

Эффективность газопоршневых и газотурбинных технологий при индивидуальном энергообеспечении электросталеплавильного производства

Бушуев А. Н., инж.

Орский гуманитарно-технологический институт

Дано сравнение газопоршневых и газотурбинных технологий при непосредственном альтернативном энергообеспечении электросталеплавильного производства. Рассмотрена энергоэффективная система на базе парогазовой установки, обеспечивающая сокращение продолжительности технологического процесса выплавки стали при прежних энергозатратах. Приведены числовое поле требуемой доли отбора уходящих газов газовой турбины на предварительный подогрев лома при энергообеспечении процесса выплавки стали от парогазовой системы с дожиганием доменного газа и числовое поле показателя полезного использования первичных ресурсов данной системы.

Ключевые слова: газопоршневой двигатель, газотурбинная установка, коэффициент полезного использования топлива, показатель эффективности, предварительный подогрев металлической шихты, электросталеплавильное производство.

В металлургической отрасли наиболее крупным потребителем электрической энергии является электросталеплавильное производство. В настоящее время снизить в нем энергозатраты можно главным образом путем реализации двух основных направлений энергосберегающей политики: развития собственных энергетических мощностей и максимально возможной утилизации вторичных энергоресурсов (ВЭР) [1]. Многие факты свидетельствуют об актуальности дальнейшего внедрения собственных электрогенерирующих мощностей в промышленности страны, в том числе и в металлургии. Главная задача заключается в выборе эффективной схемы генерирующего источника, обеспечивающего энергетические потребности электросталеплавильного производства. Что касается нетрадиционной энергетики, также как атомной и гидроэнергетики, вполне очевидно, что их использование с целью энергообеспечения металлургической отрасли промышленности малоэффективно, с тепловыми же электрогенерирующими системами дело обстоит несколько иначе. Для оценки их эффективности требуется анализ многих определяющих (расхода топлива, надежности и т. д.).

Создание электросталеплавильного цеха на промплощадке уже полностью сформировавшегося завода с собственной ТЭЦ и вспомогательными электрогенерирующими источниками, рассчитанными на определенную выработку электроэнергии, ведет к значительному превышению его электропотребления и невозможности покрытия нагрузки силами ТЭЦ. Очевидно, что наибольшей эффективностью при электроснабжении тех-

нологических процессов производства (по стоимости электроэнергии) обладает индивидуальная утилизационная электростанция, обеспечивающая максимальную долю использования собственного топлива (ВЭР) и минимальную долю покупного (природного газа) и отвечающая таким критериям эффективности, как минимум затрат товарного топлива (или товарной электроэнергии) и максимум эффективности использования топлива.

Известно, что системы энергообеспечения на базе паротурбинного цикла имеют относительно низкий показатель эффективности: в лучшем случае он достигает 40 – 42 % при использовании пара сверхкритических параметров [2]. Наиболее эффективными, используемыми для производства электрической энергии газ, являются электростанции на базе газопоршневых двигателей (ГПД) внутреннего сгорания и газотурбинных установок (ГТУ). При выборе энергоисточника из этих двух вариантов следует учитывать следующее [3, 4]. Единичная мощность, как и соотношение тепловой и электрической энергии, у ГПД ниже, чем у ГТУ, а стоимость капитального ремонта и занимаемая площадь больше. По соотношению температуры и мощности предпочтительней оказывается ГТУ, поскольку его мощность повышается при понижении температуры. К тому же он характеризуется более высокими экологическими показателями. Большая занимаемая ГПД площадь является определяющим фактором, препятствующим строительству индивидуальной промышленной электростанции большой мощности. Размеры и массы некоторых газовых двигателей приведены в таблице, из которой видно, что

Показатель	Газотурбинные установки			Газопоршневые двигатели		
	General Electric PG351FA	Siemens V64.3A	Siemens SGT-100	Waukesha APG1000	Caterpillar G3616LE	Watsila 18V50DF
Мощность, МВт	255	70	5,25	1,0	3,86	16,62
Масса, т	330	110	35,5	14,18	64,47	160 (330)
Размеры, м:						
длина	34,2	11,0	8,0	5,28	9,32	18,4
ширина	7,6	4,0	2,4	2,16	2,12	5,14
Соотношение кВт/м ²	981	159	273,4	87,7	195,4	175,7
Соотношение кВт/т	772,7	636,4	147,9	70,5	60	103,9

