УДК 53.072

РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ И ТЕПЛООБМЕНА В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ГАЗОВЫХ СМЕСЯХ В ПРИЛОЖЕНИИ К УСТРОЙСТВАМ СЖИГАНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКИ АНОДНЫХ ГАЗОВ ЭЛЕКТРОЛИЗНОГО ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ

Необъявляющий П.А.[1,2], Дектерев А.А.[2,3], Литвинцев К.Ю.[2]

[1]*ООО «ТОРИНС», г. Красноярск, Россия*
[2]*Институт Теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск, Россия*
[3]*Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия*

АННОТАЦИЯ

В работе представлены результаты комплексного расчетно-экспериментального исследования аэродинамики и теплообмена в сложных канальных газоходах и горелочных устройствах систем транспортировки и термического обезвреживания анодных газов алюминиевого производства. Расчеты проводились на программном комплексе «σFlow» и «Star CCM+», предназначенном для решения задач вычислительной гидродинамики. На основе вычислительных экспериментов проведена оптимизация конструкции элементов системы обезвреживания и транспортировки анодного газа.

ВВЕДЕНИЕ

Для получения первичного алюминия широко используется способ, основанный на электрохимическом разложении глинозема в электролизных ваннах. Наиболее распространенными типами электролизеров, используемыми в алюминиевом производстве, являются электролизеры с самообжигающимися анодами (электролизер «Содерберга») и электролизеры с обожженными анодами.

При производстве алюминия в электролизере «Содерберга» анодные газы, выделяющиеся из ванны, улавливаются укрытиями колокольного типа и эвакуируются через горелочные устройства в газосборную сеть системы газоочистки электролизного корпуса. Основную роль в обезвреживании вредностей, содержащихся в анодном газе, играют дожигательные горелочные устройства, установленные на выходе из электролизеров [1].

При производстве алюминия в электролизере с обожженным анодом газы, выделяющиеся из ванны, при выходе из-под глиноземной корки частично дожигаются в пространстве под укрытием электролизера, улавливаются и через балку-коллектор удаляются в газосборную сеть системы газоочистки электролизного корпуса. Основная роль в процессе обеспечения санитарно-экологических требований отводится системе сбора и эвакуации газов от электролизера, т.е. устройству балки-коллектора.

Проведенные исследования существующих на данный момент в России систем газоудаления от электролизных ванн алюминиевого производства показали, что не удовлетворяются требования, предъявляемые к подобного рода конструкциям. Они не обеспечивают экологические параметры, как в рабочей зоне корпуса, так и на выходе из системы газоочистки.

Отсутствие адекватных нормативных методик инженерных расчетов течений в сложных каналах с теплообменом и горением наряду с появлением дешевых и доступных вычислительных систем высокой производительности привело к тому, что при проектировании, исследовании и наладке технологического оборудования все более широко применяется математическое моделирование, основанное на физических законах, описывающих процессы аэродинамики, теплообмена и химического реагирования. Совместное использование математического моделирования, физического эксперимента и натурных испытаний дает воз-

можность получить наиболее полную и достоверную информацию об объекте исследования.

Следует отметить ужесточение требований к уровню выбросов экологически вредных веществ и удорожание топлива и электроэнергии, что приводит к необходимости совершенствования высокотемпературных аппаратов. Расчетное исследование физико-химических процессов позволяет существенно сократить временные и материальные затраты на проведение физического эксперимента при моделировании исследуемых объектов.

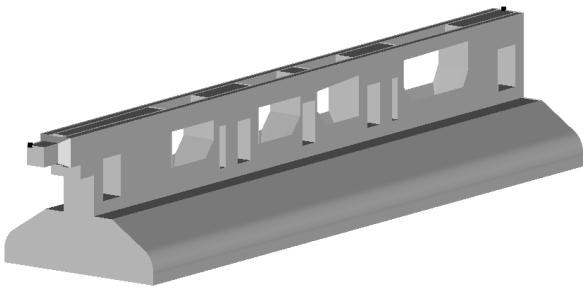
Цель настоящей работы заключается в комплексном, расчетно-экспериментальном исследовании аэродинамики и теплообмена в сложных канальных газоходах и горелочных устройствах систем транспортировки и термического обезвреживания анодных газов алюминиевого производства, оптимизации режимов работы и конструкций этих устройств.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

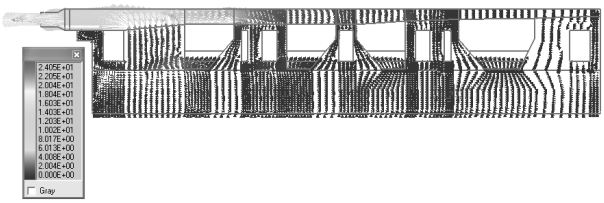
Для численного моделирования использовались CFD программные комплексы SigmaFlow [2] и Star CCM+. Оба комплекса, коммерческий - Star CCM+, и собственной разработки SigmaFlow основаны на методе конечного объема и позволяют моделировать широкий класс сложных технологических задач.

