



А. А. СОТНИКОВ, РУП «БМЗ»

УДК 628.1:658.26

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ НА БЕЛОРУССКОМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ЗАВОДЕ

В 2004 г. Республиканское унитарное предприятие «Белорусский металлургический завод» отметит свое 20-летие. За прошедший период значительно изменился производственный облик завода: строительство объектов 2-й и 3-й очередей завода, реконструкции сталеплавильного и метизного производств. И все это невозможно было бы реализовать без изменения инфраструктуры производства, одним из элементов которой является энергетическое хозяйство завода.

Как правило, предприятия, выпускающие металлопродукцию, характеризуются энергоемкостью и большим разнообразием используемых энергоресурсов. И цель энергетической службы завода не только обеспечивать производство достаточным количеством требуемого качества энергоресурсов, но и осуществлять снижение энергоемкости продукции. Так, сегодня энергоемкость валового внутреннего продукта в Беларуси составляет 0,26 т нефтяного эквивалента на 1 тыс. долл. США, в Польше — 0,18, в Финляндии — 0,23, во Франции — 0,17. Доля энергозатрат в себестоимости продукции РУП «БМЗ» составляла в 2003 г. 15,2%, планируемая на 2004 г. — 14,8%.

В связи с этим приоритетными направлениями развития энергетики на РУП «БМЗ» являются внедрение новых энерго- и ресурсосберегающих технологий основного и вспомогательного производства; увеличение коэффициента использования топлива; внедрение систем учета и регулирования расходов энергоресурсов.

Проблемы неотребованного в полной мере тепла утилизации от уходящих газов электродуговых печей, использования энергоемкого процесса охлаждения воды для систем кондиционирования воздуха сталеплавильного цеха предлагается решить посредством внедрения абсорбционных бромисто-литиевых холодильных машин.

### Использование тепла утилизации в системах кондиционирования воздуха

В настоящее время охлаждение воды для систем кондиционирования воздуха осуществляется традиционным методом — поршневыми парокomp-

*The review of technical decisions on using of utilization heat in the systems of air conditioning, sewage water clearing, keeping of constant oxygen pressure in the plant set at provision from three independent sources is reflected in the article. The cumulative experience of the sewage water clearing at the facilities of back osmosis is noted, the qualitative figures of sewage membranes of different kinds are analyzed. The carrying out of technical decisions will allow to decrease considerably the deleterious effect on the environment.*

рессионными холодильными установками. Система компрессионного охлаждения использует хладагент на основе хлора  $\text{CHClF}_2$ . Цикл парокompрессионного охлаждения включает в себя компрессор, конденсатор, ресивер, фильтр-осушитель, терморегулирующий вентиль, испаритель. Охлаждение осуществляется на основе обратного цикла Карно. Принципиальная схема парокompрессионной установки показана на рис. 1. Существующие холодильные парокompрессионные установки являются энергоемкими. Потребление электроэнергии составляет 180 кВт/ч. Дополнительно затрачивается электроэнергия вентиляторов для конденсации паров 74 кВт/ч. Вместо существующей парокompрессионной установки предлагается установить абсорбционную бромисто-литиевую холодильную установку с потребляемой электрической мощностью 6,4 кВт/ч и использующей имеющееся в избытке тепло от утилизации сталеплавильной печи (рис. 2). В абсорбционном

