

15. Brooks, R. A. Intelligence without representation / R. A. Brooks // Artificial Intelligence. – 1991. – № 47. – P. 139–159.

16. Cetnarowicz, K. A Formal Specification of M-Agent Architecture; Ed. by B. Keplics, E. Nawarecki / K. Cetnarowicz, P. Gruer, V. Hilaire, A. Koukam // Proc. of the Second Int. Workshop of Central and Eastern Europe on Multi-Agent Systems. – Poland, 2001. – P. 41–50.

17. Wooldridge, M. An Introduction to Multi-Agent Systems / M. Wooldridge. – John Wiley and Sons, 2002.

18. Wooldridge, M. The Gaia Methodology for Agent-Oriented Analysis and Design / M. Wooldridge, N. R. Jennings, D. Kinny // Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems. – 2000. – 3(3). – P. 285–312.

УДК 621.778.04

Р. А. Юдин, Н. И. Шестаков, И. Р. Юдин, Н. А. Тувалин
Череповецкий государственный университет

ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ КОНТРОЛИРУЕМЫХ АТМОСФЕР В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

В статье рассмотрены вопросы, связанные с применением контролируемых атмосфер в термических печах с муфельированием садки и пламени различных производств. Эти атмосферы защищают поверхность металлопродукции от окисления и обезуглероживания, восстанавливают химически чистое железо и углеродный потенциал на поверхности металлопродукции. Показаны пути энергосбережения, снижения материальных и трудовых затрат, актуальность расширения объемов внедрения.

Аммиак (NH₃), химически чистый азот (99,9 % N₂), азотно-водородная смесь (ABC – 25 % N₂, 75 % H₂), защитный газ (4–5 % H₂, 96–95 % N₂), оксид и диоксид углерода, водород и водяные пары, коэффициент расхода воздуха.

The article considers the problems of applying controlled atmospheres in thermal furnaces with hiding of content and fire in different manufactures. These atmospheres protect surfaces of metals from oxidation and carbon escape, they restore chemically pure iron and carbon potential. The ways of energy saving, reduction of material and labor costs, relevance of the volume of implementation are shown in the paper.

Ammonia (NH₃), chemically pure nitrogen (99,9 % N₂), nitrogen-hydrogen mixture (ABC – 25 % N₂, 75 % H₂), protecting gas (4–5 % H₂, 96–95 % N₂), oxide and carbon dioxide, hydrogen and water vapor, flow rate of air.

Введение.

Получению и применению контролируемых атмосфер посвящена монография [2], а защите стали от окисления и обезуглероживания, для которых предназначены эти атмосферы – монография [1]. Однако в них целенаправленно не рассмотрены задачи энергосбережения, снижения материальных и трудовых затрат. Это приводит к существенному повышению себестоимости контролируемых атмосфер.

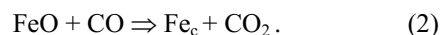
Основная часть.

Наиболее часто в качестве контролируемых атмосфер используют защитный газ, состоящий из 93–95 % азота и соответственно 7–5 % водорода или суммы водорода и оксида углерода. Влажность атмосферы не должна превышать –40 °С, поэтому ее и химический состав непрерывно контролируют. Азот при температурах 900–1000 °С является инертным газом, а водород восстанавливает на поверхности стали химически чистое железо по реакции:



В связи с небольшим содержанием водорода и оксида углерода такие атмосферы имеют слабые восстановительные свойства, однако гарантированно предохраняют поверхность стали от окисления, по-

этому их называют защитным газом. Ранее его получали двумя способами: из аммиака и технического азота и из природного газа. При использовании первого способа защитный газ содержит азот и водород, а при втором – также оксид углерода. Реакция восстановления на поверхности стали химически чистого железа оксидом углерода подобна (1) и имеет следующий вид:



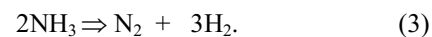
Из реакции (2) следует, что в отличие от водорода оксид углерода позволяет не только восстановить на поверхности стали химически чистое железо, но и реставрировать ее углеродный потенциал. Это весьма актуально для шарикоподшипниковой стали ШХ-15 и игольной проволоки, так как именно эти виды продукции не допускают обезуглероживания.

