

УДК: 681.523

**Канюк Геннадий Иванович**, д-р техн. наук, проф., декан энергетического факультета, Тел. +38-057-733-79-14.E-mail [gennadiyy-kanjuk@rambler.ru](mailto:gennadiyy-kanjuk@rambler.ru) (orcid.org/ORCID: 0000-0003-1399-9039)**Мезеря Андрей Юркевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика и энергосберегающие технологии». Тел.: (057)733-79-66 E-mail: [mezzer@mail.ru](mailto:mezzer@mail.ru) ORCID: (orcid.org/ORCID: 0000-0003-2946-9593)**Сердюк Александр Викторович**, аспирант**Бабенко Игорь Анатольевич**, аспирант

Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков, Украина. Ул. Университетская, 16, г. Харьков, Украина, 61003. Тел. (057) 733-78-03

### ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ АКТИВАТОРА ГОРЕНИЯ «АР-ГЕН-Ф» НА БЛОКЕ 200 МВТ ЗМИЕВСКОЙ ТЭС

В статье рассмотрен практический опыт применения активатора горения «АР-ГЕН-Ф» на блоке 200 МВт Змиевской ТЭС. Показаны характеристики работы котла блока 200 МВт с/без активатора в различных режимах нагрузок, определено влияние активатора на процесс горения и положительный эффект его использования. На основе испытаний сделаны выводы о практическом применении активатора горения «АР-ГЕН-Ф».

**Ключевые слова:** активатор горения, «АР-ГЕН-Ф», анакларид, энергосбережение, тепловая электростанция

**Канюк Геннадій Іванович**, д-р техн. наук, проф., декан енергетичного факультету, Тел. +38-057-733-79-14.E-mail [gennadiyy-kanjuk@rambler.ru](mailto:gennadiyy-kanjuk@rambler.ru) (orcid.org/ORCID: 0000-0003-1399-9039)**Мезеря Андрій Юрійович**, канд. техн. наук, доцент кафедри «Теплоенергетика та енергозберігаючі технології». Тел.: (057)733-79-66 E-mail: [mezzer@mail.ru](mailto:mezzer@mail.ru) ORCID: (orcid.org/ORCID: 0000-0003-2946-9593)**Сердюк Олександр Вікторович**, аспірант**Бабенко Ігор Анатолієвич**, аспірант

Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків, Україна. Вул. Університетська 16, м. Харків, Україна, 61003. Тел. (057) 733-78-03

### ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ АКТИВАТОРА ГОРІННЯ «АР-ГЕН-Ф» НА БЛОЦІ 200 МВТ ЗМІЇВСЬКОЇ ТЕС

У статті розглянуто практичний досвід застосування активатора горіння «АР-ГЕН-Ф» на блоці 200 МВт Зміївської ТЕС. Показано характеристики роботи котла блоку 200 МВт з/без активатора в різних режимах навантажень, визначено вплив активатора на процес горіння й позитивний ефект його використання. На основі випробувань зроблено висновки щодо практичного застосування активатора горіння «АР-ГЕН-Ф».

**Ключові слова:** активатор горіння, «АР-ГЕН-Ф», анакларид, енергозбереження, теплова електростанція

**Kaniuk Gennady Ivanovich**, Ph. D., Professor, Dean of the Faculty of Energy, Tel.: (057) 733-79-14, E-mail[gennadiyy-kanjuk@rambler.ru](mailto:gennadiyy-kanjuk@rambler.ru) (orcid.org/ORCID: 0000-0003-1399-9039)**Mezerya Andrey Jurevich**, Ph.D., Associate Professor, Department "Power engineering and energy saving technologies", E-mail: [mezzer@mail.ru](mailto:mezzer@mail.ru) ORCID (orcid.org/ORCID: 0000-0003-2946-9593)**Serdiuk Aleksandr Viktorovich**, graduate student**Babenko Igor Anatolievich**, graduate studentUkrainian Engineering and Pedagogical Academy, Kharkov, Ukraine. Str. University, 16, Kharkov, Ukraine, 61003  
Тел. (057) 733-78-03

### EXPERIENCE of APPLICATION of ACTIVATOR of BURNING of «AR-GEN-F» ON BLOCK 200 MVT ZMIEVSKOY TES

In the article practical experience of application of activator of burning of «AR-GEN-F» is considered on a block 200 MVT Zmievskey TES. Descriptions of work of caldron of block are rotined 200 MVT of s/bez activator in the different modes of loadings, influence of activator is certain on the process of burning and positive effect of his use. On the basis of tests conclusions are done about practical application of activator of burning of «AR-GEN-F».

