



РОСЭНЕРГОАТОМ
ЛЕНИНГРАДСКАЯ
АЭС-2
УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНОЕ
ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ

Ленинградская АЭС-2

Аудиторное занятие

Тема

Назначение и организация ВХР
второго контура

Конечная цель

КЦО-1 По окончании изучения темы обучаемый будет способен ответить на вопросы по назначению и организации ВХ Р второго контура

Цели занятия

ПЦО -1 Перечислить задачи ВХР второго контура

ПЦО -2 Перечислить источники загрязнения технологических сред второго контура

ПЦО -3 Рассказать о коррозионном процессе на оборудовании второго контура

ПЦО -4 Рассказать о примесях в воде второго контура

Цели занятия

ПЦО -5 Перечислить контролируемые показатели качества водных сред второго контура

ПЦО -6 Рассказать о характеристиках основных контролируемых показателей качества рабочей среды

ПЦО -7 Рассказать о системах обеспечивающих поддержание ВХР второго контура

ПЦО – 8 Рассказать о внедрении водно-химического режимов с дозировкой органических аминов на энергоблоках АЭС с ВВЭР на примере Балаковской АЭС (опыт эксплуатации)

Особенности второго контура

Основная особенность II контура ВВЭР это наличие фазового перехода рабочего тела из воды в пар в парогенераторе, и обратно из пара в воду в конденсаторе

Вторая важная особенность II контура ВВЭР является наличие разнородных конструкционных материалов

ВХР второго контура обеспечивает

Водно-химический режим второго контура при вводе энергоблока в эксплуатацию должен обеспечивать:

- минимальные скорости коррозии конструкционных материалов оборудования и трубопроводов второго контура
- минимальное количество отложений на теплообменной поверхности парогенераторов, в проточной части турбины и конденсатно-питательном тракте
- минимально-достижимый объем сбросов с концентрацией содержащихся в них примесей, не превышающей ПДК для водоемов

(СТО 1.1.1.03.004.09792014 «Водно-химический режим второго контура при вводе энергоблока атомной электростанции проекта АЭС-2006 в эксплуатацию. Нормы качества теплоносителя и средства их обеспечения», ИН.0679.ХЦ.15 от 14.05.2015 Инструкция по организации и ведению водно-химического режима второго контура Ленинградской АЭС-2»

Задачи ВХР второго контура

поддержание качества рабочей среды второго контура в соответствии с требованиями нормативной документации

минимизация отложений на теплопередающих поверхностях парогенераторов, в проточной части турбин, в подогревателях высокого давления

предотвращение коррозионных и коррозионно-эрозионных повреждений парогенераторов, оборудования и трубопроводов парового, конденсатного и питательного трактов

эффективный вывод примесей из водяного объема ПГ, очистку продувочной воды ПГ и турбинного конденсата

организация химконтроля за качеством питательной и продувочной воды парогенераторов, основного и очищенного конденсата турбины, подпиточной воды

Задачи ВХР второго контура

своевременное выявление и устранение причин, вызывающих отклонение качества рабочей среды от установленных нормируемых пределов

снижения попадания коррозионно-активных примесей с присосами охлаждающей воды через неплотности трубной системы основного конденсатора турбины

качественное проведение пассивации и консервации поверхностей оборудования второго контура в период останова блока

качественное проведение предпусковой промывки энергооборудования

минимально достижимый объем сбросов, содержащих вредные для окружающей среды химические примеси

Источники загрязнения технологических сред второго контура

присосы охлаждающей воды через неплотности гидравлической части конденсаторов турбины, бойлеров теплосети и др

коррозия конструкционных материалов оборудования второго контура

присосы воздуха через неплотности вакуумной части конденсатного такта

добавочная вода после ВПУ

конденсат из бака сбора (возврата) конденсата и дренажей

ионообменные материалы и продукты их разрушения, попадающие в тракт из фильтров системы очистки конденсата турбины LDF и фильтров системы чистки продувочной воды парогенераторов LCQ2

