

Наиболее энергоемкими объектами технологической цепи цементного производства, на которых может быть получена существенная экономия электроэнергии за счет применения частотно-регулируемого электропривода (ЧРЭП), являются тягодутьевые машины (ТДМ), к числу которых относятся дымососы цементных печей и вентиляторы общего дутья холодильников. Возможность существенной экономии электроэнергии при работе ТДМ за счет ЧРЭП связана с достаточно высокой единичной мощностью электродвигателей ТДМ (400 - 800 кВт), а также с тем, что используемым способом регулирования производительности тягодутьевых машин на предприятии ОАО «Искитимцемент» является дроссельное и шибберное регулирование при постоянной скорости вала ТДМ.

Известно, что несмотря на простоту и минимальные капитальные затраты, дроссельное и шибберное регулирование сопровождается существенным снижением эксплуатационного КПД, которое выражается в значительных непроизводительных затратах электроэнергии, потребляемой ТДМ. (Вахвахов Г.Г. Энергосбережение и надежность вентиляторных установок.- М.: Стройиздат, 1989.- 176 с.). Более экономичным способом регулирования производительности ТДМ является плавное изменение оборотов вала ТДМ с помощью регулируемого электропривода (см. там же).

Проведем оценку возможности снижения потребления электроэнергии тягодутьевыми машинами на предприятии ОАО «Искитимцемент». Для этого сопоставим энергетические показатели ТДМ при различных способах регулирования производительности. В Таблице 1 приведены зависимости мощности (P/P_n) на валу электродвигателя ТДМ при регулировании производительности (Q/Q_n) тремя способами:

- регулирование дросселем (перекрытие канала за дымососом) - P_d/P_n ;
- регулирование шиббером (перекрытие канала до дымососа) - $P_{ш}/P_n$;
- регулирование оборотов электродвигателя при открытых каналах - $P_{об}/P_n$.

где Q_n — номинальная производительность ТДМ; P_n — мощность на валу электродвигателя при номинальной производительности.

Таблица 1

Q/Q_n , о.е. (производительность ТДМ)	1,00	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40
P_d/P_n , о.е. (регулировка дросселем)	1,00	0,93	0,85	0,80	0,71	0,64	0,56
$P_{ш}/P_n$, о.е. (регулировка шиббером)	1,00	0,85	0,71	0,60	0,52	0,43	0,36
$P_{об}/P_n$, о.е. (регулировка оборотов)	1,00	0,72	0,51	0,35	0,22	0,11	0,06

Анализ данных Таблицы 1 показывает, что дроссельное и шибберное регулирование производительности ТДМ сопровождается существенно меньшим снижением мощности на валу электродвигателя по сравнению с регулированием производительности за счет изменения оборотов вала электродвигателя.

В Таблице 2 приведены значения снижения (экономии – Э) мощности на валу электродвигателя ТДМ при переходе с дроссельного ($\Delta^*_{д/об} = (P_d - P_{об}) / P_d$, о.е.) и шибберного ($\Delta^*_{ш/об} = (P_{ш} - P_{об}) / P_{ш}$, о.е.) регулирования производительности на регулирование оборотов вала электродвигателя. Данные Таблицы 2 позволяют определить величину снижения мощности на валу электродвигателя ТДМ при переходе с регулирования производительности дросселем и шиббером на регулирование производительности за счет снижения оборотов вала электродвигателя. Если известна номинальная производительность ТДМ (Q_n), фактическая производительность ТДМ (Q) при дроссельном или шибберном регулировании и мощность, потребляемая электродвигателем при данной производительности (P_d или $P_{ш}$), то по данным Таблицы 2 можно вычислить величину снижения мощности, потребляемой электродвигателем, при переходе с дроссельного или шибберного регулирования на регулирование производительности ТДМ с помощью электропривода.