Первый способ применили на газозащитных станциях (ГЗС) ОАО «Череповецкий сталепрокатный завод» (ЧСПЗ) и Череповецком металлургическом комбинате (ЧМК) ОАО «Северсталь», второй – на ГЗС «Орловский сталепрокатный завод» (ОСПЗ). В настоящее время ЧСПЗ и ОСПЗ входят в состав компании ОАО «Северсталь-метиз». Проектированием ГЗС обоих заводов, технадзором за строительством и наладкой занимались институт «Стальпро-

ект» и трест «Центроэнергочермет». Это свидетельствует об обоснованности выбора различных способов получения защитного газа, во многом зависящего от региональных особенностей.

Природный газ используют практически на всех крупных предприятиях, поэтому реализация получения из него защитного газа всегда возможна. Однако Череповец является не только городом «большой металлургии», но и «большой химии», так как в городе помимо ЧМК и ЧСПЗ находятся предприятия ОАО «Череповецкий азот» (ЧА) и ОАО «Аммофос», которые в настоящее время объединены в один Череповецкий филиал компании «ФосАгро». В этих условиях выбор первого способа получения защитного газа был экономически оправдан. На рис. 1 представлены три схемы получения защитного газа, описанные в работе [6] и реализованные в разное время на ЧСПЗ.

На рис. 1а показана проектная схема получения защитного газа из аммиака и технического азота. Аммиак поступает на ЧСПЗ от ЧА, а технический азот от ЧМК. На первой стадии на ГЗС в диссоциаторах типа ДАЦ-250, снабженных электронагревателями, по термokatалитической реакции (3) проводят диссоциацию аммиака:



Реакция (3) является наиболее энергоемкой стадией получения защитного газа. Из нее следует, что продукты диссоциации содержат 25 % азота и 75 % водорода. В дальнейшем эти продукты будем именовать азотно-водородной средой – АВС. На второй стадии АВС смешивают с техническим азотом. В результате часть водорода АВС полностью связывает кислород технического азота. Затем осуществляют каталитическое гидрирование («сжигание кислорода») на палладиевых катализаторах с последующей конденсацией образующихся паров воды. Заключительной операцией является глубокая осушка защитного газа до температуры точки росы -40°C . Поглотителями влаги являются силикагель или цеолит.

При устойчивой подаче требуемого количества технического азота с содержанием кислорода не более 1,1–1,3 % этот способ достаточно надежен и управляем. Однако в техническом азоте кислородного цеха ЧМК при аварийных ситуациях оно достигало 5 %, что приводило к прямо пропорциональному увеличению расхода аммиака и себестоимости защитного газа.