Источники загрязнения технологических сред второго контура

регенерационные растворы и отмывочные воды ионообменных установок при некачественной отмывке смол после регенерации

протечки турбинного масла через неплотности системы смазки

превышение содержания примесей в реагентах, применяемых для корректировки ВХР второго контура

вынос продуктов коррозии конструкционных материалов оборудования второго контура

протечки теплоносителя из первого контура во второй

возврат конденсата с ПРК

Коррозионный процесс

Коррозия - это самопроизвольное разрушение металлов и сплавов в результате химического, электрохимического или физико-химического взаимодействия с окружающей средой

Кислородная коррозия железа в воде:



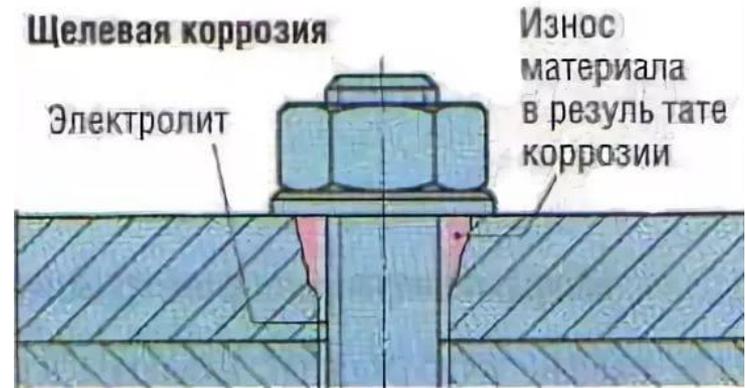
Гидроксид железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ржавчина



Коррозионный процесс



Общая коррозия



Коррозия под напряжением



Язвенная коррозия

Коррозионный процесс

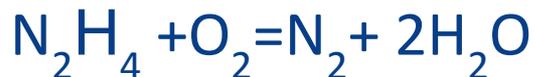
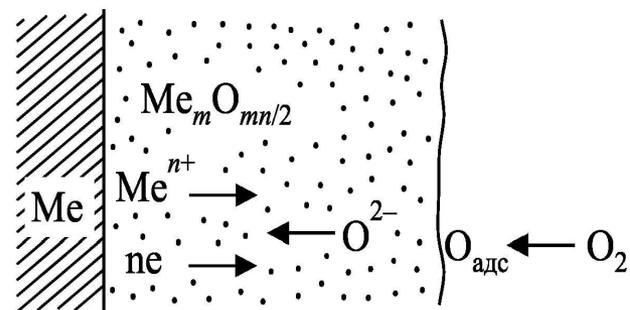
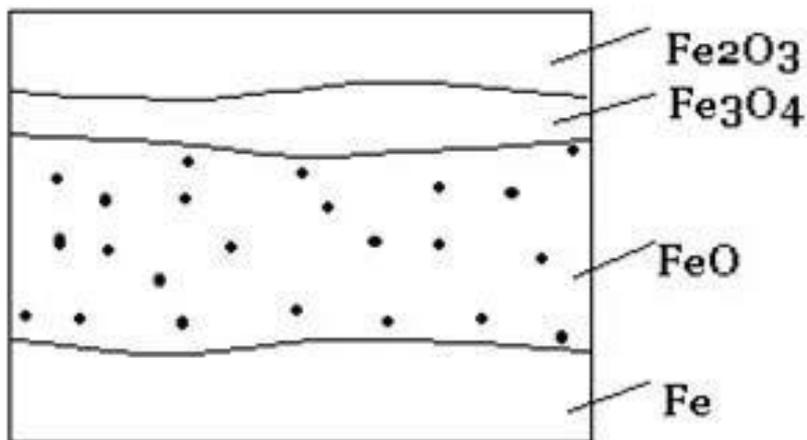
Углекислота способствует развитию коррозионных процессов как путём снижения значения pH:



Для удаления CO_2 в воду вводится аммиак, кроме того, он повышает значение pH :



