ ,  $Q_n$  – текущая и номинальная подача вентилятора;  $H$ ,  $H_n$  – текущее и номинальное давление, нагнетаемое вентилятором.

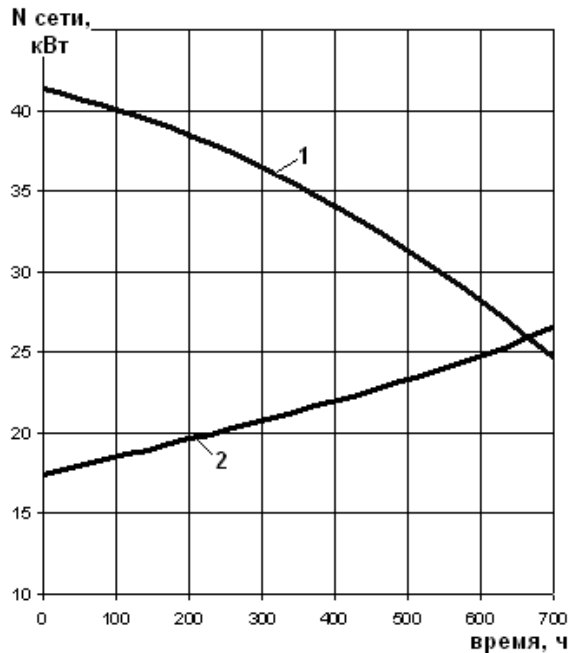


Рис. 2. Диаграмма потребления электрической мощности по мере заполнения фильтра:

1 – мощность при прямом включении в сеть; 2 – мощность при регулировании посредством частотно-регулируемого привода (ЧРП)

Таблица 1

**Экономические показатели потребления электроэнергии**

Период	Электроэнергия при прямом включении в сеть, кВт·ч	Электроэнергия при регулировании посредством ЧРП, кВт·ч	Экономия электроэнергии, кВт·ч
Месяц (720 ч)	23 682,47	15 480,50	8 201,97
Год (8760 ч)	284 189,59	185 766,01	98 423,58

Кривая сопротивления магистрали определяется точками пересечения расходов с напорной характеристикой вентилятора в нерегулируемом режиме (см. рис. 3).

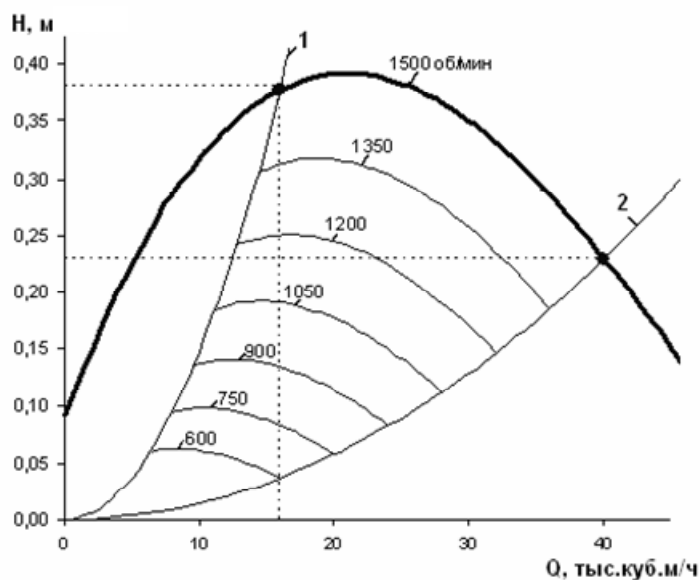


Рис. 3. Напорная диаграмма работы вытяжного вентилятора при прямом включении в сеть на 1500 об/мин и в режиме регулирования скорости посредством ЧРП по результатам обследования ОАО «Аракчеевский гипс»:  
 1 – характеристика воздуховода при заполненном фильтре,  
 2 – характеристика воздуховода при очищенном фильтре.

Зарубежные производители приводов на насосы и вентиляторы, такие как DanfosVLT и Siemens, в своих предложениях используют расчеты только по нагнетанию. Вместо паспортной характеристики конкретного вентилятора в DanfosVLT использует типовую параболическую функцию, приближенно описывающую характеристику идеального вентилятора или насоса. В расчетах Siemens приводится лишь диаграмма потребления мощности, а кривая напора, отражающая режимы работы, не отображается. КПД преобразователя частоты в случае поставки вместе с двигателем принимается равным 100%.