соотношение мощности и занимаемой ГТУ площади, кВт/м², значительно возрастает с увеличением мощности, тогда как у газопоршневых двигателей изменения данного показателя небольшие. Помимо этого на рис. 1 для сравнения приведены диаграммы основных вариантов тепловой электрогенерации на базе газотурбинных и газопоршневых технологий. Здесь КУ — котел-утилизатор.

Теоретически количество энергии, требуемое на нагрев, расплавление лома и перегрев 1 т расплава до 1600 °С, без учета тепловых потерь в печи составляет около 400 кВт·ч (40,79 м³ природного газа). При максимально близком расположении ГПД от электросталеплавильного цеха электрические потери в сети могут быть приняты равными 5%. Тогда на ГПД необходимо обеспечить выработку 421,05 кВт·ч электроэнергии, что эквивалентно расходу 42,87 м³ природного газа. Столбец А на приведенной диаграмме — теоретически необходимый расход газа на станции для выработки электроэнергии. При принятом в расчете КПД двигателя 47,3% расход природного газа составит 90,63 м³ (столбец В на диаграмме ГПД).

Некоторое повышение эффективности системы на базе ГПД возможно при переходе к когенерационной системе с утилизацией теплоты выхлопных газов двигателя в паротурбинной части. Теплосодержание этих газов низкое, вследствие чего общий КПД паротурбинной части может быть принят в диапазоне 20–25%. Учитывая, что соотношение тепловой и электрической энергии двигателей составляет 1/1, можно составить упрощенное уравнение для определения требуемого расхода топлива:

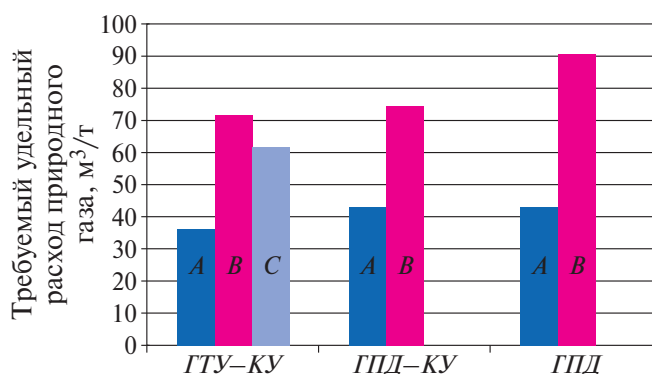


Рис. 1. Диаграммы сравнения различных вариантов тепловых электрогенерирующих источников

$$0,473x + 0,473x \cdot 0,22 = 421,05,$$

где $x = 74,41 \text{ м}^3$ — расход топлива на 1 т стали эквивалентен 729,65 кВт·ч; 0,22 — общий КПД паротурбинной части системы (столбец В на диаграмме ГПД-КУ).

При достаточно близком расположении ГТУ к электросталеплавильному цеху предприятия возможно осуществление отбора требуемой доли уходящих газов турбины на предварительный подогрев лома перед плавкой. В таком случае процесс энергообеспечения значительно изменяется: за счет подогрева шихты до 440 °С уходящими газами турбины требуемое количество подводимой электроэнергии для завершения технологического процесса сокращается примерно до 336 кВт·ч.