**Keywords:** activator of burning, «AR-GEN-F», anaklarid, energy-savings, thermal power-station

#### Введение

В последнее десятилетие качество поставляемого на тепловые электростанции твердого топлива существенно улучшилось, однако состояние энергетического оборудования ТЭС остается критическим, поскольку вводы нового современного высокоэкономичного

оборудования практически отсутствуют, а работоспособность старого оборудования, неоднократно выработавшего свой проектный ресурс, поддерживается за счет традиционных капитальных ремонтов. Это не позволяет существенно улучшить технико-экономические показатели энергетической отрасли. В результате сегодня наши тепловые электростанции имеют одни из самых низких технико-экономических и экологических показателей в Европе, что не только приносит значительные убытки экономике страны, в том числе снижая конкурентоспособность отечественной продукции, но и создает большие проблемы для сохранения и наращивания экспорта электроэнергии.

Все сказанное в полной мере относится и к энергетическому оборудованию Змиевской ТЭС, в т. ч. к блокам 200 МВт, введенным в эксплуатацию в начале 60-х годов (первый энергоблок – в декабре 1959г., второй – в 1960 г.).

Увеличение объема сжигаемого твердого топлива, удорожание его добычи, при одновременном ухудшении качества добытого топлива, является одной из основных проблем современной теплоэнергетики и угольной отрасли и ставит на повестку дня вопросы существенного повышения эффективности его использования как за счет усовершенствования традиционных способов сжигания, так и за счет развития новых перспективных технологий.

Как известно, при традиционных способах сжигания топлива, вне зависимости от степени совершенства агрегатов, преобразующих теплоту сожженного топлива, существенная часть энергии топлива безвозвратно теряется в окружающую среду, что обусловлено особенностями термодинамических процессов, на основе которых работает та или иная традиционная система. Поэтому совершенствование традиционных способов сжигания топлива имеет свой теоретический предел, к которому они практически подошли. Одним из направлений решения этой проблемы является применение малозатратных технологий, основанных на использовании присадок-активаторов, дозировано вводимых в топку и улучшающих условия проведения топочного процесса [1].

Использование активаторов горения, при их положительном воздействии, особенно актуально для котлоагрегатов блоков 200 МВт, которые постоянно участвуют в покрытии переменной части графика потребления электрических нагрузок.

Научно-технический совет (секция «Электроэнергетика») Минэнергоуголь Украины на своем заседании от 19.01 2011г. принял решение о проведении комплексных теплотехнических испытаний котлоагрегата при сжигании топлива с добавками активаторов горения, а частности на одном из котлов типа ТП-100. Такие испытания в ноябре 2011 г. были проведены на котлоагрегате ТП-100 блока 200 МВт ст. № 1 Змиевской ТЭС. Испытания проводились в соответствии с утвержденными технической и рабочей программами проведения испытаний при сжигании в котле ТП-100 ст.№1 антрацитового штыба с добавкой активатора горения (анакларида «РА-ГЕН-Ф», разработанного киевским предприятием ООО «НПП «АДИОЗ») и без него.

**Целью испытаний** является определение влияния ввода анаклаарида на технико-экономические и экологические показатели работы котла, на возможность расширения эксплуатационного диапазона нагрузок котла с обеспечением устойчивости горения и выхода жидкого шлака, а также на исключение потребления подсвеченного топлива (природного газа) при длительном несении минимальной нагрузки блока  $N_3=130$  МВт и ниже.

#### **Краткая характеристика котлоагрегата**

С энергоблоком 200МВт ст. № 1 Змиевской ТЭС установлен парогенератор модели ТП-100 производства ОАО ТКЗ «Красный котельщик» производительностью  $D = 640$  т/ч, давление свежего пара  $P_0 = 13,7$  МПа, температура свежего пара  $t_0 = 545$  °С, температура промперегрева  $t_{\text{пр}} = 545$  °С и предназначен для работы в блоке с конденсационной турбиной К-200-130 номинальной мощностью 200 МВт с промперегревом пара. Парогенератор барабанного типа, Т-образной компоновки с однократным промежуточным перегревом пара, с негерметичным экранированием, с уравновешенной тягой, на докритическое давление.

