

**АНАЛИЗ ЭНЕРГО- И
РЕСУРСОПОТРЕБЛЕНИЯ НА
ПРЕДПРИЯТИИ И РАЗРАБОТКА
РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ВНЕДРЕНИЮ
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ**

© 2009 Войтенко Б.И.,
Рубчевский В.Н., к.т.н., Шарагин В.С.
(ОАО «Запорожжкокс»)
Шульга И.В., к.т.н.,
Борисенко А.Л., к.т.н.,
Малыш А.С., к.т.н.,
Кныш К.Е. (УХИН)

В статье дан полный анализ энергопотребления по всем переделам ОАО «Запорожжкокс», рассчитаны выбросы парниковых газов от стационарных источников. Даны рекомендации по снижению энергопотребления.

The article is given a full analysis of all the power consumption of JSC «Zaporozhkoeks», the emissions of greenhouse gases from stationary sources are calculated. Recommendations to reduce energy consumption are given.

Ключевые слова: энергопотребление, выбросы парниковых газов, расход газа на коксование, ТЭЦ, рекомендации, проект совместного осуществления.

В настоящее время одним из основных направлений уменьшения себестоимости кокса и продуктов, полученных при переработке коксового газа, является уменьшение энергопотребления предприятия, что в свою очередь влечет снижение расхода энергоресурсов и уменьшение выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов.

УХИНОм был проведен сравнительный анализ работы за 2006-2007 гг. по всем переделам ОАО «Запорожжкокс» с целью полного учета энергопотребляющего оборудования, оценки его работы и возможности внедрения мероприятий по снижению энерго- и ресурсопотребления.

В 2006 г. предприятием переработано 2352127,67 т угольной шихты (в сухой массе) и произведено 1935615 т кокса валового 6 %-ной влажности. В 2007 г. предприятием переработано 2189388,8 т угольной шихты (в сухой массе) и произведено 1792396,915 т кокса валового 6 %-ной влажности. Это на 7,4 % меньше, чем в 2006 г.

Угледоготовительный цех Основными энергопотребляющими агрегатами в цехе являются объекты приема, складирования углей и подготовки шихты (вагоно-опрокидыватель, конвейеры, дробилки), а также вентиляционные и аспирационные установки. Удельный расход электроэнергии на приготовление шихты в угледоготовительном цехе за 2006 г. составил 2,9 кВт·ч/т шихты, что на 0,4 кВт·ч/т меньше планового показателя. За 2007 г. данный показатель составил 3,0 кВт·ч/т шихты, что соответствует плановому заданию. Основная причина снижения, достигнутого в 2006 г. – степень усреднения концентратов на угольном складе, составившая 63,2 % (из 2,61 млн. т разгруженных углей передано на склад 1,65 млн. т, остальные переданы непосредственно в производство). В 2007 г. по сравнению с 2006 г. этот показатель возрос на 0,1 кВт·ч/т (на 3,4 %) несмотря на некоторое снижение степени усреднения углей на складе (63,2 % в 2006 г. и 61,4 в 2007 г.). Основная причина этого – снижение объемов переработки шихты на 7,4 %, что приводит к росту удельного расхода электроэнергии при

наличии в цехе значительного количества агрегатов, объемы энергопотребления которых не зависят от объемов производства и составляют около 45 % от общего уровня. И плановый, и фактический уровень расхода энергоресурсов в целом соответствуют средним значениям для предприятий коксохимической подотрасли Украины.

Основным стационарным источником выбросов парниковых газов при подготовке угольной шихты к коксованию является гараж-размораживатель. Всего в 2006 г. на отопление гаража-размораживателя израсходовано 5761 тыс. м³ коксового газа, приведенного к нормальным условиям (0 °С, 101,3 кПа и 16,8 МДж/м³). В среднем за год удельный расход коксового газа на обогрев гаража-размораживателя составляет 2,45 м³/т шихты, пошедшей на коксование. С учетом сезонности работы гаража-размораживателя и количества размораживаемых углей (~50 % годового количества углей, поставленных из России и Казахстана, и ~25 % годового количества углей, поставленных из Украины) удельный расход газа составляет 6,80 м³/т размораживаемых углей. Данные показатели несколько выше средних значений по предприятиям подотрасли за предшествующие годы (2000-2005 гг.). Это связано в первую очередь с неблагоприятными климатическими условиями первого квартала 2006 г. и с увеличением количества размораживаемых углей.