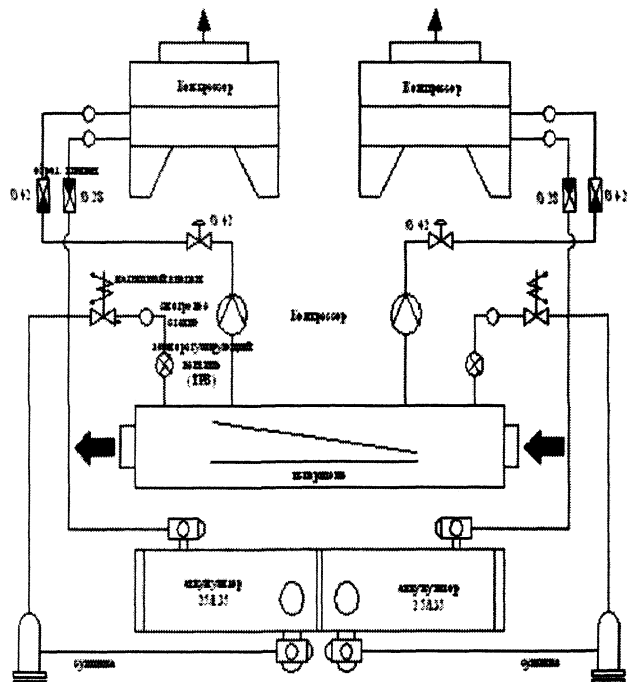


Рис. 1. Принципиальная схема парокompрессионной установки

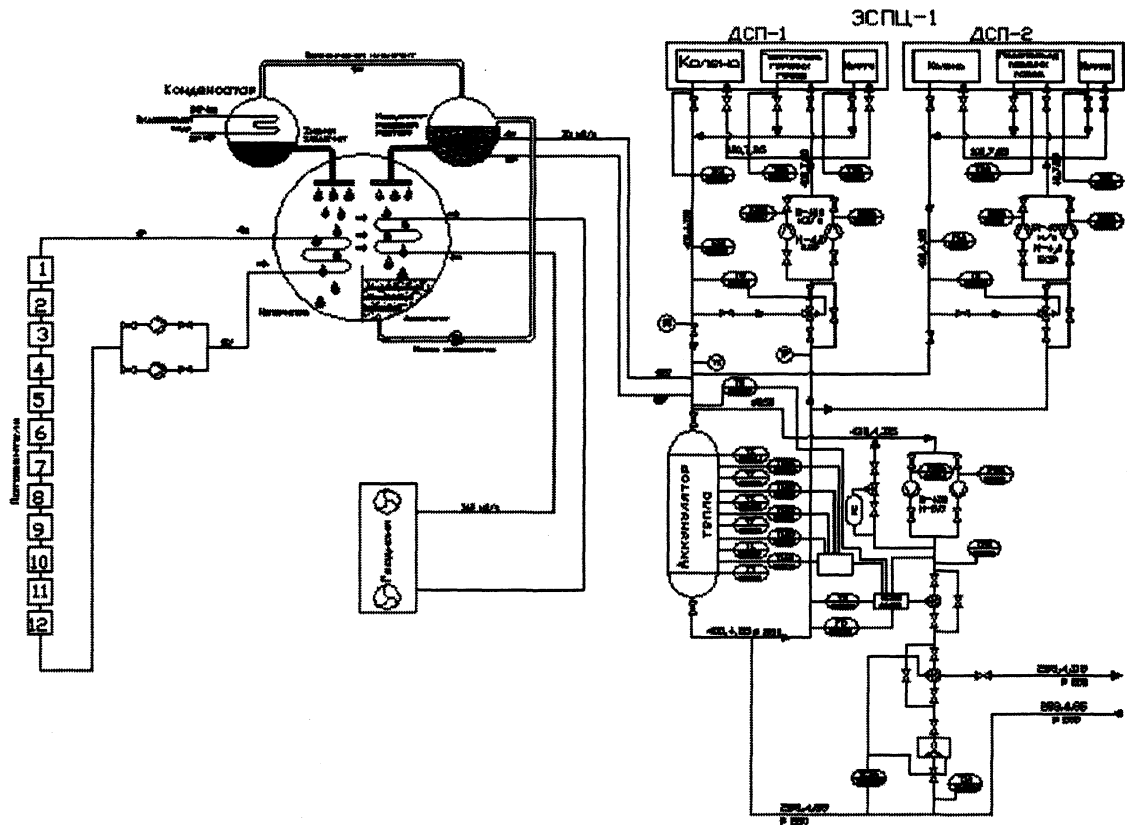


Рис. 2. Принципиальная схема абсорбционной установки

цикле охлаждения, как и компрессионном, для охлаждения воды, поступающей в агрегат, используется скрытая теплота парообразования хладагента. Система абсорбционного охлаждения использует в качестве хладагента воду и абсорбент для поглощения парообразного хладагента. Раствор затем нагревается для того, чтобы выпарить хладагент из абсорбента. Основной цикл абсорбционного охлаждения (рис. 2) включает в себя генератор, конденсатор, испаритель и абсорбер (абсорбционную колонку) с рабочим раствором, состоящим из хладагента (воды) и бромида лития. Генератор использует источник тепла (горячую воду от утилизации тепла) для выпаривания разбавленного раствора бромида лития в воде. Освобожденный из раствора водяной пар поступает в конденсатор, где он конденсируется в жидкое состояние, отдавая тепло воде, проходящей через охлаждающую колонку. После конденсации жидкий хладагент поступает в трубки испарителя, где испаряясь, отбирает тепло у охлаждаемой воды. Концентрированный раствор бромида лития подается из генератора в абсорбер, поглощает парообразный хладагент из испарителя и разбавляется. Разбавленный раствор бромида лития затем перекачивается насосом обратно в генератор, где цикл начинается снова.