Таблица 1

## Параметры топлива при вводе активаторов горения в первичный воздух

| № п/п | Наименование параметров  |  | Условные обозначения            | Единицы измерения | Электрическая мощность блока в режиме, $N_3$ , МВт |       |       |                                       |       |       |       |       |
|-------|--|--|---------------------------------|-------------------|--|-------|-------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|       |  |  |                                 |                   | 130  | 150   | 170   | 110                                   | 130   | 150   | 170   |       |
|       |  |  |                                 |                   | Условия проведения опытов                          |       |       |                                       |       |       |       |       |
|       |  |  |                                 |                   | Без анаклаида (базовый этап)                       |       |       | С вводом анаклаида в первичный воздух |       |       |       |       |
| 1     | 2  | 3  | 4                               | 5                 | 6  | 7     | 8     | 9                                     | 10    | 11    |       |       |
| 1     | Теплота сгорания низшая на рабочую массу топлива   | $Q_i^r$  | $\frac{\text{ккал}}{\text{кг}}$ | 5509              | 5165   | 5258  | 5620  | 5322                                  | 4919  | 5116  |       |       |
|       |  |  | $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$  | 23065             | 21625  | 22014 | 23530 | 22282                                 | 20595 | 21420 |       |       |
| 2     | Влажность топлива на рабочую массу   | $W^r$  | %                               | 9,0               | 9,2  | 10,2  | 8,4   | 9,6                                   | 11,9  | 6,4   |       |       |
| 3     | Зольность топлива на рабочую массу   | $A^r$  | %                               | 19,2              | 23,4   | 23,5  | 20,1  | 21,2                                  | 23,2  | 28,8  |       |       |
| 4     | Содержание серы на рабочую массу топлива   | $S^r$  | %                               | 1,2               | 1,3  | 1,0   | 1,8   | 1,6                                   | 1,6   | 2,2   |       |       |
| 5     | Выход летучих на сухую беззольную массу топлива  | $V^{daf}$  | %                               | 6,9               | 9,1  | 7,4   | 8,0   | 11,7                                  | 16,0  | 11,1  |       |       |
| 6     | Теплота сгорания высшая, отнесенная к рабочей массе топлива (расчетная)                        | $Q_s^r$  | $\frac{\text{ккал}}{\text{кг}}$ | 5640              | 5297   | 5396  | 5747  | 5456                                  | 5067  | 5232  |       |       |
|       |  |  | $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$  | 23612             | 22177  | 22591 | 24062 | 22844                                 | 21213 | 21903 |       |       |
| 7     | Теплота сгорания высшая, отнесенная к массе влажного беззольного состояния топлива (расчетная) | $Q_s^{af}$                                       | $\frac{\text{ккал}}{\text{кг}}$ | 6980              | 6915   | 7053  | 7193  | 6924                                  | 6597  | 7348  |       |       |
|       |  |  | $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$  | 29223             | 28952  | 29530 | 30116 | 28990                                 | 27621 | 30763 |       |       |
| 8     | Угольная пыль  | Остаток на сите $R_{90}$                         | ШБМ №А                          | $S_{90,A}$        | %  | 11,80 | 10,90 | 12,70                                 | 0,00  | 10,00 | 13,50 | 11,50 |
|       |  |  | ШБМ №Б                          | $S_{90,B}$        | %  | 13,50 | 14,00 | 13,50                                 | 10,50 | 10,90 | 14,80 | 15,40 |
| 9     | Угольная пыль  | Влажность пыли                                   | ШБМ №А                          | $W_A^a$           | %  | 0,50  | 0,560 | 0,60                                  | 0,30  | 0,70  | 0,70  | 0,70  |
|       |  |  | ШБМ №Б                          | $W_B^a$           | %  | 0,50  | 0,60  | 0,70                                  | 0,50  | 0,50  | 0,30  | 0,40  |
| 10    | Угольная пыль  | Выход летучих на сухую беззольную массу (циконы) | $V^{daf}$                       | %                 | 8,9  | 8,8   | 8,8   | 8,1                                   | 7,3   | 8,0   | 11,2  |       |

Котел модели ТП-100 рассчитан на сжигание антрацитового штыба (АШ) и тощего угля (Т) при жидком шлакоудалении, а также природного газа. Топка котла оборудована 16 круглыми турбулентными пылегазовыми двухулиточными горелками производительностью по углю 5,5 т/ч каждая. Горелки расположены встречно на боковых стенах полуптопок в два яруса.