В 2007 г. на отопление гаража-размораживателя израсходовано 4575 тыс. м³ коксового газа, приведенного к нормальным условиям. В среднем за г. удельный расход коксового газа на обогрев гаража-размораживателя составил 2,18 м³/т шихты, пошедшей на коксование (на 0,27 м³/т ниже, чем в предшествующем году). С учетом сезонности работы гаража-размораживателя и

количества размораживаемых углей удельный расход газа составляет 5,90 м³/т размораживаемых углей, что на 0,9 м³/т (на 13,3 %) ниже, чем в предшествующем периоде.

Основные причины достигнутого снижения – более благоприятные климатические условия, соблюдение рациональных параметров работы гаража в соответствии с инструкцией ПромтрансНИИпроекта, дифференциация времени пребывания углей в гараже в зависимости от степени их смерзания, поддержание пониженной температуры в гараже и топке во время нахождения гаража в горячем резерве (без вагонов).

Коксовый цех Основные источники энергопотребления в цехе – коксовые машины, стационарные установки беспылевой выдачи кокса, механизмы, транспортеры и вентиляционно-аспирационные системы коксортировок. Удельный расход электроэнергии на производство 1 т валового кокса составил 5,39 кВт·ч, что несколько ниже планового показателя (6 кВт·ч). Следует отметить, что в последние десятилетия данный показатель возрос на 20-30 %. Основные причины этого – увеличение расхода электроэнергии на вентиляционные установки стационарных УБВК и коксортировок (для обеспечения требуемых экологических показателей и норм охраны труда), а также удельное увеличение энергопотребления механизмами и конвейерами коксортировок в связи с увеличением периодов коксования и времени между двумя последовательными печевыдачами по батарее.

Удельный расход электроэнергии на производство 1 т валового кокса в 2007 г. составил 4,2 кВт·ч, что несколько ниже

планового показателя (5 кВт·ч) и фактических данных за предшествующий г. (5,39 кВт·ч). Основные факторы, способствующие снижению удельного расхода электроэнергии на производство кокса – вынужденная замена стационарных установок беспылевой выдачи кокса менее энергоемкими передвижными, а также соблюдение технологических требований при эксплуатации коксовых печей, что дает возможность уменьшить силу тока приводов выталкивающих штанг на коксовыталкивателях, снизить количество бурений и несерийных печей и за счет этого уменьшить переезды коксовых машин. В целом же потребление электроэнергии в коксовом цехе соответствует среднему уровню по подотрасли для предприятий, имеющих стационарные УБВК и работающих на удлинённых периодах коксования. Периоды коксования на батареях ОАО «Запорожжкокс» составляют: КБ № 1 – 22,8 ч, КБ № 2 – 20,4 ч, КБ № 5 – 17,5 ч, КБ № 6 – 17,6 ч.

Основной источник водопотребления в цехе – цикл мокрого тушения кокса. В этот цикл направляется сточная производственная вода после ее биохимической очистки. Общий уровень водопотребления определяется в первую очередь безвозвратными потерями воды на тушение (испарение воды и увлажнение кокса). Эти потери за 2006 г. составили 0,518 м³/т кокса, а в 2007 г. – 0,571 м³/т, что соответствует средним значениям по подотрасли (0,45-0,55 м³/т).

Основным стационарным источником выбросов парниковых газов при коксовании угольной шихты является обогрев коксовых печей. В среднем за 2006 и 2007 гг. расход тепла на коксование характеризуется данными, приведенными в табл. 1.

Таблица 1

Расход тепла на коксование

Батарея	Расход тепла на коксование				Расход газа на обогрев, м ³ /т шихты	
	МДж/кг шихты		ккал/кг шихты		2006 г.	2007 г.
	2006 г.	2007 г.	2006 г.	2007 г.		
1	3,54	3,67	845	876	211	217
2	3,52	3,41	840	814	210	202

5	2,72	2,71	649	647	162	160
6	2,76	2,75	659	656	165	163
В целом по цеху	3,23	3,13	772	747	193	185

Из этих данных видно, что расход тепла на коксование в целом в 2007 г. по сравнению с предшествующим г. снизился на 0,1 МДж/кг, в первую очередь за счет батарей №№ 2, 5 и 6. Основным фактором, способствовавшим такому снижению в условиях эксплуатации на удлиненных периодах коксования батарей, выработавших свой проектный ресурс, явился большой объем работ по поддержанию технической готовности печного фонда. В частности, систематически проводятся горячие ремонты кладки камер коксования, перекладка отопительных простенков на глубину 4-6 вертикалов, замена выстилки верха печей, ремонт смотровых шахточек, торкретирование и герметизация швов дюзовых каналов, уплотнение газоздушных клапанов.