Таблица 2

Q/Q _н , о.е. (производительность ТДМ)	1,00	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40
Э* д/об = (Р _д — Р _{об}) / Р _д , о.е.	0,00	0,22	0,40	0,56	0,69	0,82	0,89
Э* ш/об = (Р _{в ш} — Р _{в об}) / Р _{в ш} , о.е.	0,00	0,15	0,28	0,41	0,58	0,74	0,83

Специалистами ЗАО «ЭРАСИБ» совместно с сотрудниками ОГЭ (руководитель Манченко А.В.) и ПТО (руководитель Чубенко А.А.) проведено обследование режимов работы дымососов на предприятии ОАО «Искитимцемент» с целью анализа возможности снижения величины потребляемой электроэнергии за счет применения частотно-регулируемого электропривода. В результате обследования установлено, что на трех печах (№№6,7,8) применены дымососы с дроссельным регулированием производительности (перекрывается канал за дымососом), а на печи №9 установлены два дымососа с шиберным регулированием производительности (перекрывается канал до дымососа). Для проверки соответствия приведенных в Таблицах 1, 2 обобщенных параметров ТДМ фактическим параметрам дымососов ОАО «Искитимцемент» и оценки возможности использования обобщенных параметров для расчета экономического эффекта от применения электропривода были проведены замеры производительности дымососов, токов электродвигателей, по которым проведены вычисления характеристик дымососов.

1. Печь №9 (два дымососа ДРЦ-21х2, суммарная номинальная производительность 633 тыс. м³/час, два электродвигателя типа ДАЗО2-16-54-8, мощность 630 кВт, обороты 740 об/мин).

Проведены замеры производительности дымососов 1 и 2 на печи №9 и токов электродвигателей при регулировании положения задвижек шиберов на неработающей печи. Результаты замеров приведены в Таблице 3.

Таблица 3

% открытия шиберов	0%	20%	40%	50%	60%	70%	90%
Q ₁ , тыс. м ³ /час	76	118	194	252	282	282	
I ₁ , А	45	50	60	68	72	76	
Q ₂ , тыс. м ³ /час	53	127	180	215	273	298	333
I ₂ , А	38	43	52	56	60	64	74

По результатам замеров вычислены значения активной мощности, потребляемой электродвигателями дымососов Р₁ и Р₂. При расчете активной мощности принято, что токи двигателей, соответствующие полностью закрытому шиберу (0%), являются чисто реактивными и их значения не изменяются при возрастании активной мощности электродвигателя. Результаты определения активной мощности, потребляемой электродвигателями дымососов 1 и 2 печи №9 приведены в Таблице 4.

Таблица 4

% открытия шиберов	0%	20%	40%	50%	60%	70%	90%
Q ₁ , тыс. м ³ /час	76	118	194	252	282	282	
Р ₁ , кВт	0	204	401	521	576	629	
Q ₂ , тыс. м ³ /час	53	127	180	215	273	298	333
Р ₂ , кВт	0	209	369	428	483	536	661

Для сопоставления данных Таблицы 4 с обобщенными параметрами ТДМ Таблицы 1 выполнен перевод результатов измерения в относительные единицы. За базовые значения приняты номинальная производительность одного дымососа Q_н=316,5 тыс. м³/час и номинальная мощность статора электродвигателя Р_н=Р_н/КПД=661 кВт. Результаты перевода приведены в Таблице 5.

Таблица 5

% открытия шиберов	0%	20%	40%	50%	60%	70%	90%
Q* ₁ , о.е.	0,24	0,37	0,61	0,80	0,89	0,89	
Р* ₁ , о.е.	0,00	0,31	0,61	0,79	0,87	0,95	
Q* ₂ , о.е.	0,17	0,40	0,57	0,68	0,86	0,94	1,05
Р* ₂ , о.е.	0,00	0,32	0,56	0,65	0,73	0,81	1,00

Для наглядности и удобства сопоставления обобщенных параметров ТДМ (Таблица 1) и параметров дымососов 1 и 2 печи №9 (Таблица 5) на рис. 1 а и б показаны графики изменения мощности электродвигателей в зависимости от производительности, полученные расчетным путем (рис. 1 а) и экспериментально (рис. 1 б), которые свидетельствуют о достаточном для инженерных расчетов совпадении расчетных и экспериментальных данных. Таким образом, приведенные в Таблицах 1 и 2 обобщенные показатели дымососов могут быть использованы для расчета снижения мощности, потребляемой электродвигателями печи №9 при переходе с шибберного регулирования производительности на регулирование изменением оборотов вала электродвигателя.