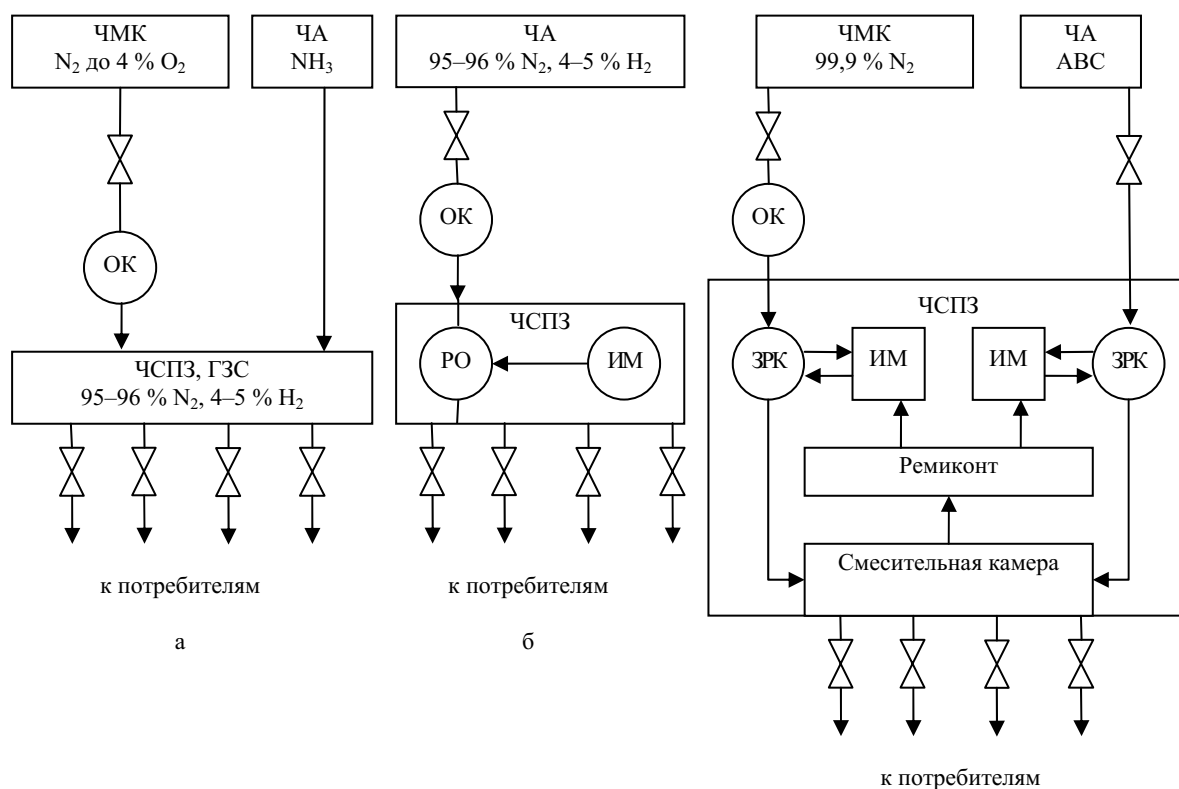
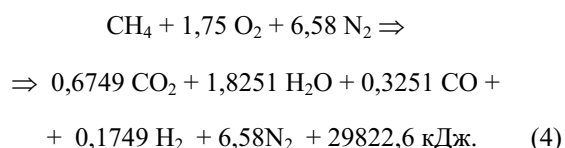


Рис. 1. Схемы получения защитного газа из газов, содержащих азот и водород:
а – из аммиака (NH_3) и технического азота (до 4 % O_2),
б – получение защитного газа ОАО «Череповецкий азот»,
в – получение готовой смеси из химически чистого азота (до 99,9 %) и АВС
($\approx 25\% \text{N}_2$ и $75\% \text{H}_2$) на ЧСПЗ

ОК – обратный клапан, ЗРК – запорно-регулирующий клапан,
ИМ – исполнительный механизм, ∇ – задвижка

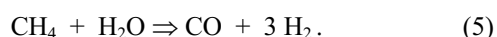
На основании обследования ГЗС ЧСПЗ в 2000 г. было установлено, что оборудование ГЗС и ее КИ-ПиА физически износились и морально устарели, поэтому необходим капитальный ремонт с заменой части оборудования ГЗС и полной заменой КИПиА. Кроме того, по современным требованиям склад жидкого аммиака должен находиться на расстоянии не менее 30 м от других объектов, а завод такими возможностями не располагал. Гостехнадзором было предписано ликвидировать склад аммиака и рассмотреть возможность получения защитного газа из природного газа на агрегатах N2-1000ПК. Первая стадия этого способа при коэффициенте расхода первичного воздуха $\alpha_1 = 0,875$ для метана имеет вид:



Коэффициенты перед компонентами продуктов неполного сгорания с указанной точностью в реакции (4) рассчитаны по алгоритму, представленному в работе [5] и монографии [3, с. 133].

Следующей стадией получения защитного газа является очистка продуктов реакции (4) от диоксида углерода в поглотителе – моноэтанолаmine (МЭА). Далее вымораживают влагу адсорбатами и проводят глубокую осушку атмосферы до температуры точки росы не выше -40°C . Содержание в этом защитном газе оксида углерода и водорода приблизительно равно содержанию водорода, получаемому по первой схеме, а влажность совпадает. Однако внедрение этого способа требовало существенных инвестиций (не менее 30–40 млн руб. по ценам 2000 г.).