Коррозионный процесс



NaOH едкий натр

NaHCO₃ гидрокарбонат натрия

Na₂CO₃ кальцинированная
сода

NaHCO₃ питьевая сода

Коррозионный процесс

Кинетическое уравнение выражает зависимость скорости химической реакции от концентраций компонентов реакционной смеси

$$v = k[A_1]^{n_1} [A_2]^{n_2} \dots [A_i]^{n_i}$$

$[A_i]$ ($i=1, 2, \dots, i$) - концентрация i -го вещества

n_i – порядок реакции по i -му веществу

k – константа скорости реакции

Температурный коэффициент скорости химической реакции или коэффициент Вант-Гоффа обозначается греческой буквой

γ :

$$\gamma = \frac{k_{T+n \cdot 10}}{k_T} \quad , \text{ где } k_T \text{ и } k_{(T+10)} \text{ константы скорости при температурах } T \text{ и } (T+10)$$

$$k_{T+n \cdot 10} = \gamma^n \cdot k_T$$

Унос примесей

Унос примесей определяется двумя процессами: переходом (растворением) примесей в паре и механическим уносом капелек влаги

Летучие примеси практически полностью переходят в пар и проходя через турбину, поступают в конденсатор, откуда большинство из них удаляется.

Нелетучие примеси поступают в пар за счёт растворимости этих примесей в паре

Растворимость веществ в паре сильно зависит от давления пара и различна для различных веществ

Отложение примесей

$$[Kt^+]_{ni} \cdot [An^-]_{mi} = \text{ПРi}$$

где $[Kt^+]_{ni}$ - концентрация катионов

$[An^-]_{mi}$ - концентрация анионов

| Соединения | Накипь | Шлам |
|------------|---|--|
| Кальция Ca | Сульфат CaSO_4 Силикат CaSiO_3 | <i>Гидроксиапатит</i> $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ |
| Магния Mg | Гидроксид магния $\text{Mg}(\text{OH})_2$ | Гидроксид магния $\text{Mg}(\text{OH})_2$ |
| Кремния Si | - | Силикат магния MgSiO_3 Серпентит $(\text{MgFe})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ |
| железа | Оксид железа, в основном магнетит Fe_3O_4 | - |

Основные контролируемые показатели

При работе энергоблока на уровнях мощности < 50% Нном на этапе «Энергетический пуск» и «Опытно-промышленная эксплуатация» и на этапе «Опытно-промышленная эксплуатация» на освоении мощности $\geq 50\%$ Нном

Питательная вода :

удельная электропроводимость 0,3 мкСм/см

концентрация растворенного кислорода 0,005 мг/дм³

Продувочная вода ПГ:

удельная электропроводимость 2,0 мкСм/см

концентрация ионов натрия 0,05 мг/дм³

концентрация хлорид-ионов 0,05 мг/дм³

концентрация сульфат-ионов 0,05 мг/дм³

Основные контролируемые показатели

При работе энергоблока на уровнях мощности $< 50\%$ Nном на этапе «Энергетический пуск» и «Опытно-промышленная эксплуатация» и на этапе «Опытно-промышленная эксплуатация» на освоении мощности $\geq 50\%$ Nном

Питательная вода :

величина рН 9,3-9,7

концентрация железа не более 0,01 мг/дм³

концентрация гидразина не менее 0,01 мг/дм³

концентрация аммиака 0,5-3,0 мг/дм³

концентрация этаноламина 0,2-0,8 мг/дм³

концентрация нефтепродуктов не более 0,1 мг/дм³

Продувочная вода ПГ:

величина рН 9,0-9,5

концентрация аммиака 0,1-0,5 мг/дм³

концентрация этаноламина 3,0-8,0 мг/дм³

Характеристики основных контролируемых показателей качества рабочей среды

Величина рН в питательной воде в пределах от 9,0 до 9,5 ед. поддерживается за счет аммиака, образующегося при термическом разложении в питательном тракте гидразин-гидрата, вводимого в основной конденсат, или совместного дозирования гидразин-гидрата и аммиака, этаноламина в питательную воду ПГ

Удельная электрическая проводимость характеризует условное солесодержание рабочей среды и обуславливается концентрацией диссоциированных газов, нелетучих примесей и собственной проводимостью воды