Расход тепла на коксование в целом выше, чем по другим лучшим предприятиям подотрасли. Следует отметить две основные причины увеличенного расхода тепла на коксование:

1. Батарей ОАО «Запорожжкокс» находятся в эксплуатации 20-27 лет. Наличие дефектов кладки в камерах коксования, отопительных вертикалах, неплотности шва скольжения между шамотной и dinasовой кладкой в зоне колосниковой решетки, зоны газоздушных клапанов (в том числе патрубков и зеркал регенераторов) приводят к непроизводительному расходованию отопительного газа, перетокам его и продуктов сгорания с восходящего на нисходящий поток, увеличению потерь тепла с продуктами сгорания, направляемыми на дымовую трубу. В связи с этим систематически проводимые в коксовом цехе мероприятия по уплотнению швов скольжения и зоны газоздушных клапанов позволяют уменьшить расход тепла на коксование, так как приводят к снижению коэффициента избытка воздуха, количества продуктов сгорания и их энтальпии на выходе из отопительной системы.

2. Эксплуатация на удлиненных периодах коксования приводит к увеличению доли потерь наружными теплоотдающими поверхностями батарей в окружающую среду.

Отмеченные причины подтверждаются практикой работы ОАО «Запорожжкокс» – батареи №№ 5 и 6 имеют меньший срок эксплуатации, лучшее техническое состояние и эксплуатируются на меньших периодах коксования по сравнению с батареями №№ 1 и 2. Поэтому и расход тепла на коксование для батарей №№ 5 и 6 на 180-220 ккал/кг шихты меньше, чем для батарей №№ 1 и 2.

Основные выбросы парниковых газов из стационарных источников в углеподготовительном и коксовом цехах происходят при сжигании коксового газа. При этом основным по массе парниковым газом является диоксид углерода. Количество образующегося CO_2 определяется в основном составом газа. Масса диоксида углерода, образующегося при сжигании 1 м³ коксового и других видов отопительных газов, может быть рассчитано по формуле:

$$M_{\text{CO}_2} = 0,01 \cdot 44(X_{\text{CH}_4} + 2,15X_{\text{C}_2\text{H}_6} + X_{\text{CO}} + X_{\text{CO}_2}) / 22,4 \quad (1),$$

где: 44 – молярная масса углекислого газа, кг/кмоль;

X_{CH_4} ; $X_{\text{C}_2\text{H}_6}$; X_{CO} ; X_{CO_2} – объемные (мольные доли) соответствующих компонентов в отопительном газе, %;

2,15 – стехиометрический коэффициент для CO_2 при сжигании смеси непредельных углеводородов, условно принятой состоящей из 85 % этилена и 15 % пропилена;

22,4 – объем одного киломоля идеального газа при 0 °С и 101,3 кПа, м³.

Средний объемный состав коксового газа ОАО «Запорожжкокс» за 2006 г., %: H_2 – 56,4; CH_4 – 26,2; O_2 – 1,0; N_2 – 4,3; C_mH_n – 2,4; CO – 7,2; CO_2 – 2,5.

Масса углекислого газа, образующегося при сжигании 1 м³ коксового газа для условий ОАО «Запорожжкокс»:

$$MCO_2 = 0,01 \cdot 44(26,2 + 2,15 \cdot 2,4 + 7,2 + 2,5) / 22,4 = 0,807 \text{ кг/м}^3 \text{ газа.}$$

Средний объемный состав коксового газа ОАО «Запорожжкокс» за 2007 г., %: Н₂ – 56,3; СН₄ – 26,9; О₂ – 1,1; N₂ – 4,6; С_мН_п – 2,1; СО – 6,7; СО₂ – 2,3.

Масса углекислого газа, образующегося при сжигании 1 м³ коксового газа для условий ОАО «Запорожжкокс»:

$$MCO_2 = 0,01 \cdot 44(26,9 + 2,15 \cdot 2,1 + 6,7 + 2,3) / 22,4 = 0,794 \text{ кг/м}^3 \text{ газа.}$$

С учетом этого рассчитаны величины выбросов парниковых газов из стационарных источников углеподготовительного и коксового цехов ОАО «Запорожжкокс» за 2006 и 2007 гг., которые представлены в табл. 2. Как видно из этих данных, средние за г. выбросы парниковых газов по углекоксовому блоку превышают 1000 т/сутки.