**Порядок проведения испытаний. Результаты испытаний и их анализ**

Метод испытаний – эксперименты на натурном образце котла ТП-100 без и с

добавлением анаклаида с использованием основных технических измерений в соответствии с методикой выполнения измерений (МВИ) [2–8].

Наряду со стандартной газоаналитической аппаратурой в опытах использовались современные газоанализаторы иностранного производства (например, измерение концентраций оксидов углерода и азота).

Испытания проводились согласно программе в два этапа:

– 1-й этап – испытания котельной установки на трех нагрузках  $N_3 = 130, 150$  и  $170$  МВт без ввода анаклаида, т. е. на эксплуатационных режимах (для удобства при анализе результатов назовем его базовый этап);

– 2-й этап – испытания котельной установки в сопоставимых с базовым этапом условиях при тех же трех нагрузках, но с вводом анаклаида.

На каждом из этапов программой предусматривается проведение эксперимента по определению технического минимума нагрузки котла по условиям устойчивости горения и выхода жидкого шлака (без анаклаида и с вводом анаклаида). Этот эксперимент особенно важен для выявления одной из основных маневренных характеристик котла – регулировочного диапазона его нагрузок ( $\Delta D$ ), определяемого уровнем ее максимального и минимального значений:  $\Delta D = D_{\max} - D_{\min}$ .

Для выполнения испытаний с вводом анаклаида специалистами ООО «НПП «Адиоз» был произведен монтаж схемы подачи анаклаида с расположением установки на отметке 9,00 м. возле коробов первичного воздуха. Ввод анаклаида производился в короба первичного воздуха за вентиляторами горячего дутья (первичного воздуха). Подача его осуществлялась автоматически в зависимости от расхода питательной воды на котел двумя насосами – дозаторами.

Результаты испытаний котла по каждой из программных нагрузок каждого этапа приведены ниже в табл. 2.

Таблица 2

Результаты испытаний котла по каждой из программных нагрузок

| № п/п                  | Наименование параметров  | Условные обозначения | Единицы измерения | Электрическая мощность блока в режиме, $N_3$ , МВт |       |        |                                       |        |        |        |        |
|------------------------|--|----------------------|-------------------|--|-------|--------|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                        |  |                      |                   | 130  | 150   | 170    | 110                                   | 130    | 150    | 170    |        |
|                        |  |                      |                   | Условия проведения опытов                          |       |        |                                       |        |        |        |        |
|                        |  |                      |                   | Без анаклаида (базовый этап)                       |       |        | С вводом анаклаида в первичный воздух |        |        |        |        |
| 1                      | 2  | 3                    | 4                 | 5  | 6     | 7      | 8                                     | 9      | 10     | 11     |        |
| А. Измененные величины |  |                      |                   |  |       |        |                                       |        |        |        |        |
| 1                      | Температура уходящих газов   | $t_{yx}$             | °С                | 120  | 122   | 128    | 115                                   | 114    | 120    | 131    |        |
| 2                      | Содержание горючих в уносе   | $\Gamma_{yn}$        | %                 | 21,70  | 18,70 | 22,00  | 14,54                                 | 12,30  | 10,49  | 11,24  |        |
| 3                      | Содержание кислорода в балансовом сечении (за РВВ)                                       | $(Q_2)_{ВП}$         | %                 | 13,3   | 11,7  | 12,0   | 13,0                                  | 12,0   | 11,0   | 10,4   |        |
| 4                      | Массовая концентрация в уходящих газах, приведенных к нормальным условиям и $\alpha=1,4$ | Оксидов углерода     | $C_{CO}$          | мг/м <sup>3</sup>                                  | 160,4 | 90,4   | 166,6                                 | 231,9  | 145,8  | 107,9* | 121,4  |
| 5                      |  | Оксидов азота        | $C_{NO_x}$        | мг/м <sup>3</sup>                                  | 937,7 | 1101,5 | 1096,5                                | 1107,0 | 1044,9 | 1134,6 | 1444,7 |
| 6                      | Расход природного газа на котел  | $B_{П}$              | м <sup>3</sup> /ч | 1830,0   | 680,0 | 1800,0 | 0,00                                  | 0,00   | 0,00   | 0,00   |        |