Такое техническое решение позволяет более рационально использовать тепло уходящих газов, снизить затраты на отвод этого тепла в окружающую среду, отказаться от закупки озоноразру-

шающего фреона R22 для дозаправки, улучшить экологическую ситуацию.

Технологический процесс выплавки стали обуславливает неравномерность потребления газообразного кислорода. В связи с этим перед энергослужбой ставится задача исключения пульсации и обеспечения постоянного давления в сети завода.

#### Поддержание постоянного давления кислорода в сети завода при снабжении от трех независимых источников

Снабжение кислородом основных потребителей (сталеплавильных цехов) производится из коллектора, пропускная способность которого больше, чем суммарное пиковое потребление. Независимые друг от друга источники кислорода (воздухоразделительная установка №1 (ВРУ-1), воздухоразделительная установка №2 (ВРУ-2), станция хранения и газификации кислорода (СХГ)) подают кислород в тот же коллектор (рис. 3).

ВРУ-1 и ВРУ-2 оснащены кислородными компрессорами с давлением сжатия до 4,0 МПа и ресиверами 5x75 м<sup>3</sup> давлением до 4,5 МПа. Выдача кислорода в коллектор происходит через регулирующие устройства (КРУ), снижающие давление до заданного значения 0,12 МПа. Сжатие кислорода, применение ресиверов позволит иметь запас газообразного кислорода до 12000 м<sup>3</sup> и обеспечит кратковременное пиковое потребление с расходами, превышающими производительность