С точки зрения образования парниковых газов коксовый газ является наиболее благоприятным видом топлива по сравнению с другими видами топлив, так как примерно на 60 % состоит из водорода, при сгорании которого парниковые газы не образуются. Поэтому выбросы парниковых газов на единицу полученного тепла при сжигании коксового газа в несколько раз меньше, чем при сжигании других видов газообразных, жидких и твердых топлив.

Таблица 2

Выбросы парниковых газов из стационарных источников углеподготовительного и коксовых цехов ОАО «Запорожжкокс»

Объект	Расход газа, м ³ /т шихты		Объем переработки шихты, тыс.т/год		Выбросы парниковых газов, тыс. т/год	
	2006 г.	2007 г.	2006 г.	2007 г.	2006 г.	2007 г.
Гараж-размораживатель	2,45	2,18	2,36	2,10	4,7	3,64
Коксовые батареи всего	193	185	2,36	2,19	366,2	332,9
В том числе:						
№ 1	211	217	0,683	0,639	0,116	0,110
№ 2	210	202	0,788	0,747	0,134	0,120
№ 5	162	160	0,442	0,402	0,578	0,511
№ 6	165	163	0,440	0,401	0,586	0,519
Итого по углекоксовому блоку	-	-	-	-	370,9	336,6

Как видно из данных табл. 2, в целом за 2007 г. выбросы парниковых газов по углекоксовому блоку составили 336550 т, что на 34321 т (9,3 %) меньше, чем в 2006 г. – главным образом за счет уменьшения производительности предприятия и расхода коксового газа на коксование одной тонны шихты.

Цех улавливания Основными потребляющими коксовый газ агрегатами в цехе улавливания являются трубчатые печи для

нагрева насыщенного поглотительного масла перед дистилляцией бензола от 88-93 °С после масляных теплообменников до 140-150 °С в соответствии с технологическим регламентом. Текущие значения температуры подогретого масла за 2006 г. находились в интервале 125-154 °С. Минимальные значения температуры соответствуют январю 2006 г., когда в связи с аномально низкой температурой окружающего воздуха (до -32 °С) резко ухудшились условия эксплуатации оборудования в основных производственных цехах и возрос

расход коксового газа на обогрев технологических агрегатов. В результате снизилось давление обратного коксового газа перед трубчатыми печами, что привело к недостаточному подогреву насыщенного поглотительного масла перед дистилляцией бензольных углеводородов.

Расход обратного коксового газа на обогрев трубчатых печей за 2006 г. составил $0,0275 \text{ м}^3/\text{м}^3$ очищенного от сырого бензола прямого коксового газа, что на 4,4 % меньше планового значения ($0,0288 \text{ м}^3/\text{м}^3$). За 2007 г. этот показатель составил $0,0279 \text{ м}^3/\text{м}^3$ очищенного от сырого бензола прямого коксового газа, что на $0,0031 \text{ м}^3/\text{м}^3$ (10 %) меньше планового значения ($0,031 \text{ м}^3/\text{м}^3$). По отношению к количеству выработанного сырого бензола фактический расход коксового газа на обогрев трубчатых печей составил $751 \text{ м}^3/\text{т}$ сырого бензола, что, хотя и меньше планового расхода ($787 \text{ м}^3/\text{т}$), тем не менее несколько превышает аналогичные значения для ряда других предприятий подотрасли ($550\text{-}600 \text{ м}^3/\text{т}$) в предшествующие годы (2000-2005 гг.). Это связано в первую очередь с неблагоприятными климатическими условиями первого квартала 2006 г. и с отмеченными выше осложнениями в работе бензольного отделения и предприятия в целом. В 2007 г. расход коксового газа составил $928 \text{ м}^3/\text{т}$ сырого бензола, что на $177 \text{ м}^3/\text{т}$ (23,6 %) больше, чем в 2006 г. Основная причина этого – снижение объемов производства сырого бензола в 2007 г. по сравнению с 2006 г. на 6,4 %, в первую очередь в связи со снижением объемов переработки шихты.

Общее производство сырого бензола за 2006 г. составило 26573 т, в трубчатых печах израсходовано 19956 тыс м^3 коксового газа (приведенного к $0 \text{ }^\circ\text{C}$, 101,3 кПа и $16,76 \text{ МДж}/\text{м}^3$). Общее производство сырого бензола за 2007 г. составило 22879,291 т, в трубчатых печах израсходовано 23094 тыс м^3 коксового газа (приведенного к $0 \text{ }^\circ\text{C}$, 101,3 кПа и $16,76 \text{ МДж}/\text{м}^3$).