| Продолжение таблицы 2 |   |  |                     |      |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------|---|--|---------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 7                     | Расход свежего пара на турбину              |  | $D_{СП}$            | т/ч  | 440,0 | 508,9 | 542,1 | 402,0 | 441,7 | 552,8 | 586,7 |
| 8                     | Давление свежего пара перед турбиной        |  | $P_{СП}$            |      | 112,0 | 102,0 | 120,0 | 108,8 | 108,4 | 108,0 | 110,0 |
| 9                     | Температура свежего пара перед турбиной     |  | $t_{СП}$            | %    | 545,0 | 544,6 | 549,9 | 542,7 | 545,4 | 539,8 | 535,6 |
| Б. Расчетные величины |   |  |                     |      |       |       |       |       |       |       |       |
| 1                     | Для природного газа по теплоте              |  | $q_{п.г.}$          | ---  | 0,05  | 0,02  | 0,04  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| 2                     | Валовый выброс оксидов                      | углерода   | $B_{CO}$            | кг/ч | 68,1  | 42,0  | 89,3  | 89,2  | 55,6  | 55,5  | 64,5  |
| 3                     |   | азота  | $B_{NO_x}$          | кг/ч | 398,0 | 511,1 | 587,5 | 426,0 | 398,6 | 583,9 | 767,3 |
| 4                     | Потери теплоты                              | с уходящими газами, приведенные к $t_b=30^\circ C$ | $q_{2пр}$           | %    | 8,15  | 6,96  | 7,54  | 7,65  | 6,76  | 6,63  | 6,89  |
| 5                     |   | от механического недожога                          | $q_4$               | %    | 6,41  | 6,93  | 8,39  | 4,06  | 3,73  | 3,68  | 4,75  |
| 6                     | Коэффициент избытка воздуха                 | до режимного сечения                               | $\alpha_{рс}$       | ---  | 1,71  | 1,50  | 1,42  | 1,56  | 1,53  | 1,39  | 1,31  |
| 7                     |   | в балансовом сечении                               | $\alpha_{вп}$       | ---  | 2,64  | 2,19  | 2,25  | 2,55  | 2,26  | 2,04  | 1,93  |
| 8                     | Коэффициент полезного действия котла брутто |  | $\eta_{к.пр.}^{бр}$ | %    | 83,67 | 84,43 | 82,44 | 86,41 | 87,73 | 88,07 | 86,77 |

Результаты испытаний котлоагрегата № 1 Змиевской ТЭС свидетельствуют о следующем:

– Эксплуатационные режимы (базовый этап) на нагрузках  $N_3 = 130, 150$  и  $170$  МВт выполнены на антрацитах с незначительной подсветкой природным газом (доля природного газа по теплу составила  $0,05, 0,02, 0,04$  соответственно). При этом наблюдался устойчивый выход жидкого шлака без затягивания леток на всех трех нагрузках.

– Данные по четвертому базовому режиму – техническому минимуму паропроизводительности котла по условиям устойчивости горения и выхода жидкого шлака в отчете не приведены. Таким образом, не выполнено требование программы, что исключило возможность сопоставить в полном объеме условия испытаний и анализа технико-экономических и экологических показателей и определить изменение основной маневренной характеристики котла – регулировочного диапазона нагрузки.

– Испытания на режимах с нагрузкой  $N_3 = 130, 150$  и  $170$  МВт с вводом активатора горения анакларида «РА-ГЕН Ф» выполнены на углях, которые имеют отклонения величин отдельных его характеристик от их значений в топливе, сожженном в базовом режиме. Значения отклонений приведены в табл. 3.

Поскольку данные по параметрам режима технического минимума без ввода анакларида (базовый режим) в представленных материалах отсутствуют, для наглядности сравнение режима  $N_3 = 110$  МВт с вводом анакларида произведено с ближайшим по нагрузке базовым режимом  $N_3 = 130$  МВт, осуществленным с подсветкой факела природным газом.