Для оценки величины экономии электроэнергии на дымососах печи №9 воспользуемся аэродинамическими замерами, проведенными ПТО ОАО «Искитимцемент» в 2008 г. при работающей печи №9. Согласно данным ПТО в 2008 г. производительность дымососа 1 печи №9 составляла 132 тыс. м³/час, а дымососа 2 — 228 тыс. м³/час. Суммарная производительность двух дымососов составляла 132+228=360 тыс. м³/час, что по отношению к номинальной производительности (633 тыс. м³/час) равняется 360/633=0,57. Примем среднюю производительность дымососов печи №9 $Q/Q_n=0,6$. Тогда по Таблице 2 определим снижение мощности, потребляемой электродвигателем дымососа, в результате перехода с шибберного регулирования на регулирование оборотов на уровне $\varepsilon_{ш/об}^*=0,58$. При средней мощности, потребляемой электродвигателями дымососов 1 и 2 (40% Таблица 4) $P_{cp}=(P_1+P_2)/2=(401+369)/2=385$ кВт, снижение потребляемой мощности составит $\Delta P=P_{cp} \times \varepsilon_{ш/об}^*=385 \times 0,58=220$ кВт. При годовой продолжительности работы печи №9 в размере 320 дней по 24 часа в сутки применение электропривода позволит сэкономить 320x24x220=1689600 кВтчас электроэнергии на каждом дымососе. Суммарная экономия электроэнергии на печи №9 составит 1689600x2=3379200 кВтчас. В денежном выражении при стоимости электроэнергии 1,25 руб/кВтчас применение электропривода позволит сэкономить 1689600x1,25=2112000 рублей на одном дымососе и 4224000 рублей на двух дымососах печи №9 за один год.

2. Печи №№6,7,8 (один дымосос на печи номинальной производительностью 576 тыс. м³/час, один электродвигатель типа ДАЗО, мощность 800 кВт, 590 об/мин). Для регулирования производительности используется наименее экономичное дроссельное регулирование (перекрытие канала после дымососа).

Для оценки величины экономии электроэнергии на дымососах печей №№6,7,8 воспользуемся аэродинамическими замерами, проведенными ПТО ОАО «Искитимцемент» в 2008 г. при работающих печах. Результаты замеров и расчетов мощности, потребляемой электродвигателями дымососов, приведены в Таблице 6.

Как следует из анализа усредненных показателей дымососов печей №№6, 7, 8 (Таблица 6) средняя производительность дымососа близка к 0,6 относительно номинальной производительности. При этом электродвигатель дымососа потребляет из сети мощность 0,73 относительно номинальной мощности ($P_n=800/\text{КПД}=846$ кВт). Сопоставляя эти показатели с показателями ТДМ, представленными в Таблице 1 для дроссельного регулирования производительности (при $Q/Q_n=0,6$; $P_d/P_n=0,71$), можно сделать вывод о достаточном для практических расчетов совпадении фактических показателей дымососов и расчетных данных, соответствующих дроссельному регулированию производительности.