В сульфатном отделении нагрев сушильного агента производится паровым

способом, поэтому коксовый газ в сушилках для сульфата аммония не используется.

Переработка каменноугольной смолы В *отделении ректификации смолы* коксовый газ используется в трубчатых печах для подогрева смолы перед ректификацией. По данным технического отчета за 2006 г. температура смолы после первой ступени нагрева составила в среднем $115 \text{ }^\circ\text{C}$, что соответствует нижней границе нормы, установленной технологическим регламентом ($115\text{-}135 \text{ }^\circ\text{C}$). После второй ступени смола нагревается до $390\text{-}400 \text{ }^\circ\text{C}$, что также соответствует нормам технологического регламента ($380\text{-}410 \text{ }^\circ\text{C}$).

Общий удельный расход коксового газа в трубчатых печах для подогрева смолы перед ректификацией составил за 2006 г. в среднем $62 \text{ м}^3/\text{т}$ смолы, за 2007 г. в среднем $63 \text{ м}^3/\text{т}$ смолы. Это на $14 \text{ м}^3/\text{т}$ (18,4 %) ниже норматива, установленного для предприятия на 2006 г. ($76 \text{ м}^3/\text{т}$) и на $12 \text{ м}^3/\text{т}$ (16 %) ниже норматива, установленного для предприятия на 2007 г. ($75 \text{ м}^3/\text{т}$) и соответствует лучшим показателям среди предприятий подотрасли.

В целом переработка смолы за 2006 г. составила по предприятию 164768,5 т, приведенный расход коксового газа на обогрев трубчатых печей – 10216 тыс м^3 .

Приведенный расход коксового газа на обогрев *пекококсовых печей* за 2006 г. составил $242 \text{ м}^3/\text{т}$ пекового кокса, за 2007 г. – $228 \text{ м}^3/\text{т}$ пекового кокса, что на $8 \text{ м}^3/\text{т}$ (3,2 %) и $22 \text{ м}^3/\text{т}$ (8,8 %) меньше установленных на предприятии плановых значений ($250 \text{ м}^3/\text{т}$). Повышенная продолжительность оборота пекококсовых печей (25 ч в среднем за год) является главным фактором, способствующим некоторому увеличению расхода газа на коксование пека. В 2007 г. удельный расход коксового газа снизился на $14 \text{ м}^3/\text{т}$ пекового кокса, или на 5,8 %. Основным фактором, способствующим этому в условиях повышенных периодов коксования, явилось соблюдение требований правил технической эксплуатации и уход за пекококсовыми печами.

В целом за 2006 г. произведено 46714 т валового пекового кокса, расход коксового газа на обогрев коксовых печей составил 11305 тыс м³; за 2007 г. – 46714 т валового пекового кокса, расход коксового газа на обогрев коксовых печей составил 11305 тыс м³.

Вспомогательные цехи Во вспомогательных цехах ОАО «Запорожжкокс» коксовый газ используется для обогрева котлов ТЭЦ. По данным технических отчетов за 2006 г., приведенный расход газа на обогрев котлов ТЭЦ составил 152157 тыс м³, в 2007 г. – 146182 тыс м³.

Количество парниковых газов (в первую очередь СО₂), образующихся при сжигании коксового газа на ОАО «Запорожжкокс», составило в 2006 г. 0,807 кг/м³ газа, а в 2007 г. – 0,794 кг/м³ газа. С учетом этого рассчитаны величины выбросов парниковых

газов из стационарных источников химических и вспомогательных цехов ОАО «Запорожжкокс», представленные в табл. 3.

Как видно из этих данных, средние за год выбросы парниковых газов в химических и вспомогательных цехах более чем вдвое ниже по сравнению с углекоксовым блоком. С другой стороны, они превышают 400 т/сутки. Общий объем выбросов парниковых газов в 2007 г. от стационарных источников ОАО «Запорожжкокс» на 38488 т ниже, чем в предшествующем году. Удельный уровень выбросов также снизился и составил 0,223 т/т переработанной шихты. В условиях действующего производства это достигнуто в основном за счет достаточно высокого уровня эксплуатации, способствующего снижению удельных расходов коксового газа на единицу объемов производства (переработки сырья или выхода продукции).