Специалистами ЧСПЗ и ЧА была разработана альтернативная схема получения защитного газа, основанная на следующих предпосылках. Одним из основных видов продукции ЧА является жидкий аммиак. Его синтезируют из химически чистых азота и водорода. Химически чистый азот получают низкотемпературным выделением из воздуха. Содержание в нем азота составляет не менее 99,99 %, а кислорода – не более 0,01 %. При получении водорода наиболее экономичным способом является конверсия (риформинг) природного газа водяным паром по реакции:



Первичная конверсия природного газа протекает в трубчатых реакторах, заполненных никелевым катализатором. Основным компонентом природного газа является метан. Именно поэтому реакция (5) записана для метана и является классической реакцией его конверсии, из которой следует, что ее продукты обладают высокими восстановительными и науглероживающими свойствами, так как содержат 25 % оксида углерода и 75 % водорода.

Однако после первичного риформинга его продукты также содержат остаточный метан, оксид и

диоксид углерода, которые перед синтезом аммиака следует удалить, поэтому следующей стадией процесса синтеза аммиака является вторичный риформинг, который происходит в смеси реакционных газов с воздухом. Оксид углерода дожигают до диоксида, затем следует его поглощение растворами МЭО либо раствором «карсол» и метанирование остатков оксида и диоксида углерода. Далее химически чистый водород сушат, разбавляют в заданной пропорции химически чистым азотом и подают на синтез аммиака. Это термokatалитический процесс, протекающий при высоких температурах, в противоположном реакции (3) направлении:



Здесь следует акцентировать внимание на том, что реакции (3) и (6) являются наиболее энергоемкими стадиями. Они требуют применения дорогостоящих катализаторов, трудовых и материальных ресурсов, больших затрат электроэнергии. Очевидно, что эти технологические стадии при получении защитного газа следует исключить и использовать непосредственно исходные компоненты реакции (6).

В результате проведенного специалистами ЧСПЗ и ЧА анализа было показано, что в существовавших в 2001 г. условиях оптимальной являлась схема получения защитного газа, организационная структура которой в рамках двух предприятий представлена на рис. 16. По этой схеме защитный газ получают непосредственно на ЧА. В качестве сырья используется АВС с агрегата синтеза аммиака фирмы «ТЕС», отбираемая со второй ступени нагнетания компрессора синтез-газа, со следующими физическими параметрами: $t = 164^\circ\text{C}$, $P = 1,02 \text{ МПа}$. АВС имеет примерно следующий химический состав: 74,4 % H_2 , 24,15 % N_2 , 1,1 % CH_4 , 0,35 % Ar .

Основным узлом схемы является глубокая осушка АВС. Ее выполняют методом охлаждения, сепарирования воды и адсорбции. Охлаждение проводят в блоке холодильника типа «труба в трубе», состоящем из трех секций, в две стадии. Наиболее горячий поток АВС охлаждают оборотной водой с температурой до 33°C . В трубах холодильника находится АВС, а в межтрубном пространстве – вода. В процессе кипения жидкого аммиака АВС охлаждают до 10°C . Для отделения капель жидкости на выходе из последнего по ходу газа теплообменного элемента устанавливают влагоотделитель. Уровень в нем регулируют автоматически путем подачи аммиака из расширительного сосуда. Давление в межтрубном пространстве поддерживают равным 0,33 МПа, что соответствует температуре кипения аммиака 0°C . Глубокую осушку АВС до -40°C осуществляют вымораживанием ее в цеолите.

Далее АВС смешивают с химически чистым азотом, полученным низкотемпературным разделением воздуха в блоке БР-6м, и подают на ЧСПЗ. Здесь уместно отметить, что в тот период ЧА располагал избыточным количеством химически чистого азота, который были вынуждены сбрасывать в атмосферу.