В то же время в представленной ниже методике кривая напора строится по фактическим замерам потребляемой мощности и паспортной напорной характеристике.

В опросных листах обеих фирм производителей электроприводов обязательными параметрами являются расчетный напор на выходе вентилятора, мощность на валу при расчетном напоре, базовые сведения об используемом оборудовании и технологический цикл загрузки. Тогда как в настоящей методике достаточными являются паспорт электродвигателя и вентилятора, ток статора в характерных режимных точках и технологический цикл загрузки.

В России на большинстве воздуходувных установок, особенно в системах, где не требуется выдерживать жесткий технологический режим, датчики давления и разрежения не установлены. Это нередко приводит к перерасходу электроэнергии на транспортировку избыточного количества воздуха. При отсутствии датчиков давления расчет, по опросным листам DanfosVLT и Siemens, невозможен.

При проведении обследования на результат расчета влияют качество замеров и динамика техпроцесса. В табл. 2 приведены некоторые значения погрешностей при ошибке замера исходных параметров на 1%. При расчетах по данной методике следует иметь в виду, что почти все производители насосного и вентиляторного оборудования поставляют иллюстрационный вариант характеристик, а у насосов, эксплуатируемых более 10 лет, характеристика не учитывает износ оборудования.

Таблица 2

Погрешности расчетов		
Замеряемый параметр	Неточность замера, %	Погрешность расчета, %
$\cos \varphi$	1	4
$I_c$		3,7
$U_c$		2
$H_2$		1,5
$H_1$		1,2
$Q$		1

Искусственно заложенный при проектировании таких систем запас по мощности выявляет не только хорошую окупаемость проекта внедрения ЧРП, но и пути к оптимизации самого технологического процесса.

Данная методика может быть использована для проведения энергетических обследований систем коммунального энергоснабжения согласно приказу Госстроя России № 202 от 10.06.2003 «Об утверждении Методических рекомендаций и типовых программ энергетических обследований систем коммунального энергоснабжения» и РД 34.09.101-94 «Типовая инструкция по учету электроэнергии при ее производстве, передаче и распределении. Правила учета электрической энергии», а также организациями, занимающимися внедрением частотно-регулируемых электроприводов.

### Литература

1. *Аракелян А.К.* Электропривод насосов. Вопросы теории расчета / *А.К. Аракелян, В.Н. Ларионов.* Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2008. 199 с.
2. *Ларионов В.Н.* К вопросу о снижении энергопотребления при применении регулируемых электроприводов насосных агрегатов // *В.Н. Ларионов, А.Д. Поздеев.* Электротехника 1993. № 11. С. 23-25.
3. *Лезнов Б.С.* Энергосбережение и регулируемый привод в насосных агрегатах и воздуходувных установках / *Б.С. Лезнов.* М.: Энергоатомиздат, 2006. 360 с.
4. *Манюк А.И.* Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей. Справочник / *А.И. Манюк.* М.: Строиздат 1988. 430 с.
5. Рекомендации по применению регулируемого электропривода в системах автоматического регулирования водопроводных и канализационных насосных установок. М.: НИИводгео, 1987.

---

**КАЛИНИН АЛЕКСЕЙ GERMANOVICH – магистр техники и технологии, аспирант кафедры систем автоматического управления электроприводами, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (humanoid1984@yandex.ru).**

**KALININ ALEXEY GERMANOVICH – master of technics and production engineering, post-graduate student, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.**

---

---

**ЛАРИОНОВ ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ** – кандидат технических наук, профессор кафедры систем автоматического управления электроприводами, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (larionov78@rambler.ru).

**LARIONOV VLADIMIR NIKOLAEVICH** – candidate of technical sciences, professor of automatic-control systems electric drives chair, Chuvash State University, Russia, Cheboksary.

**ШЕПЕЛИН АЛЕКСАНДР ВИТАЛЬЕВИЧ** – кандидат технических наук, инженер отдела автоматизации ООО "Инженерный центр", Россия, Чебоксары (al\_shepelin@mail.ru).

**SHEPELIN ALEXANDER VITALYEVICH** – candidate of technical sciences, engineer of department of automation of Open Company "Centre of Engineering", Russia, Cheboksary.

---