Таблица 3

Выбросы парниковых газов из стационарных источников химических и вспомогательных цехов ОАО «Запорожжкокс»

Объект	Удельный расход газа, м ³		Объем производства, тыс т/год		Расход газа, тыс м ³ /год		Выбросы парниковых газов, т/год	
	2006 г.	2007 г.	2006 г.	2007 г.	2006 г.	2007 г.	2006 г.	2007 г.
Цех улавливания – трубчатые печи для нагрева насыщенного поглотительного масла	751 м ³ /т сырого бензола	928 м ³ /т сырого бензола	26,6	22,9	19956	23094	16104	18337
Централизованная переработка смолы:								
Трубчатые печи для нагрева смолы перед ректификацией	62 м ³ /т смолы	63 м ³ /т смолы	164,8	158,3	10216	10048	8244	7978
Обогрев пекококсовых печей	242 м ³ /т пекового кокса	228 м ³ /т пекового кокса	46,7	53,3	11305	12217	9123	9700
Итого по ЦСПП	-	-	-	-	21521	21521	17367	17678
ТЭЦ – котлы	-	-	-	-	152157	146182	122791	116069
Всего	-	-	-	-	190797	156261	152084	

Были разработаны рекомендации по снижению уровня энергопотребления и выбросов парниковых газов для ОАО

«Запорожжкокс». Часть из них рассчитана на более или менее длительную перспективу для реализации на различных этапах

реконструкции и технического перевооружения завода, а часть может быть реализована в ближайшее время на действующих коксовых батареях. Рекомендации, касающиеся электроэнергии, направлены не только на снижение уровня ее потребления, но и на расширение объемов ее генерации (одновременно с тепловой энергией), а в перспективе – на превращение ОАО «Запорожжкокс» из энергопотребляющего в энергогенерирующее предприятие.

Основные рекомендации по снижению уровня энергопотребления и выбросов парниковых газов следующие:

1. *Окончание строительства закрытого склада угля.* Удельный расход электроэнергии при усреднении в условиях закрытого склада на 20-30 % ниже, чем на открытом складе, так как отсутствуют операции перегрузок угля (при формировании первичного и основного штабеля, выдаче угля со склада). При совмещении закрытого склада с дозирочным отделением сокращается объем транспортирования угля с помощью конвейеров. Кроме того, практически полностью исключаются неорганизованные выбросы угля в результате пыления.

2. *Компьютеризация шихты перед коксованием* также является энергосберегающей технологией, так как по сравнению с промышленно освоенным аналогом (частичным брикетированием шихты на батареях №№ 5 и 6 Криворожского КХЗ в конце 80-х – начале 90-х годов XX века) позволяет исключить затраты электрической и тепловой энергии на операции со связующим и на 10-15 % уменьшить затраты электроэнергии брикетными прессами.

3. *Предварительный отсев мелких классов перед дроблением шихты* является надежно проверенным в промышленности техническим решением, позволяющим на 30-50 % снизить нагрузку на дробилки, что является предпосылкой для снижения потребляемой ими мощности на 15-30 %.

4. Мероприятия, направленные на *дополнительное снижение расхода газа на гараж-размораживатель:*

– ограничение температуры теплоносителя перед эксгаустерами до 400 °С и перед дымососами до 200 °С;

– температура в камере сгорания топки 900-950 °С;

– систематический контроль герметичности фланцевых и сварных соединений газопровода и оперативное устранение выявленных неплотностей;

– температуру в секциях гараж-размораживателя в состоянии готовности (при отсутствии вагонов) необходимо поддерживать в пределах 50-60 °С, а температуру в камере сгорания топки в это время снижать до 850-900 °С;

– продолжительность размораживания должна дифференцироваться в зависимости от влажности, температуры и степени смерзания угля в вагонах.

5. *Реконструкция печного фонда* позволит кардинально решить несколько проблем, в т.ч. и в энергопотреблении. Будет обеспечен расход тепла на коксование на уровне лучших отечественных и зарубежных предприятий. Одновременно с этим будет решен ряд важных технологических и экологических вопросов. Гипрококсом на основании исходных данных УХИНа выполнен проект реконструкции батареи № 1 с увеличением полезного объема камеры до 42,4 м³ и доведением производительности батареи до 1 млн. т в год кокса валового (в пересчете на 6 %-ную влажность). Проектом предусмотрено коксование компактированной шихты (что позволит увеличить производительность батареи). Сухое тушение получаемого кокса дает возможность рекуперировать до 40 % тепла, затраченного на коксование, и трансформировать его в тепловую (пар) и электрическую энергию.