Это существенно способствовало внедрению нового процесса. Химический состав полученного защитного газа составлял: 95,9 % N_2 , 4,0 % H_2 , 0,021 % CH_4 . Остальное приходилось на безвредные остатки, например, аргон. Температура точки росы химически чистого азота составляла -80–100 °С, поэтому окончательная температура точки росы подаваемого на ЧСПЗ защитного газа не превышала -50–60 °С. Блок холодильника осушки АВС разместили в помещении компрессора агрегата «ТЭС».

В сравнении с проектной схемой эта технология является материало- и энергосберегающей, а также экологически чистой и безвредной для обоих предприятий и региона в целом. Она позволяет избежать транспортировки и хранения аммиака, полностью исключить процессы его термокаталитического синтеза и последующей диссоциации, которые реализуются на сложном и энергоемком оборудовании. При этом процессы гидрирования и осушки защитной атмосферы ограничиваются только осушкой первичной АВС до ее разбавления химически чистым азотом. Существенно повышается надежность получения азотно-водородного газа, снижается расход пара и электроэнергии на нужды производства. Кроме того, на ЧСПЗ были закрыты склад аммиака и ГЗС.

Схема, представленная на рис. 1б, в полном объеме была внедрена в феврале 2002 г. Расстояние между заводами составляет 9 км, поэтому на территории ЧМК арендовали резервный трубопровод и отремонтировали его. Общая длина трассы с газопроводом на территории ЧСПЗ составляет 10,5 км. На выходе с ЧА и на входе ЧСПЗ были установлены учетные узлы, содержащие измерительные диафрагмы, запорное и регулирующее оборудование, а также КИПиА, обеспечивающие полный контроль и необходимое регулирование объема защитного газа.

По оценкам специалистов ЧА в результате реализации нового способа получения защитного газа, защищенного патентом РФ № 2193520 «Процесс производства азотно-водородной атмосферы» (Б. И. №33, 2002 г.), себестоимость химически чистого азота в 2002 г. снизилась на 281,7 руб. /1000 м³. При согласованной с ЧСПЗ договорной цене 575 руб. /1000 м³ затраты на ЧА окупались в течение 2 месяцев. Годовой экономический эффект, полученный на двух заводах, превысил 30 млн руб. Кроме того, были полностью исключены риски, связанные с использованием аммиака. В связи со значительным снижением влажности защитного газа существенно повысилось качество метизов.

Количество выбрасываемого в атмосферу химически чистого азота на ЧА сократилось в 2 раза, что предполагало актуальность поиска дополнительных потребителей. В 2003 г. дополнительным потребителем защитного газа стал цех изложниц ЧМК, где ранее химически чистый водород получали электролизом воды, что экономически оправдано только при небольшой потребности в районах с дешевой электроэнергией. В работе [6] отмечали, что крупным дополнительным потребителем может быть цех холодного проката ЧМК, в составе которого имеется ГЗС примерно такой же мощности и параметрами,

как на ЧСПЗ. Однако, несмотря на проработку этой возможности и положительные результаты, ее не реализовали.

Выше показано, что в результате первичного риформинга классической конверсии по реакции (5) не происходит. Ее продукты также содержат оксиды углерода и остаточный метан. Однако наличие в газовой смеси кислородосодержащих компонентов при синтезе аммиака неприемлемо. Допускается только содержание метана до 0,5 %, но при термохимической обработке стали наличие в химическом составе защитного газа CO и CH_4 весьма полезно. Это обусловлено тем, что оксид углерода и метан позволяют не только, например, по реакции (2) восстановить на поверхности стали углеродный слой, но и науглеродить ее, поэтому контролируемую атмосферу следует очищать только от диоксида углерода. Это позволяет значительно снизить ее себестоимость и повысить качество металлопродукции.

Однако ЧА начал планомерно повышать стоимость защитного газа, пропорционально ценам на другие виды продукции, например, аммиак. С другой стороны, на ЧМК в 2007 г. была построена новая станция разделения воздуха для получения в больших количествах химически чистого азота. Эти обстоятельства выдвинули в число актуальных задач не только изменение организационной схемы получения защитного газа, но и аммиака. Последнее обусловлено увеличением объемов его производства, не только полностью исключившего выбросы избыточного химически чистого азота в атмосферу, но и потребовавшего дополнительных объемов, поэтому в настоящее время на ЧА часть химически чистого азота поступает от ЧМК.