Наибольший интерес представляет измененная схема парогазовой установки (ПГУ), допускающая отбор доли уходящих газов за газовой турбиной на предварительный подогрев металлической шихты и утилизацию ос-

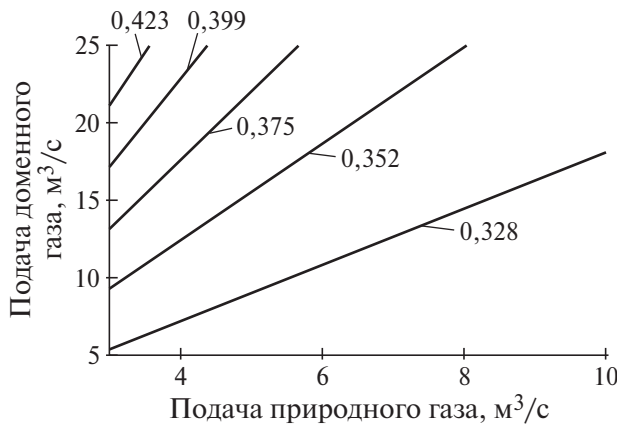


Рис. 2. Требуемая доля отбора уходящих газов газовой турбины на предварительный подогрев металлического лома при разных значениях подачи доменного и природного газов

тальной доли в паровом КУ. Для подогрева металлической шихты до 440 °С потребуется отвод теплоты в размере 63,5 кВт·ч (в расчете отбор принимаем в 1,5 раза выше). Приняв КПД ГТУ равным 35 %, для примерной оценки требуемого расхода топлива воспользуемся уравнением

$$0,35x + (0,65x - 63,5 \cdot 1,5) \cdot 0,3 = 353,7,$$

где $x = 71,54 \text{ м}^3$ (701,45 кВт·ч).

Фактически подогрев металлической шихты сокращает продолжительность периода плавки, которую (без учета угара металла и тепловых потерь в печи) упрощенно можно оценить по формуле

$$\tau = \frac{Q_{\text{уд}} - Q_{\text{п.м}}}{N_{\text{уд}}},$$

где $Q_{\text{уд}}$ — энергоемкость технологического процесса выплавки 1 т стали, равная производству удельной подводимой мощности $N_{\text{уд}}$ на время выплавки τ при отсутствии предварительного подогрева шихты, т. е. $Q_{\text{уд}} = N_{\text{уд}}\tau$; $Q_{\text{п.м}}$ — энергоемкость подогретого металла.

Если при отсутствии предварительного подогрева металлической шихты продолжительность плавки принять за единицу (т. е. $\tau = 1$ при $Q_{\text{уд}} = N_{\text{уд}}$), то наличие предварительного подогрева сокращает продолжительность плавки до $\tau = (400 - 63,5)/400 = 0,84$.

При данной системе энергообеспечения в случае подогрева металлического лома до 440 °С уменьшается на 16 % продолжительность процесса либо увеличивается на 19 % производительность. Фактический расход топлива показан на диаграмме ГТУ–КУ (столбец В). Теоретическое сокращение расхода

(как положительный эффект подогрева лома), соответствующее увеличению производительности процесса, показывает столбец С.

Когенерационные системы на базе газопоршневых двигателей имеют очень близкие по значению показатели эффективности, однако парогазовая система обеспечивает:

меньший примерно на 4 % расход природного газа;

сокращение на 16 % периода выплавки или увеличение на 19 % производительности.

Следует также отметить, что при расчете был принят КПД (47,3 %) самого мощного и эффективного газопоршневого двигателя Wartsila 18V50SG мощностью 19 МВт, в то время как КПД более распространенных двигателей составляет примерно 41 – 43 %. В таком случае показатель расхода топлива когенерационной системы на базе ГПД возрастет с 74,4 до 81,85 м³/т, т. е. при использовании ПГУ выигрыш оказывается уже не на 4 %, а на 13 %.

Применение системы энергообеспечения на базе ПГУ актуально в связи с тем, что в паротурбинной части возможно дожигание горючих ВЭР предприятия с целью увеличения развиваемой мощности системы. Прежде всего должна быть оценена требуемая доля отбора отходящих рабочих газов газовой турбины на предварительный подогрев металлической шихты при энергообеспечении производственного процесса электроплавки от системы “ГТУ–КУ с дожиганием ВЭР”. Эта величина является функцией полной электрической мощности системы, удельной подводимой в печь мощности и задаваемой продолжительности процесса выплавки. Последние два показателя могут быть приняты из паспортных данных выплавки сталей действующего производства.