6. Реализация системы *дифференцированного подвода тепла* в камеру коксования в соответствии с плотностью и массой загрузки, находящейся в различных зонах по длине камеры коксования. Существующие методы расчета регулировочных средств учитывают изменение массы загрузки в различных зонах камеры коксования лишь за счет конусности камеры. Изменение массы за счет плотности

загрузки практически не учитывается. Поэтому расход газа на обогрев печей, как правило, устанавливается с запасом по максимальной плотности. УХИНОм разработана конструкция датчика для непосредственного измерения плотности засыпи в различных зонах камеры коксования, а также в бункерах и штабелях. Реализация системы дифференцированного подвода тепла даст возможность сократить расход коксового газа на обогрев печей на 1,5-2,0 м³/т шихты. Это позволит сэкономить до 4 млн. м³ коксового газа в год.

8. Рациональный теплотехнический режим *крайних и предкрайних вертикалов*. В печах системы ПВР крайний и предкрайний вертикалы образуют сопряженную пару. Тепловые потери в зоне крайнего вертикала максимальные по длине простенка, поэтому для их компенсации в крайний вертикал необходимо подводить на 20-40 % тепла больше, чем в остальные. Однако такое же количество тепла подается и в предкрайний вертикал, что приводит к дополнительному расходу тепла на коксование, перегреву кладки и ее ускоренному разрушению. В рамках существующей конструкции отопительной системы уменьшить расход тепла на предкрайний вертикал невозможно. Разработка и внедрение устройств для подачи воздуха и бедного отопительного газа в крайние и предкрайние вертикалы коксовых печей позволит обеспечить рациональные температурные режимы различных отопительных каналов и требуемый прогрев загрузки по всему объему камеры коксования. Принцип работы устройств основан на создании дополнительного гидравлического сопротивления на пути подачи воздуха или бедного газа в предкрайний вертикал. В результате количество воздуха или газа, подаваемого в крайний и предкрайний вертикалы, становится различным. Это способствует увеличению производительности батарей, улучшению качества производимого кокса, условий труда и экологических показателей. Расход тепла на коксование снижается на 1,0-1,5 %.

9. Оперативная *диагностика* состояния огнеупорной кладки и своевременное проведение *ремонтов*. Работы в этом направлении систематически ведутся на заводе. Для обеспечения нормальной эксплуатации коксовых печей, имеющих сверхнормативный срок службы, проводится систематическая диагностика технического состояния кладки отопительной системы путем контроля составов продуктов сгорания по методике, разработанной совместно заводом и УХИНОм. По результатам такой диагностики определяются зоны наибольших неплотностей и намечаются участки для первоочередного проведения целевых профилактических ремонтов.

10. Одним из основных энергопотребляющих участков в современных коксовых цехах являются *установки беспылевой выдачи кокса*. При этом передвижные установки характеризуются значительно меньшим энергопотреблением, чем стационарные. С этой точки зрения целесообразно внедрение на батареях №№ 5 и 6 новой передвижной установки взамен практически полностью изношенной стационарной.

11. Использование высвобождающихся ресурсов коксового газа для *увеличения количества генерируемой электрической и тепловой энергии* на ТЭЦ завода, в том числе с поэтапным наращиванием количества котлов.

12. *Утилизация низкопотенциального тепла* продуктов сгорания, покидающих отопительную систему коксовых печей. В данном вопросе ОАО «Запорожкокс» занимает передовые позиции в нашей стране и в мире.

Из отопительных систем коксовых батарей предприятий Украины ежегодно сбрасывается в атмосферу около 33,5 млрд. м³ (н.у.) продуктов сгорания с температурой 260-350 °С. Их суммарная энтальпия составляет ~2,37 млн. Гкал. Это приводит к заметному загрязнению окружающей среды – как тепловому, так и химическому (пыль, оксиды углерода и азота и т.п.).

Термодинамические расчеты свидетельствуют, что около 40 % энтальпии продуктов

сгорания (~1 млн. Гкал) может быть преобразовано в пригодную для потребления тепловую либо электрическую энергию. Это, в свою очередь, позволит экономить ежегодно в масштабах страны значительное количество более ценных энергоносителей, например, более 100 млн. м³ природного газа.