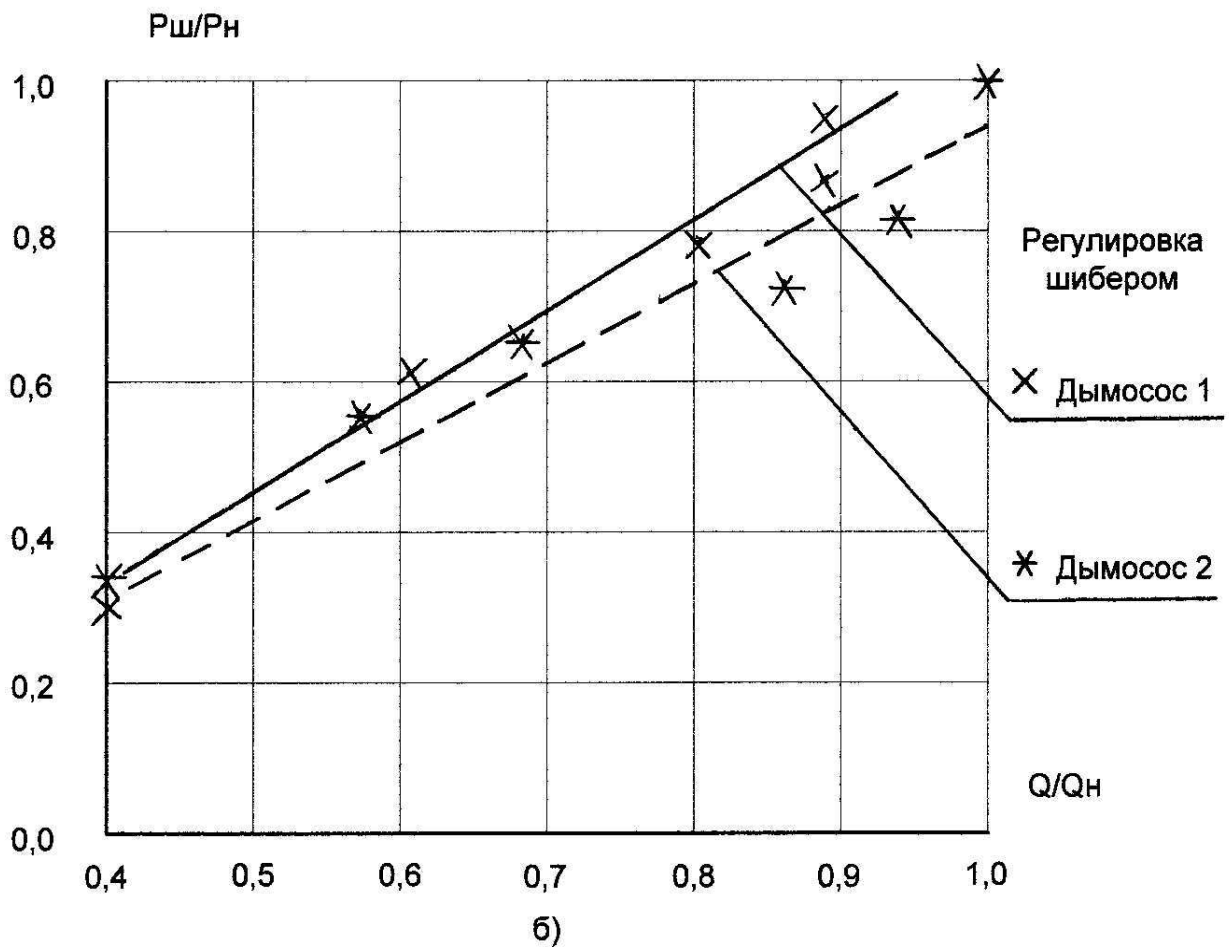
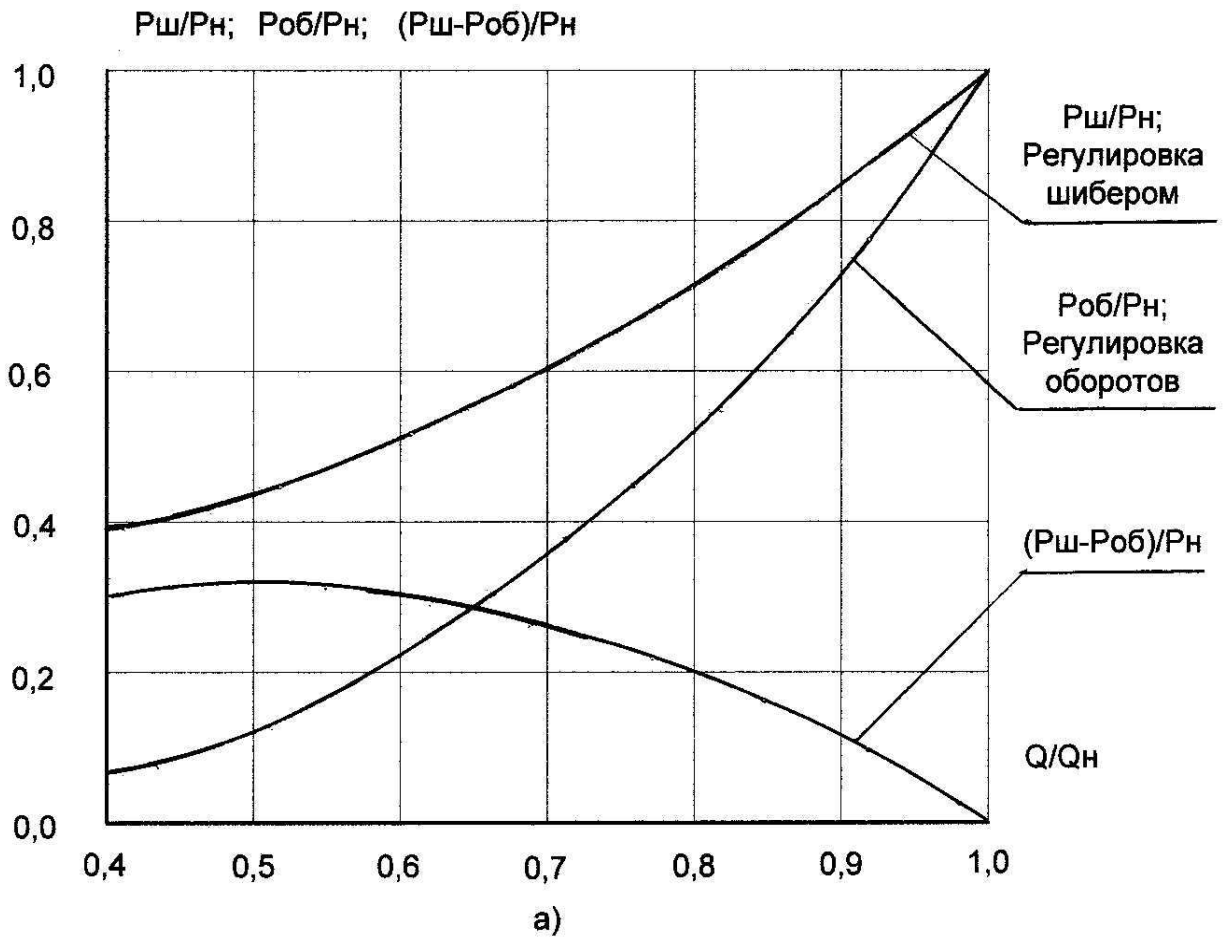