При величине удельной электропроводности Н-катионированной пробы от 0,2 до 0,4 мкСм/см содержание растворенных солей в анализируемой среде находится в пределах от 0,3 до 0,6 мкг-экв/дм³ (при температуре 25 °С)

Характеристики основных контролируемых показателей качества рабочей среды

Соли натрия попадают в основной конденсат с присосами охлаждающей воды, при нарушениях в работе сетевых подогревателей

Влияние хлоридов на коррозию хромоникелевых нержавеющей сталей основано на разрушении защитной пассивной пленки на поверхности металла вследствие образования растворимого хлорида хрома

Хлориды также являются стимуляторами кислородной коррозии углеродистой стали. Ионы хлора способны адсорбироваться окисными пленками и вытеснять из них кислород

Характеристики основных контролируемых показателей качества рабочей среды

Основную массу загрязнений в нерастворенном состоянии составляют продукты коррозии конструкционных материалов пароводяного тракта. В основном это оксиды железа

Коррозионная активность конденсата и ПВ обусловлена присутствием в них кислорода и угольной кислоты

Гидразин-гидрат используют для создания восстановительной среды, в которой образуется защитный магнетитный слой Fe_3O_4 , предохраняющий поверхность металла от коррозии

Характеристики основных контролируемых показателей качества рабочей среды

Величину рН питательной воды ПГ в пределах от 9,0 до 9,5 можно обеспечить созданием концентрации аммиака в ПВ от 100 до 500 мкг/дм³ путем дозирования раствора аммиака в КПТ В КПТ аммиак нейтрализует остатки угольной и других кислот (например уксусной), снижая тем самым скорость коррозии конструкционных материалов

Концентрация ЭТА C_2H_7NO от 0,2 до 0,8 мл/дм³ позволяет довести величину рН в питательной воде до 9,6 единиц



Источниками попадания кремниевой кислоты в КПТ являются присосы охлаждающей воды в конденсаторы турбины, подпитка ХОВ, вода дренажных баков

Обеспечение поддержания ВХР второго контура

- предпусковыми эксплуатационными отмылками обессоленной поллой оборудования и трубопроводов КПТ
- коррекционной обработкой рабочей среды КПТ
- очисткой продувочной воды ПГ
- очисткой конденсата турбины
- деаэрацией питательной воды ПГ
- обеспечением плотности гидравлической и вакуумной части конденсаторов турбоустановок по охлаждающей воде и воздуху
- применением ХОВ требуемого качества
- применением ионообменных смол и реагентов требуемого качества
- обработкой рабочей среды перед остановом блока для консервации оборудования второго контура на период останова
- химическими промывками ПГ
- нормирование показателей качества технологических сред
- химическим контролем (автоматизированным и ручным)
- консервацией оборудования второго контура
- очисткой оборудования после ремонта

Системы обеспечивающие поддержание ВХР второго контура

- водоподготовительная установка (ВПУ) система глубокого обессоливания воды (GC)
- дренажный бак системы дренажей здания турбины LCM01-02BB001, баки запаса ХОВ LCU01-04BB001
- системы конденсации, дегазации и деаэрации
- система обезжелезивания и обессоливания конденсата турбины (LDF)
- система корректировки водно-химического режима второго контура (LDN)
- система продувки ПГ (LCQ1)
- система очистки продувочной воды ПГ (LCQ2)
- система очистки общестанционных дренажных конденсатов (LDB)
- система подпиточной воды (LCU)
- система предпусковой промывки конденсатно-питательного тракта (LDT) с баками приема вод предпусковых отмывок КПТ LDT01BB001(002)
- система ручного отбора проб, АХК качества рабочей среды второго контура (QU)
- система химической промывки ПГ (LFG)

Системы обеспечивающие ВХР второго контура

Система GC обеспечивает приготовление ХОВ для заполнения второго контура блока и его подпитки в процессе эксплуатации

Установка обеспечивает получение обессоленной воды следующего качества:

удельная электрическая проводимость не более - 0,1 мкСм/см

концентрации хлорид-ионов не более - 0,01 мг/дм³

концентрации натрия не более – 0,005 мг/дм³

концентрация кремниевой кислоты не более – 0,015 мкг/дм³

содержание общего органического углерода не боле- 0,1 мг/дм³

Системы обеспечивающие ВХР второго контура

Система подпиточной воды LCU

| Наименование и скателя | Контрольные уровни |
|---|--------------------|
| Удельная электропроводимость, мкСм/см. не более | 0,3 |
| Величина рН, сд. рН | 5,5-8,0 |
| концентрация хлорид-ионов. мг/дм ³ , не более | 0,005 |
| Содержание общего органического углерода, мг/дм ³ , не более | 0,1 |
| Концентрация кремниевой кислоты, мг/дм ³ , не более | 0,015 |

Системы обеспечивающие ВХР второго контура

УЭПН воды дренажного бака системы дренажей здания турбины LSM01BV001 не должна превышать 1,5 мкСм/см

Системы конденсации, дегазации и деаэрации должны обеспечивать концентрацию кислорода в конденсате турбины за КН-I ступени LCB11-13AP001 не более 0,02 мг/дм³, а в питательной воде - не более 0,005 мг/дм³

Для поддержания норм ВХР с оборудования систем второго контура должны обеспечиваться сдувки неконденсирующихся газов

Системы обеспечивающие ВХР второго контура

Система обезжелезивания и обессоливания конденсата турбины (LDF) предназначена для очистки от продуктов коррозии во время пусковых операций, а также для очистки от ионных примесей при возникновении повышенных присосов охлаждающей воды в конденсаторах турбины с целью обеспечения норм ВХР второго контура

Система рассчитана на полную очистку 972,2 кг/с (3500 м³/ч) расхода потока турбинного конденсата

При работе БОУ в режиме удаления примесей величина УЭП на выходе каждого Н-фильтра не должна превышать 0,15 мкСм/см, а на выходе ФСД не должна превышать 0,1 мкСм/см.

Системы обеспечивающие ВХР второго контура

Система LCQ1 предназначена для вывода воды из ПГ JEA10-40AC001 на очистку с целью поддержания показателей ВХР второго контура по продуктам коррозии и растворенным примесям

Система LCQ2 обеспечивает очистку продувочной воды ПГ от продуктов коррозии КПТ и ПГ от ионных примесей до уровня, необходимого для поддержания норм ВХР второго контура и возврата очищенной продувочной воды в КПТ

- удельная электропроводимость Н-катионированной пробы очищенной воды после 10LCQ40AT001(002) < 0,3 мкСм/см
- удельная электропроводимость Н-катионированной пробы очищенной воды после 10LCQ50AT001(002) < 0,2 мкСм/см
- водородный показатель рН после 10LCQ50AT001(002) - не менее 6,0
- массовая концентрации ионов натрия - не более 30 мкг/дм
- массовая концентрации хлорид-иона - не более 15 мкг/дм
- массовая концентрация ацетат-иона - не более 100 мкг/дм

Система очистки общестанционных дренажных конденсатов (LDB) предназначена для очистки воды бака приема вод предпусковых отмывок LDTI0BB001, в который поступают:

- воды после поузловой отмывки оборудования
- воды предпусковой промывки второго контура
- дебалансные воды второго контура
- рабочая среда второго контура при опорожнении и выводе энергоблока в ремонт

Системы обеспечивающие ВХР второго контура

Система предпусковой промывки КПТ LDT предназначена для удаления шлама и продуктов коррозии конструкционных материалов из теплообменного оборудования и трубопроводов КПТ перед подачей воды в ПГ JEA10-40AC001 в периоды послемонтажных пусков, пусков после ремонтов и остановов длительностью более трех суток

Системы обеспечивающие ВХР второго контура

Система корректировки ВХР второго контура (LDN) обеспечивает:

- хранение и дозирование растворов этаноламина, аммиака и гидразин-гидрата для коррекционной обработки рабочей среды второго контура с целью поддержания рекомендуемых значений показателей качества ВХР
- корректировку ВХР второго контура (для поддержания нормируемого значения величины рН питательной воды, концентрации гидразина, аммиака и этаноламина)
- связывание свободного кислорода в турбинном конденсате и питательной воде ПГ
- связывание свободной углекислоты в питательной воде ПГ
- снижение коррозионной способности турбинного конденсата и питательной воды ПГ
- приготовление консервирующего раствора для проведения «мокрой консервации» ПГ при длительном останове

Система LAA обеспечивает деаэрацию и подогрев турбинного конденсата с целью поддержания концентрации растворенного кислорода и двуокиси углерода в питательной воде на минимально-достижимом уровне и для создания запаса питательной вод

Система вакуумирования конденсатора (MAJ) обеспечивает:

- создание номинального вакуума в конденсаторах турбины MAG10-40AC001 и поддержание этого вакуума при работе турбины от начала пуска блока до полного останова
- создание вакуума в конденсаторе пара уплотнений MAM10AC001, достаточного для исключения протечек пара из уплотнений турбины в рабочее помещение
- удаление воздуха из водяных камер конденсаторов MAG10-40AC001

Системы обеспечивающие ВХР второго контура

Система ручного отбора проб второго контура (QUN) обеспечивает периодический ручной отбор проб с целью проведения лабораторного химического контроля:

- основных технологических сред второго контура: ХОВ, питательной воды, конденсата;
- вспомогательных систем, обеспечивающих водно-химический режим второго контура;
- химических реагентов, используемых для поддержания ВХР первого и второго контуров

Система автоматизированного химического контроля (АХК) систем питательной воды (QUA) обеспечивает АХК химических показателей питательной воды второго контура после деаэратора LAA10VB001 и ПВД-6 LAD11(21)AC001 с целью получения оперативной достоверной информации о показателях качества питательной воды ПГ и их соответствии требованиям норм ВХР второго контура

Системы обеспечивающие ВХР второго контура

Система автоматизированного химического контроля систем пара (QUB) обеспечивает АХК показателей насыщенного пара ПГ от системы паропроводов свежего пара LBA при эксплуатации энергоблока

Система АХК систем конденсата (QUC) обеспечивает АХК показателей конденсата турбины с целью контроля диагностических показателей качеств конденсата турбины и получения оперативной информации правильности ведения ВХР второго контура и плотности конденсатора турбины

MAG10(20,30,40)АС001

Система АХК продувочной воды парогенераторов (QUK) обеспечивает АХК показателей продувочной воды ПГ из «солевых» отсеков и лабораторный контроль продувочной воды ПГ из объединенной линии продувки с целью получения оперативной достоверной информации о нормируемых и диагностических показателях качества продувочной воды ПГ и их соответствии требованиям норм ВХР второго контура

Система химической промывки ПГ (LFG) обеспечивает приготовление и подачу растворов для химической промывки теплообменной поверхности парогенератора JEA10-40AC001 по второму контуру в целях удаления отложений и шлама с теплообменных поверхностей, корпуса ПГ и из продувочных линий

Приготовление рабочего раствора в аппарате 10LFG10AM001:

от 100 г/дм³ до 130 г/дм³ ЭДТК (этилендиаминтетрауксусная кислота)