В ходе реализации работы были выполнены следующие задачи:

- разработана математическая модель процессов аэродинамики, тепломассообмена в многосвязных канальных газоходах сложной конфигурации и в горелочных устройствах для дожигания анодного газа, выделяющегося из электролизера в процессе производства алюминия;
- проведены натурные экспериментальные исследования теплофизических параметров газовых потоков в системах сжигания и транспортировки анодных газов для идентификации и адаптации (уточнения эмпирических коэффициентов) математической модели;
- выполнено численное исследование аэродинамики в сложных многосвязных канальных газоходах систем улавливания и транспортировки вредных газовых выбросов алюминиевых электролизеров с обожженными анодами (Рис. 1.), установлено влияние конструкции газоходов на эффективность удаления выбросов и на сопротивление конструкции газовым потокам, оптимизированы элементы исследуемых газоходов;
- выполнено численное исследование процессов тепломассообмена в горелочных устройствах электролизеров «Содерберга» (Рис. 2.), установлено влияние состава анодного газа и расхода эжектируемого воздуха, а также конструкции исследуемых устройств на эффективность улавливания, удаления и обезвреживания анодного газа алюминиевого производства.



а)

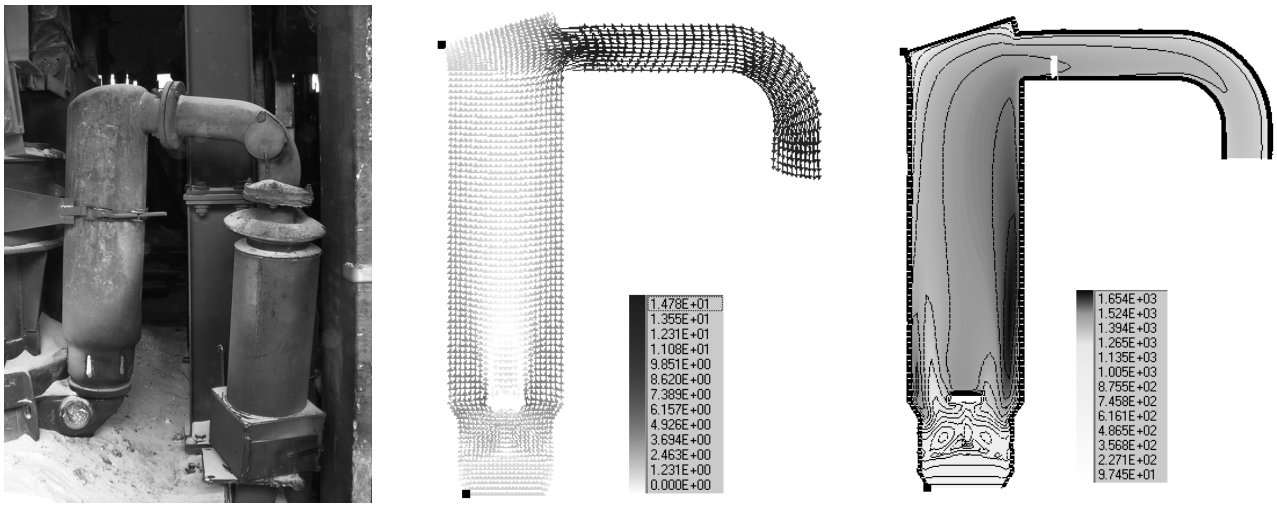


б)

Рис.1 Балка-коллектор электролизера с обожженным анодом: а) геометрия конструкции; б) поле скоростей в продольном вертикальном сечении.

- выполнено численное исследование процессов тепломассообмена в безгорелочных системах термического обезвреживания и удаления газов от электролизеров «Содерберга», показано, что безгорелочная конструкция позволяет увеличить КПД улавливания анодного газа и при этом эффективно дожигает вредности, содержащиеся в газе.

Т.о. в работе исследованы все типы систем улавливания, обезвреживания и транспортировки анодных газов, применяемых на российских заводах по производству пер-



а) б*)* *в)*

Рис.1 Горелочное устройство для дожигания анодных газов: а) вид горелки; б) поле скоростей в вертикальном сечении; в) поле температуры в вертикальном сечении.

вичного алюминия. В результате исследований выявлены недостатки существующих конструкций, разработаны рекомендации и технические решения по модернизации и оптимизации элементов и режимов работы исследуемых систем.

Разработанные оптимизированные конструкции горелочных устройств и новые конструкции балок коллекторов были реализованы в виде опытных образцов и испытаны в промышленных условиях. Предложенные конструкции имеют высокие рабочие и эксплуатационные показатели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пылегазовые выбросы алюминиевых электролизеров с самообжигающимися анодами: монография / Б. П. Куликов, Ю. И. Сторожев; М-во образования и науки Российской Федерации, Сибирский федеральный ун-т. - Красноярск: СФУ, 2012. - 267 с. Kulikov, B.P. and Storozhev, U.I. (2012). *Pylegazovye vybrosy aluminievykh elektrolizyorovs samoobzhigayushchimisya anodami* [Heat-gas emissions of aluminum electrolyzers with self-burning anodes]: monograph, Siberian federal university, Russia.

2. Дектерев А.А., Гаврилов А.А., Минаков А.В. Современные возможности CFD кода SigmaFlow для решения теплофизических задач // Сборник статей. Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. - 2010. № 2(4). стр. 117-122. Dekterev, A.A., Gavrilov, A.A. and Minakov A.V. (2010), “Contemporary possibilities of CFD code the SigmaFlow for the solution thermophysics problems”, Sovremennaya nauka: issledovaniya, idei, rezultaty, tekhnologii, no.2 (4), pp. 117–122.