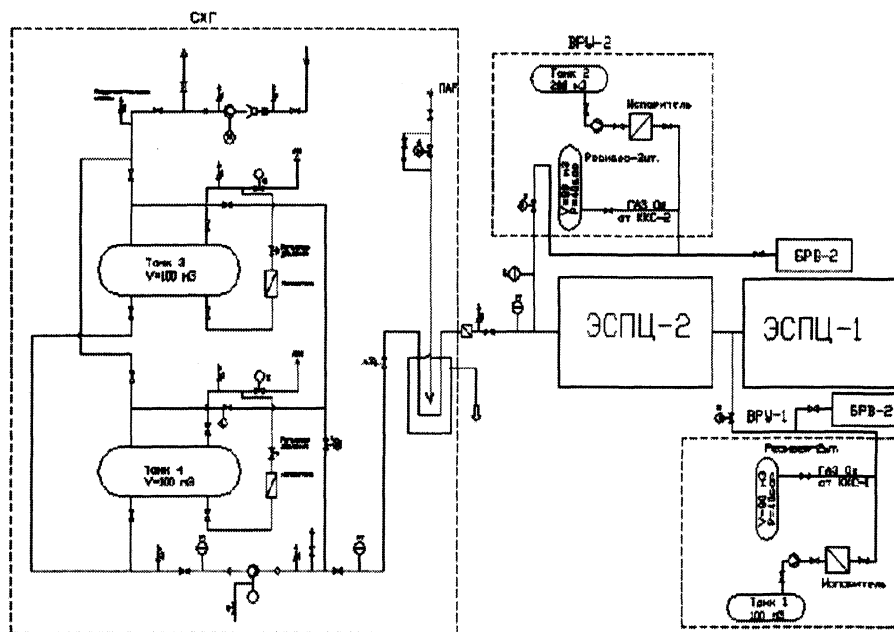


Рис. 3. Принципиальная схема автоматического регулирования и поддержания давления кислорода

воздухоразделительных установок. Управление регулирующей арматурой на кислородных регулирующих устройствах возможно реализовывать с помощью датчиков давления, пневматических приводов, микропроцессорной техники по принципу регуляторов давления «после себя», т.е. степень открытия клапана зависит от разницы между заданным значением давления и фактическим значением давления после клапана. Пропускная способность КРУ: ВРУ-1 – от 0 до 15 000 м<sup>3</sup>/ч, ВРУ-2 – от 0 до 25 000 м<sup>3</sup>/ч.

Регулирование производительности СХГ необходимо выполнить также по заданному значению давления на выходе. Так как давление сжатия насоса сжиженного газа не намного превышает давление, которое необходимо под-

держивать в сети, то использование ресиверов нецелесообразно. Количество жидкого кислорода, подаваемого в паровой испаритель насосом, требуется регулировать байпасным клапаном, пропускающим необходимое количество жидкости назад в емкость. Байпасный клапан оснащен пневматическим приводом, управляемым по разнице заданного и фактического значений давления. Производительность СХГ составляет от 0 до 4000 м<sup>3</sup>/ч.

Такая схема позволит сформировать несколько вариантов подключения источников кислорода. Выставлением разных заданных значений давления на разных источниках кислорода можно производить управление нагрузкой оборудования, обеспечить постоянное давление в сети завода (см. таблицу).

#### Варианты подключения источников

Оборудование	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3*	Вариант 4
ВРУ-1	Вспомогательный источник, включается подача кислорода при давлении 11,8 бар	Не работает, находится в ремонте	Не работает, находится в ремонте	Основной источник, поддерживает давление 12 бар
ВРУ-2	Основной источник, поддерживает давление 12 бар	Основной источник, поддерживает давление 12,0 бар	Не работает, находится в ремонте	
СХГ	Резервный источник	Вспомогательный источник, включается подача кислорода при давлении 11,8 бар	Основной источник, поддерживает давление 12,0 бар	Резервный источник
Танк 1	Резервный источник	Резервный источник	Резервный источник	Резервный источник
Танк 2	Резервный источник	Резервный источник	Вспомогательный источник, включается подача кислорода при давлении 11,8 бар	Вспомогательный источник, включается подача кислорода при давлении 11,8 бар

\* В данном варианте станция хранения и газификации является основным источником, так как пополнение танков 3,4 производится из железнодорожных емкостей и необходимо использовать привозной кислород. Танки 1,2 при остановке ВРУ-1,2 не пополняются жидким кислородом и являются аварийным запасом.

Выбор варианта осуществляется исходя из наличия жидкого кислорода в танках, технического состояния ВРУ-1,2 и экономической целесообразности.

Особое место в энергетическом хозяйстве завода занимает вторичное использование водных ресурсов.

#### Очистка сточных вод

Все загрязненные сточные воды РУП «БМЗ» проходят различные стадии локальной очистки на отдельных участках производства. Окончательная обработка сточных вод до требуемых для возврата в оборотное водоснабжение норм производится на участках водоподготовки энергетического цеха и участке регенерации травильных растворов СтПЦ-2.