от 50 г/дм³ до 65 г/дм³ ацетат аммония

от 10 г/дм³ до 13 г/дм³ гидразингидрат

создание рН = 6 – 6,5 аммиак

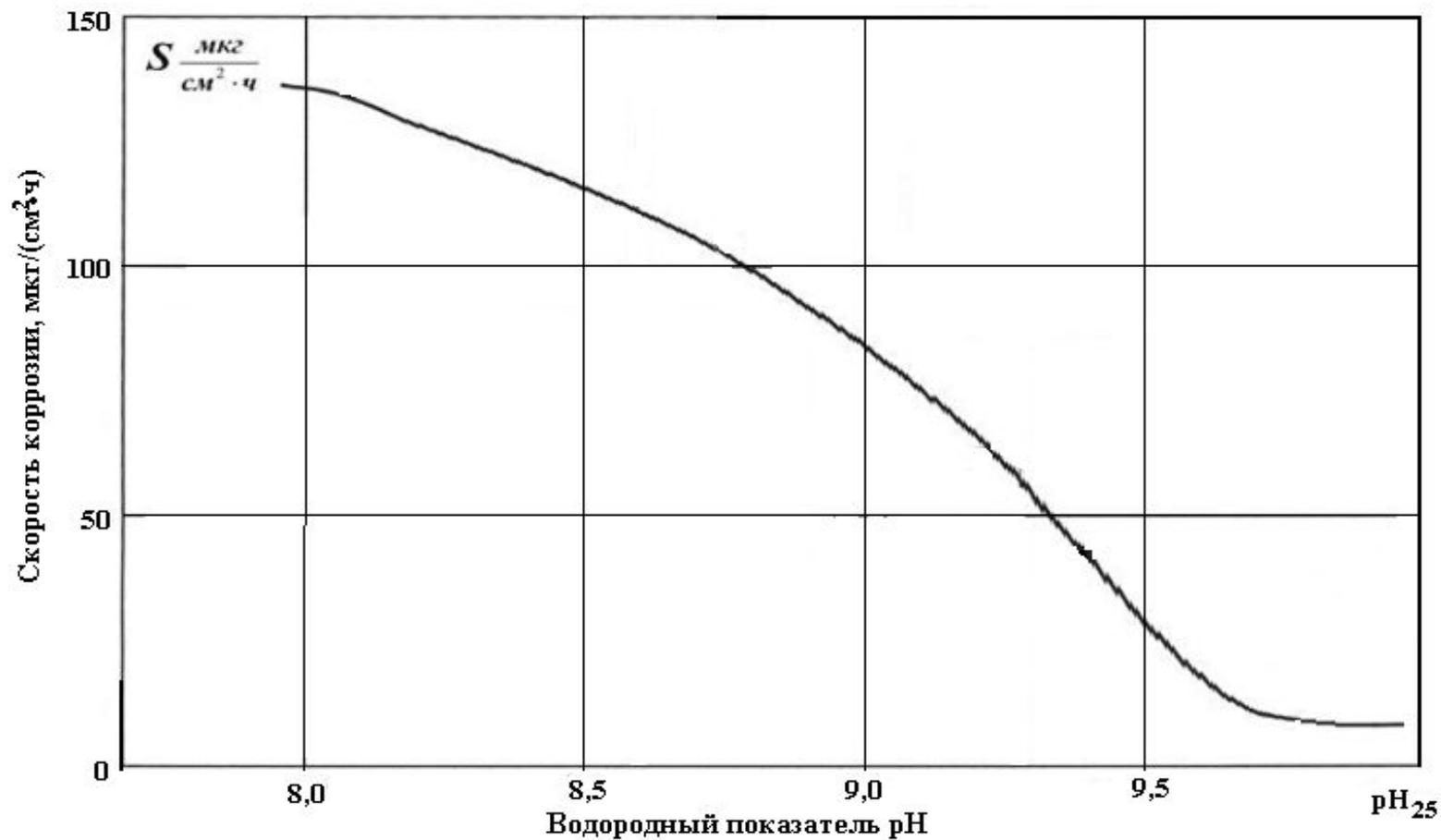
в объеме 20 - 23 м³

Гидразинно-аммиачный ВХР второго контура АЭС с ВВЭР

Физико-химические характеристики аммиака, негативно влияющие на ВХР:

- уменьшение диссоциации аммиака при повышенной температуре
- высокий межфазный коэффициент распределения
- ухудшение степени очистки конденсата