Впервые в нашей стране решения, связанные с утилизацией низкопотенциального тепла продуктов сгорания в топливопотребляющих агрегатах, в частности, на установке теплового обезвреживания и утилизации тепла дымовых газов коксовых батарей, реализованы на батарее № 1-бис ОАО «Запорожжкокс» (начиная с 2002 г.). Почти пятилетний успешный опыт эксплуатации данной установки свидетельствует о целесообразности реализации аналогичных решений на других батареях завода и других предприятиях подотрасли.

13. *Химическое использование коксового газа.* В настоящее время коксовый газ главным образом используется как энергетическое топливо, хотя он более чем на 90 % состоит из соединений, которые могут быть использованы для органических синтезов. Основным компонентом коксового газа является водород. Однако для большинства процессов органического синтеза, кроме водорода, необходим еще и оксид углерода CO. В то же время углерод в коксовом газе находится преимущественно в виде метана. Поэтому для использования коксового газа в органическом синтезе необходима предварительная конверсия метана. Конвертированный газ может быть затем использован для получения метанола, других спиртов (с количеством атомов углерода в молекуле от 2 до 20), углеводов (по Фишеру-Тропшу), альдегидов и кетонов. Избыточное количество водорода после осуществления химических взаимодействий может быть использовано для сжигания в энергетических установках.

Для условий ОАО «Запорожжкокс» также представляет интерес смешивание продуктов конверсии с ферросплавным газом, состоящим более чем на 80 % из CO и содержащим всего несколько процентов водорода.

Использование коксового газа для органических синтезов является актуальным прежде всего в связи с тем, что в настоящее время для таких синтезов используется главным образом импортный природный газ.

В начале 90-х годов УХИНОм, Гипрококсом и Институтом химтехнологии были выполнены проработки технологии производства метанола на базе избыточного коксового газа для ряда предприятий подотрасли, в частности ОАО «АКХЗ» и ОАО «Запорожжкокс». При мощности потока коксового газа 100 тыс. м³/ч (н.у.) годовой объем производства метанола составит 340 тыс. т. Затем, с использованием технологии Мобил, возможно получение 120 тыс. т бензина в год. Однако, имеющиеся в настоящее время на предприятиях избытки коксового газа значительно меньше. Поэтому строительство подобных установок может быть осуществлено только при условии максимального использования производственных мощностей по коксу и замены коксового газа при его использовании на предприятии на доменный газ. Необходимым условием реализации этих технологий является осуществление предварительной глубокой очистки коксового газа от сероводорода и бензольных углеводородов на специальных сооружениях в голове газового тракта.

Для предприятий, имеющих относительно небольшие избытки коксового газа, может представлять интерес использование их как компонента горючей смеси в двигателях внутреннего сгорания. Работы в этом направлении проводились в начале 90-х годов в харьковском Институте проблем машиностроения НАН Украины, УХИНе, ЮжНИИГипрогазе (г. Донецк). Отработку технологии проводили на опытных установках Харьковского коксового завода. Были успешно проведены ходовые испытания легковых автомобилей, двигатели которых работали с использованием компримированного очищенного коксового газа.

Для реализации результатов работ необходимо внедрение технологий углубленной очистки газа на коксохимических предприятиях, создание автогазонаполнитель-

ных компрессорных станций (АГНКС), а также оснащение двигателей специальным устройством для создания горючей смеси на основе газа и бензина. Это позволит сократить потребление бензина, а также обеспечить снижение выбросов вредных веществ в атмосферу на сбросных устройствах заводов и из выхлопных труб автотранспорта за счет повышения степени очистки газа по сравнению с существующей и в результате более полного сгорания топлива с меньшей молекулярной массой в двигателях внутреннего сгорания.

Таким образом, разработаны рекомендации по снижению уровня энергопотребления и выбросов парниковых газов от стационарных источников углеподготовительного и коксового цехов ОАО «Запорожжкокс».

Если объем коксового газа, который дополнительно появится за счет внедрения

энергосберегающих технологий, направить на производство электроэнергии на коксохимических заводах, то появится возможность уменьшить выбросы парниковых газов на ТЭЦ (использующих энергетический уголь). Причем использование 10000 м³/час коксового газа позволит выработать 12-13 МВт×час электроэнергии, что в свою очередь уменьшит выбросы парниковых газов ТЭЦ на 120 тыс. т в год.

Если этот же объем коксового газа вместо сжигания использовать для химического синтеза органических веществ, то уменьшение выбросов загрязняющих веществ составит в среднем по СО – 88 т/год, по сернистому ангидриду – 165 т/год, по оксидам азота – 100 т/год, по парниковым газам – 63 тыс. т/год.

Рукопись поступила в редакцию 12.01.2009