На водоподготовку №2 энергетического цеха (ЭнЦ) поступают засоленные сточные воды 2-й очереди завода, образующиеся от продувок котлов, солевых продувок закрытых и открытых контуров охлаждения, нейтрализованные сточные воды от химического блока. Качественный и количественный состав стоков не постоянный, для стоков характерно большое содержание солей: сульфатов – 2000–3000 мг/л, хлоридов – 2000–3000 мг/л, проводимость стоков – до 10 000 мкСм/см.

Высокая эффективность очистки засоленных стоков достигается за счет использования мембранного метода очистки на установках обратного осмоса водоподготовки. Важным условием эффективной очистки сточных вод на установках обратного осмоса является их предварительная очистка для снижения содержания железа, кальция, взвешенных веществ в реакторе предварительной очистки. Следующий этап – фильтрация воды через гравийный и угольный фильтры. После тонкой очистки от взвешенных и коллоидных веществ на патронном фильтре (<10 мкм) сточная вода подается на модули обратноосмотической установки обессоливания, где стоки разделяются на пермеат – очищенную воду и концентрат. Пермеат поступает в резервуар декарбонизованной воды, а концентрат – на двухкаскадную выпарную установку с принудительной циркуляцией, где выпаривается. Выпаренные соли и обезвоженный шлам реактора предочистки после обработки на фильтр-прессе вывозятся на полигон промтоходов.

Если первая стадия очистки сточных вод в реакторе предочистки является типичной для очистных сооружений, то последующая очистка на установке обратного осмоса, можно сказать, уникальна. Дело в том, что в мировой практике мембранный метод очистки воды на обратноосмотических установках применяется в основном для опреснения морской воды и получения особо чистых вод из артезианской или речной воды, когда солевой состав исходной воды постоянен.

Опыт применения обратного осмоса для очистки засоленных стоков переменного состава с пиковыми концентрациями сульфатов и хлоридов до 5000 мг/л минимален, поэтому представляют интерес наработки РУП «БМЗ» в этой области.

Обратноосмотические установки обладают рядом преимуществ:

- высокая степень очистки сточных вод (99,5%);
- обработка стоков с большим содержанием – до 10 000 мкСм/см;
- выход чистой воды – 75%;
- мембранная очистка безреагентная, не приводит к образованию осадков-шламов, требующих утилизации или захоронения.

Накопленный в ЭнЦ опыт работы на обратноосмотических установках с применением ацетатцеллюлозных мембран (проектное решение) выявил ряд недостатков и трудностей в технологии очистки засоленных стоков. Срок эксплуатации этих мембран не превышал 1 года.

Проведенный анализ быстрого выхода из строя ацетатцеллюлозных мембран показал, что, во-первых, установки монтировались в 1985 г. и были рассчитаны на гораздо лучший по качественным и количественным показателям состав засоленных стоков (в связи с последующим вводом новых агрегатов в сталепроволочном цехе концентрационные нагрузки на мембраны значительно возросли); во-вторых, ацетатцеллюлозные мембранные элементы сильно подвержены воздействию бактерий, что требовало постоянного дозирования гипохлорита натрия и консервации мембран даже при незначительном простое, у них узкий диапазон рабочего pH (5–6) и промывочных растворов. Незначительные отклонения в работе или промывке и выходе за рабочий диапазон приводили к быстрому износу мембран вследствие их гидролиза.

Для тяжелой засоленной сточной воды с изменяющимися параметрами правильным выбором для очистки стоков на обратноосмотических установках является применение полиамидных мембран такого типа, как BW 30-365. Опыт работы водоподготовки ЭнЦ показывает, что только этот тип мембран позволяет работать стабильно и с наилучшей производительностью. Применение правильно подобранных антискалантов под этот тип мембран обеспечивает ряд преимуществ в работе установки обратного осмоса, полиамидные мембраны устойчивы к бактериологическому загрязнению стоков, имеют более широкий рабочий диапазон pH (4–10), а также широкий диапазон pH очистки моющими растворами (2–12).