Отклонения величин отдельных характеристик топлива от их значений в топливе, сожженном в базовом режиме

| № п/п | Наименование параметров                         | Условные обозначения | Единицы измерения | Электрическая мощность блока в режиме, $N_3$ , МВт                       |       |       |      |
|-------|---|----------------------|-------------------|--|-------|-------|------|
|       |   |                      |                   | 130  | 150   | 170   | 110  |
|       |   |                      |                   | Колебания значений характеристик топлива в % относит к базовым значениям |       |       |      |
| 1     | 2   | 3                    | 4                 | 5  | 6     | 7     | 8    |
| 1     | Теплота сгорания на рабочую массу, низшая       | $Q_s^r$              | кДж/кг            | -3,4   | -4,8  | -2,7  | +2,0 |
| 2     | Содержание влаги на рабочую массу               | $W^r$                | %                 | +6,7   | +29,2 | -37,3 | -6,6 |
| 3     | Зольность на рабочую массу                      | $A^r$                | %                 | +104   | -0,85 | +22,6 | +4,7 |
| 4     | Выход летучих веществ на сухую беззольную массу | $V^{daf}$            | %                 | - 18   | - 9   | + 27  | - 9  |

Абсолютные значения выхода летучих веществ  $V^{daf}$  топлива, сожженного в режимах 110, 130 и 150 МВт с вводом анаклаида соответствуют величине выхода летучих веществ, регламентируемых ГОСТ 25543-88 для антрацитов и составляют 8,1, 7,3 и 8,0 % для этих режимов соответственно. Исключением является опыт на нагрузке 170 МВт, где сжигался тощий уголь с выходом летучих 11,2 %.

– При вводе анаклаида «РА-ГЕН Ф» величина технического минимума паропроизводительности котла, соответственно, минимума электрической нагрузки блока, при устойчивом выходе жидкого шлака без затягивания леток определилась на нагрузке блока  $N_3 = 110$  МВт без использования подсветки пылеугольного факела газом.

– Испытания на всех режимах с вводом анаклаида, включая и режим технического минимума паропроизводительности котла по условиям устойчивости горения и выхода жидкого шлака (режим 110 МВт) проведены без подсветки факела природным газом.

При этом на режимах 130, 150 и 170 МВт в котле наблюдался устойчивый выход жидкого шлака без затягивания леток. На режиме технического минимума котла (нагрузка 110 МВт) наблюдался выход шлака с сепарацией без затягивания леток.

– Дозировка анаклаида в опытах производилась в соответствии с рекомендациями его разработчиков фирмы «Адиоз».

– Анаклаид «РА-ГЕН Ф» не может являться энергетической добавкой к основному топливу вследствие его ничтожной малости (~ 450 мл/ч) и выступает как активатор горения пылевидного топлива (86 т/ч) в топочном процессе.

– Котел на всех режимах работал с эксплуатационными параметрами до и после ввода анаклаида. Уровень температур острого пара и промперегрева в продолжительной эксплуатации сохранялся и составлял средне-эксплуатационные значения.

– Изменения значений технологических параметров в режимах с вводом анаклаида в сравнении с таковыми в базовых режимах приведены в табл. 4.

При этом сравнение данных по режиму  $N_3 = 110$  МВт с вводом анаклаида проведено по аналогии с сравнением по топливу, т. е. с базовым режимом  $N_3 = 130$  МВт.

Анализ результатов проведенных опытов показывает:

1 Подача анаклаида в незначительных (~ 5мл/т угольной пыли) количествах в котел, путем ввода его в апробированной дозировке в первичный воздух, существенно влияет с положительным эффектом на параметры топочного процесса при сжигании поданных в котел углей на всех режимах, включая и режим технического минимума нагрузки ( $N_3 = 110$  МВт).

Таблица 4

Изменения значений технологических параметров в режимах с вводом анаклаарида в сравнении с таковыми в базовых режимах