На рис. 1в представлена новая организационная схема получения защитного газа, реализованная на ЧСПЗ в 2008 г. По этой схеме ЧСПЗ на ином качественном и экономическом уровне, чем в схеме рис. 1а, вернулся к двум источникам. Однако если ранее завод получал от ЧА аммиак, а от ЧМК – технический азот, то в современных условиях от первого источника ЧСПЗ получает химически чистый азот, а от второго – АВС. Причем подачу химически чистого азота осуществляют по новому трубопроводу от цеха изложниц, а АВС – по трубопроводу, ранее подававшему защитный газ по схеме (рис. 1б). Новая схема описана в работе [4].

Из нее следует, что защитную атмосферу получают непосредственно на ЧСПЗ путем смешения в специальной камере в заданной пропорции химически чистого азота и АВС. Конструктивно смесительная камера относится к типу «труба в трубе». На трубопроводах перед входом в камеру в качестве регулирующих органов установлены, соединенные с исполнительными механизмами запорно-регулирующие клапана типа «Самсон». Контроль расходов и регулирование соотношения газов осуществляют контроллером типа «Ремиконт» серии «Контраст». На выходе из смесительной камеры перед контроллером установлен влагомер. Датчики влагомеров также установлены не только перед каждым потре-

бителем, но и в коллекторах защитного газа печей с радиационными трубами всех технологических зон.

Годовой экономический эффект, полученный на ЧСПЗ за счет внедрения схемы (рис. 1в), составил 13,6 млн руб. Ее технический проект выполнен институтом «ГИАП» (г. Новомосковск). Следует отметить, что в рамках этой схемы, как и в схеме 1б, можно решать проблемы, связанные с обезуглероживанием стали. Для этого по трубопроводу от ОАО «Череповецкий азот» необходимо подавать АВС, также содержащую оксид углерода и остаточный метан.

Выводы.

Решение проблем обезуглероживания поверхности металлопродукции сохраняет актуальность. Например, на ЧСПЗ сталь ШХ-15 перед термохимической обработкой для исключения обезуглероживания предварительно обрабатывают в растворе железного купороса с остаточной серной кислотой, которая при нагреве возгоняется, интенсивно разрушая конструктивные элементы печей. Именно поэтому необходимо использовать современные способы защиты поверхности стали от обезуглероживания, которые не сопровождаются негативными явлениями.

Результаты данной работы следует использовать и в других регионах страны. Например, в составе ОАО «НЛМК» имеется структура, аналогичная ОАО

«Череповецкий Азот», а также ГЗС, на которой защитный газ производят по схеме рис. 1а, хотя целесообразность полного исключения при получении защитного газа взрывоопасного и высокотоксичного аммиака при наличии безопасных технологий очевидна. Кроме того, имеется реальная возможность не только повысить качество металлопродукции, но и существенно снизить энергетические, материальные и трудовые затраты.

Литература

1. Ващенко, А. И. Окисление и обезуглероживание стали / [А. И. Ващенко и др.]. – М., 1972.
2. Эстрин, Б. М. Производство и применение контролируемых атмосфер / Б. М. Эстрин. – М., 1973.
3. Юдин, Р. А. Научно-технические основы процессов горения / Р. А. Юдин. – Череповец, 2013.
4. Юдин, Р. А. Повышение эффективности получения и использования защитного газа для термических печей метизного производства / [Р. А. Юдин и др.] // Сталь. – 2010. – №9. – С. 56–60.
5. Юдин, Р. А. Разработка алгоритма расчета неполного сгорания природного газа / [Р. А. Юдин и др.] // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2013. – №3. – Т. 2. – С. 31–35.
6. Юдин, Р. А. Совершенствование производства защитного газа для термической обработки метизов / [Р. А. Юдин и др.] // Сталь. – 2003. – №7. – С. 70–74.