Установка обратного осмоса состоит из трех блоков, каждый из них имеет производительность по питающей воде 25 м<sup>3</sup>/ч. Каждый блок состоит из насоса высокого давления, напорных

труб с мембранными элементами, контрольно-измерительных приборов. Элементы обратного осмоса расположены тремя ступенями для достижения выхода чистой воды 80–85%, на эксплуатируемом в ЭНЦ блоке при переходе на работу с полиамидными мембранами был установлен выход пермеата – 75%.

При эксплуатации установки происходит изменение эксплуатационных параметров (температуры, солесодержания, расхода пермеата, загрязнение мембран). Незначительных изменений этих параметров не избежать, они являются нормальными. Недопустимо загрязнение мембран и их повреждение.

Анализируя качественный состав стоков, поступающих на очистку мембранным методом, следует установить основные вещества, загрязняющие и выводящие из строя мембраны, определить меры, предотвращающие это негативное воздействие. Для стоков РУП «БМЗ» такими загрязнителями являются.

1. Оксиды трехвалентных металлов, в основном железа. Нормативное содержание их в сточной воде меньше 0,05 мг/л. Превышение норматива приводит к возможности выпадения нерастворимых гидроксидов железа и отложению их на мембранах. Норматив достигается путем осаждения трехвалентного железа в виде гидроксида в реакторе предочистки и дальнейшей очистки стоков на гравийных и угольных фильтрах.

2. Взвешенные вещества. Величина частиц должна быть меньше 10 мкм, содержание взвешенных веществ – менее 0,6 мг/л. В противном случае происходит блокировка мембран, увеличение гидростатического сопротивления. Для удаления взвешенных частиц (<10 мкм) используется патронный фильтр с катриджами. Катриджи фильтра должны своевременно заменяться и промываться по достижению заданного перепада давления в фильтре.

3. Карбонат кальция. Содержание кальция в сточной воде не должно быть более 5 мг-экв/л (100 мг/л), индекс Ланжье должен быть отрицательным. Для предотвращения выпадения солей кальция карбонатная жесткость переводится в некарбонатную с помощью дозирования соляной кислоты и поддержания pH 7,5 – 8,0.

4. Сульфат кальция. Норматив содержания кальция составляет менее 5 мг-экв/л. Поскольку

в процессе концентрирования стоков превышает производство растворимости сульфата кальция и появляется вероятность выпадения солей на мембранах, в стоки перед мембранами дозируется специально подобранный антискалант RP 1 400A. Установленная дозировка антискаланта – 7 мг на 1 л обрабатываемых стоков.

5. Индекс блокировки после всех стадий очистки должен быть меньше 5 (SDI меньше 5), т.е. не должно быть коллоидов.

6. Не должно быть сильных окислителей (ХПК менее 3 мг/л).

Любые загрязнения мембран должны устраняться посредством промывки системы или изменением рабочих условий при изменении показателей работы установки: дифференциального давления, температуры очищенной воды, выхода количества очищенной воды, увеличения проводимости пермеата.

Зная основные загрязняющие мембрану вещества, учитывая специфический характер загрязнений в процессе эксплуатации, внимательно наблюдая за рабочими параметрами работы обратноосмотической установки, на РУП «БМЗ» были подобраны основные моющие вещества для промывки мембран и разработан график промывок.

Таким образом, после замены ацетатцеллюлозных мембранных элементов на полиамидные и разработки соответствующей программы промывок, а также при соблюдении установленных параметров при дозировании антискаланта и соляной кислоты обратноосмотическая установка на водоподготовке ЭНЦ работает устойчиво, с заданным выходом чистой воды (пермеата).

Такая переработка промышленных стоков позволяет не только путем концентрирования снизить в десятки раз объемы образующихся засоленных и загрязненных стоков, но и вернуть на нужды производства обессоленную воду и конденсат.

На основании выполненного обзора технических решений следует, что их реализация представляет важное практическое значение как с точки зрения энергосберегающего технологического процесса, так и с точки зрения увеличения использования вторичных энергоресурсов, коэффициента использования топлива и, как следствие, уменьшения отрицательного воздействия на окружающую среду.