| № п/п | Наименование параметров  |  | Условные обозначения | Единицы измерения | Мощность блока в режиме, $N_э$ , МВт   |       |        |        |
|-------|--|--|----------------------|-------------------|--|-------|--------|--------|
|       |  |  |                      |                   | 130  | 150   | 170    | 110    |
|       |  |  |                      |                   | Изменение значений параметров в режимах при вводе анаклаарида относительно их значений в базовых режимах + увеличение – уменьшение |       |        |        |
| 1     | 2  | 3  | 4                    | 5                 | 6  | 7     | 8      |        |
| 1     | Потеря теплоты   | с уходящими газами, приведенные к $t_в=30^{\circ}\text{C}$ | $\Delta q_{2пр}$     | %                 | -1,39  | -0,33 | -0,65  | -0,50  |
| 2     |  | от механического недожога                                  | $\Delta q_4$         | %                 | -2,68  | -3,25 | -3,64  | -2,35  |
| 3     | Содержание горючих в уносе   |  | $\Delta \Gamma_{ун}$ | %                 | -9,4   | -8,21 | -10,76 | -7,16  |
| 4     | Содержание кислорода в балансовом сечении (за РВВ)                                       |  | $\Delta(Q_2)_{ВП}$   | %                 | -1,3   | -0,7  | -1,6   | -0,30  |
| 6     | Коэффициент избытка воздуха  | до режимного сечения                                       | $\Delta \alpha_{рс}$ | ---               | -0,18  | -0,11 | -0,11  | -0,15  |
| 7     |  | в балансовом сечении (за РВВ)                              | $\Delta \alpha_{вп}$ | ---               | -0,38  | -0,15 | -0,33  | -0,09  |
| 4     | Массовая концентрация в уходящих газах, приведенных к нормальным условиям и $\alpha=1,4$ | Оксидов углерода   | $\Delta C_{CO}$      | мг/м <sup>3</sup> | -14,6  | +17,5 | -45,2  | +71,5  |
|       |  |  |                      | %                 | -9,1   | +19,4 | -27,1  | +44,6  |
| 5     |  | Оксидов азота  | $\Delta C_{NO_x}$    | мг/м <sup>3</sup> | +107,2   | +33,1 | +348,2 | +169,3 |
|       |  |  |                      | %                 | +11,4  | +3,0  | +31,6  | +18,1  |
| 2     | Валовый выброс оксидов   | углерода   | $\Delta B_{CO}$      | кг/ч              | -12,5  | +13,5 | -24,8  | +21,1  |
| %     |  |  |                      | -18,4             | +32,1  | -27,8 | +31,0  |        |
| 3     |  | азота  | $\Delta B_{NO_x}$    | кг/ч              | +0,6   | +72,8 | +179,8 | +28,0  |
|       |  |  |                      | %                 | +0,15  | +14,2 | +30,6  | +7,0   |
| 8     | Коэффициент полезного действия котла, брутто   |  | $\eta_{к.пр.}^{бр}$  | %                 | +4,06  | +3,64 | +4,33  | +2,74  |

Процесс сжигания топлива идет с улучшением характеристик выгорания и повышением пирометрического уровня в топке, а именно:

- содержание горючих в уносе  $\Gamma_{ун}$  снижается на 7,16–10,76 %;
- уменьшаются потери теплоты от механического недожога  $q_4$  на 2,35–3,64 % и с уходящими газами  $q_2$  на 0,33–1,39 %;
- снижаются массовые концентрации оксида углерода, характеризующие химический недожог топлива, на 9,1÷27,1%, за исключением режима с нагрузкой  $N_э=150$ МВт, на котором произошло, наоборот, увеличение концентрации оксида углерода в уходящих газах на 19,4%, которое могло произойти из-за нестабильности соотношения топливо-воздух при работе питателей пыли в силу каких-то нарушений нормальной их работы;
- уменьшается содержание кислорода в балансовом сечении (за РВВ) на 0,38–1,6;
- уменьшается коэффициент избытка воздуха: в режимном сечении на 0,11–0,18, в балансовом сечении (за РВВ) на 0,09–0,38;

– повышается КПД котла брутто  $\eta_k^{бр}$  на всех режимах, включая и режим технического минимума ( $N_3 = 110$  МВт), на 2,74–4,33 %;

– массовые концентрации азота в уходящих газах, наоборот, на всех режимах несколько повысились – на 3,0 – 31,6 %, что объясняется повышением температурного уровня в топке.

2. Визуальные наблюдения в опытах показали, что в сопоставимых режимах нагрузки котла подача анаклаида улучшает выход жидкого шлака из-за повышения температуры в районе леток.

3. Подача анаклаида позволила исключить подсветку факела природным газом на всех режимах, включая и режим технического минимума нагрузки ( $N_3=110$ МВт), вследствие повышения устойчивости горения факела.