Рис. 1. Расчетные (а) и экспериментальные (б) характеристики дымососа ДРЦ-21х2

Таблица 6

Наименование параметра	Печь 6	Печь 7	Печь 8	среднее	% загрузки
Производительность, тыс. м ³ /час	437	338	278	351	0,61
Полный ток фазы двигателя, А	80		90	85	0,83
Номинальный реактивный ток, А	61	63	61	62	
Номинальный активный ток, А	81	81	81	81	
Активный ток фазы, А	52		66	59	0,73
Мощность электродвигателя, кВт	539		689	614	0,73

Для оценки величины экономии электроэнергии на дымососах печей №№6,7,8 воспользуемся данными Таблиц 2 и 6. Примем среднюю производительность дымососов печей №6,7,8 $Q/Q_n=0,6$. Тогда по Таблице 2 определим снижение мощности, потребляемой электродвигателем дымососа, в результате перехода с дроссельного регулирования на регулирование оборотов на уровне $\Theta^*_{д/об}=0,69$. При средней мощности, потребляемой электродвигателем дымососа (Таблица 6) $P_{cp}=614$ кВт, снижение потребляемой мощности составит $\Delta P=P_{cp} \times \Theta^*_{д/об}=614 \times 0,69=424$ кВт. При годовой продолжительности работы печи №6,7,8 в размере 320 дней по 24 часа в сутки применение электропривода позволит сэкономить за год $320 \times 24 \times 424=3256320$ кВтчас электроэнергии на каждом дымососе. Суммарная экономия электроэнергии на печах №6,7,8 составит $3256320 \times 3=9768960$ кВтчас. В денежном выражении при стоимости электроэнергии 1,25 руб/кВтчас применение электропривода позволит сэкономить $3256320 \times 1,25=4070400$ рублей на одном дымососе и 12211200 рублей на трех дымососах печей №6,7,8 за один год.

Таким образом, суммарная экономия электроэнергии за счет установки электроприводов на всех дымососах печей обжига клинкера ориентировочно составит $3379200 + 9768960 = 13148160$ кВтчас в год, что позволит снизить платежи за электроэнергию на 16435 тыс. руб. в год (без учета роста стоимости электроэнергии).

Для оснащения дымососов цементных печей частотно-регулируемыми электроприводами с целью экономии электроэнергии ЗАО «ЭРАСИБ» предлагает поставить на дымососах преобразователи частоты по наиболее дешевой двухтрансформаторной схеме с возможной рассрочкой платежа ориентировочно на полтора-два года.

Для примера, ориентировочная стоимость преобразователя частоты типа ЭРАТОН-ВНВ-800-0-1 (800 кВт, 6000В) в контейнерном исполнении с учетом ПНР составляет 6500 тыс. руб., включая НДС. Срок изготовления такого преобразователя с учетом монтажа и ПНР составляет 6 месяцев. Необходимая предоплата – 2000 тыс. руб. Через 6 месяцев преобразователь частоты начнет работать и позволит уменьшить ежемесячные платежи за электроэнергию ориентировочно на 340 тыс. руб. Эти средства необходимо будет направить на выплату стоимости установленного оборудования. Через 14 месяцев с момента запуска в эксплуатацию или 20 месяцев с момента предоплаты 2000 тыс. руб. долг за оборудование будет выплачен и ежемесячные платежи предприятия будут уменьшены на величину экономии электроэнергии.