Результаты математического расчета требуемой доли отбора газов на предварительный подогрев металлического лома, полученные на основе данных предприятия ОАО “Уральская сталь” (г. Новотроицк), сведены в числовое поле множества значений, представленное на рис. 2. Оно построено для ПГУ, обеспечивающей дожигание доменного газа в паровом котле-утилизаторе. Числовые линии отображают возможные значения доли отбора уходящих газов за газовой турбиной ПГУ в зависимости от подачи природного газа в турбину и доменного газа в КУ. Оставшаяся доля уходящих газов также подается в котел-утилизатор, где смешивается с доменным газом и обеспечивает его горение.

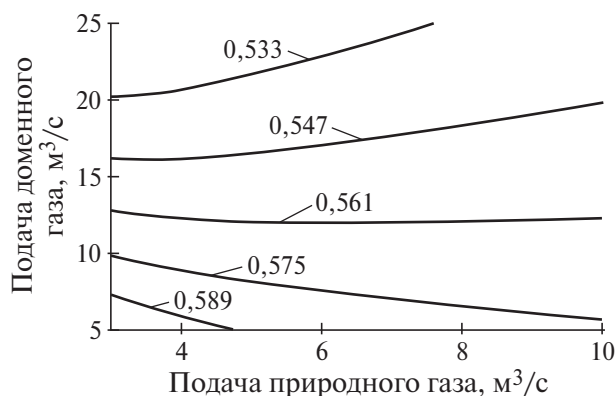


Рис. 3. Коэффициент полезного использования первичных ресурсов системы энергообеспечения на базе ПГУ при разных значениях подачи доменного и природного газов

Числовое поле значений показателя эффективности системы — коэффициента полезного использования первичных ресурсов при выработке электрической энергии — показано на рис. 3. Данный показатель определяется химическим составом сжигаемых топлив в системе, показателями КПД отдельных составляющих системы (ГТУ, котла-утилизатора, системы подогрева лома) и распределением долей уходящих газов турбины между котлом-утилизатором и системой подогрева лома. Как следует из расчета, показатель эффективности системы при средней подаче природного и утилизируемого (доменного) газа может достигать примерно 56 % при условии значительного сокращения продолжительности технологического процесса выплавки стали.

Подтверждением преимущества систем на базе ГТУ могут служить статистические данные о постепенном переходе тепловых гене-

рирующих мощностей на ГТУ и ПГУ как в России, так и за рубежом. Из нового введенного в нашей стране за 2,5 года электрогенерирующего оборудования мощностью 9,2 ГВт почти 83,82 % приходится на газотурбинные технологии и менее 0,17 % — на газопоршневые агрегаты [5, 6].

Таким образом, максимально эффективная система энергообеспечения непосредственно электросталеплавильного производства может основываться только на ГТУ с попутной утилизацией уходящих газов турбины на предварительный подогрев металлического лома и на дополнительную генерацию электроэнергии в паротурбинной части системы.

Список литературы

1. Никифоров Г. В., Олейников В. К., Заславец Б. И. Энергосбережение и управление энергопотреблением в металлургическом производстве. — М.: Энергоатомиздат, 2003.
2. Бушуев А. Н., Картавец С. В. Об энергоэффективности теплового электрогенерирующего источника на базе паротурбинного цикла для сталеплавильного производства. — Энергобезопасность и энергосбережение, 2012, № 5.
3. Гольдинер А. Я., Цыркин М. И., Бондаренко В. В. Газопоршневые электроагрегаты. — СПб.: Галяя Принт, 2006.
4. Цанев С. В., Буров В. Д., Ремезов А. Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: Учеб. пособие для вузов. — М.: Изд-во МЭИ, 2009.
5. Аналитический бюллетень. Электроэнергетика: тенденции и прогнозы. Вып. № 1, итоги 2010 г. — М.: Риановости, 2011.
6. Аналитический бюллетень. Электроэнергетика: тенденции и прогнозы. Вып. № 5, итоги 2011 г. — М.: Риановости, 2012.

nielsen1@mail.ru