### Выводы

1. Результаты проведенных испытаний позволяют сделать выводы о том, что подача анаклаида «РА-ГЕН Ф» в котел, путем ввода его в апробированной дозировке (~ 5мл/т угля) в первичный воздух:

1.1. Существенно влияет с положительным эффектом на параметры топочного процесса при сжигании поданных в топку котла топлив (антрациты и тощие угли) на всех проведенных режимах;

1.2. Позволяет исключить подсветку факела природным газом на всех нагрузках, вплоть до предельно низкой ( $N_3 = 110$ МВт), обусловленной устойчивым выходом жидкого шлака без затягивания леток;

1.3. Улучшает выход жидкого шлака вследствие повышения температурного уровня в топке и в районе леток;

1.4. Способствует интенсификации процесса горения в топке с повышением температурного уровня и улучшения выжиг топлива  $\Gamma_{ун}$  снизились с 18,70–22,0 % до 10,49–12,30 %, механический недожог соответственно с  $q_4 = 6,41$ –8,39 % до 3,68–4,75 %, снизились потери теплоты с уходящими газами на 0,33–1,39 %, что вместе привело к повышению КПД котла брутто,  $\eta_k^{бр}$ , на 2,74–4,33 %, кроме того уменьшается массовая концентрация оксида углерода в уходящих газах на 14,6–45,2 мг/м<sup>3</sup>, что сокращает его массовый выброс в атмосферу при незначительном увеличении выбросов оксидов азота (практически в пределах погрешности измерений).

1.5. Основным фактором, влияющим на увеличение  $\eta_e^{эд}$  при подаче анаклаида, является уменьшение потери теплоты с механическим недожогом.

2. Анаклаид целесообразно вводить в котел при сжигании испытанных в опытах марок топлива во всем эксплуатационном диапазоне нагрузок, так как он существенно улучшает выжиг топлива и выход жидкого шлака.

### Список использованной литературы:

1. Звіт НДР за темою госпдоговору з ТОВ «НВП «АДІОЗ» (м. Київ) № 11–10: Обробка та аналіз результатів теплових балансових випробувань котла ТП-100 енергоблоку 200МВт Зміївської ТЕС. (2012) –Х, УПА, Харків.

2. Методические указания по составлению отчета электростанций и акционерного общества энергетики и электрификации о тепловой экономичности оборудования РД 34.08.552-95.

3. Программа испытаний на ТЭС, ГЭС, в энергосистемах, тепловых и электрических сетях: Положение о порядке разработки, согласование и утверждение ГКД 34.20.301–96.

4. ГОСТ 25543-88. Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам.

5. ГОСТ 12113-94 (ISO 7404-5-85) Угли бурые, каменные, антрациты, твердые рассеянные органические вещества и углеродистые материалы. Метод определения показателей отражения.

6. ГОСТ 6382-91 (ISO 562-81) Топливо твердое. Метод определения выхода летучих веществ.

7. ГОСТ 7303-90 Антрацит. Метод определения объемного выхода летучих веществ.

8. Л.В. Голышев, С.А. Филь, И.С. Мысок (2003) Расчетный метод определения механического недожога при сжигании АШ в котле ТПП-210А, Теплоэнергетика, № 4.– С. 37–40.

### References:

1. Zvit NDR after the theme of gospdogovoru z TOV «NVP «ADIOZ» (m. of Kiyv) N 11-10: Obrobka that



analiz rezultativ teplovikh balansovikh viprobuva' caldron of TP-100 energobloku 200 Mvt Zmievskoy TES. (2012) – Kh, UIPA, Kharkv.

2. Methodical pointing on drafting of report of power-stations and joint-stock company of energy and electrification about the thermal economy of equipment of RD 34.08.552-95.

3. Program of tests on TES, hydroelectric power PLANT, in grids, thermal and electric networks: Position about the order of development, concordance and claim of GKD 34.20.301-96.

4. GOST 25543-88. Coals are brown, stone and antracity. Classification on genetic and technological parameters.

5. GOST 12113-94 (ISO 5-85) Coals are brown, stone, antracity, hard dissipated organic matters and carbon materials. Method of determination of indexes of reflection.

6. GOST a 6382-91 (ISO 562-81) Fuel hard. Method of determination of output of volatiles.

7. GOST 7303-90 Anthracite. Method of determination of by volume output of volatiles.

8. L.V. Golyshev, S.A. Fil', I.S. Mysok (2003) the Calculation method of determination of mechanical underfiring at incineration of ASH in the caldron of TPP-210A, Teploenergetika, '4,- S.37-40.

Поступила в редакцию 15.01 2016 г.