Зависимость скорости коррозии углеродистой стали от значения pH



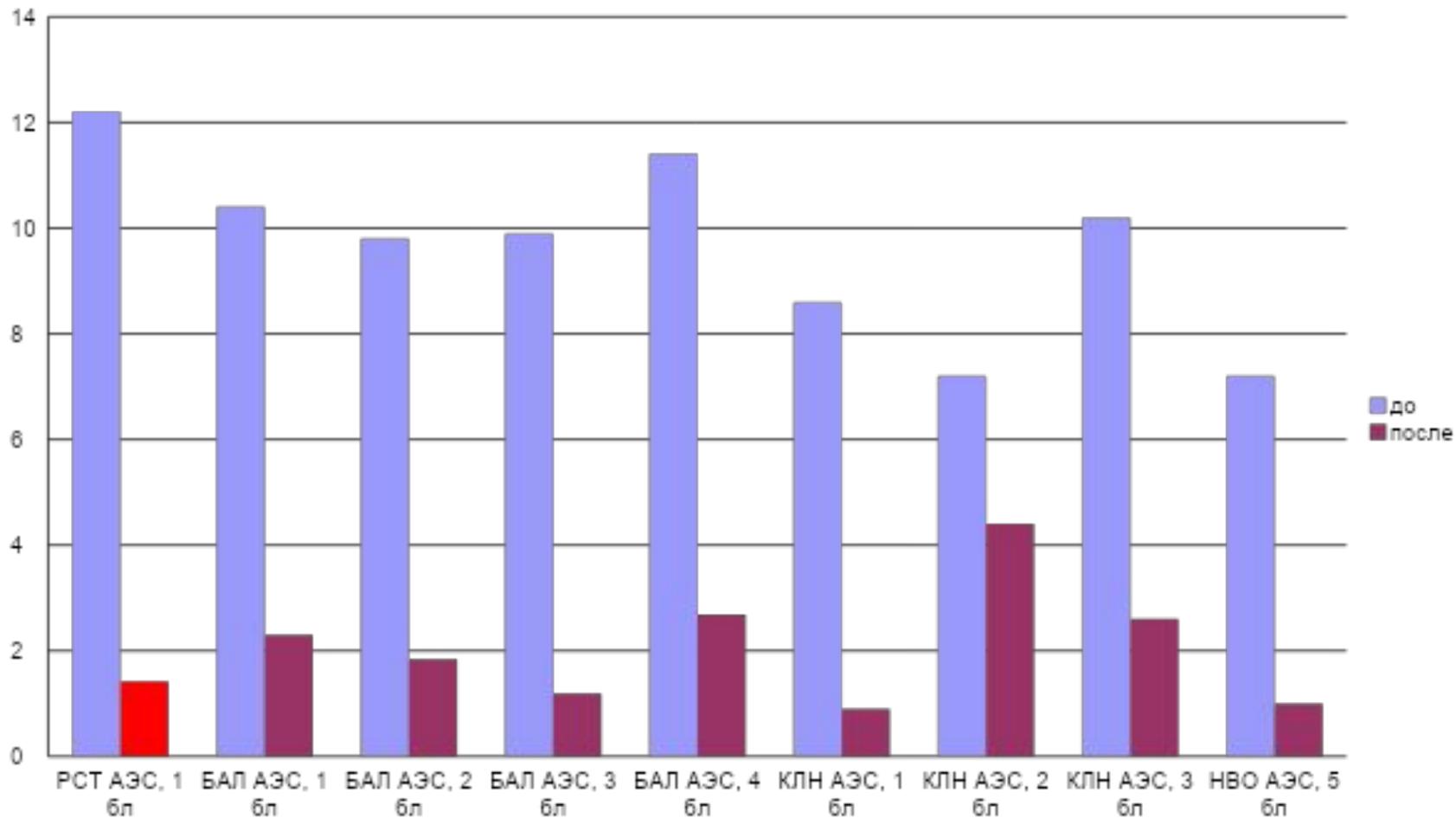
Основные цели перевода энергоблоков на другие корректирующие реагенты

- снижение концентрации железа в потоках второго контура и выноса продуктов коррозии (железа) с питательной водой в объем ПГ
- снижение коррозионно-эрозионного износа оборудования и трубопроводов
- снижение скорости роста отложений на теплопередающих поверхностях ПГ
- увеличение межпромывочного периода ПГ

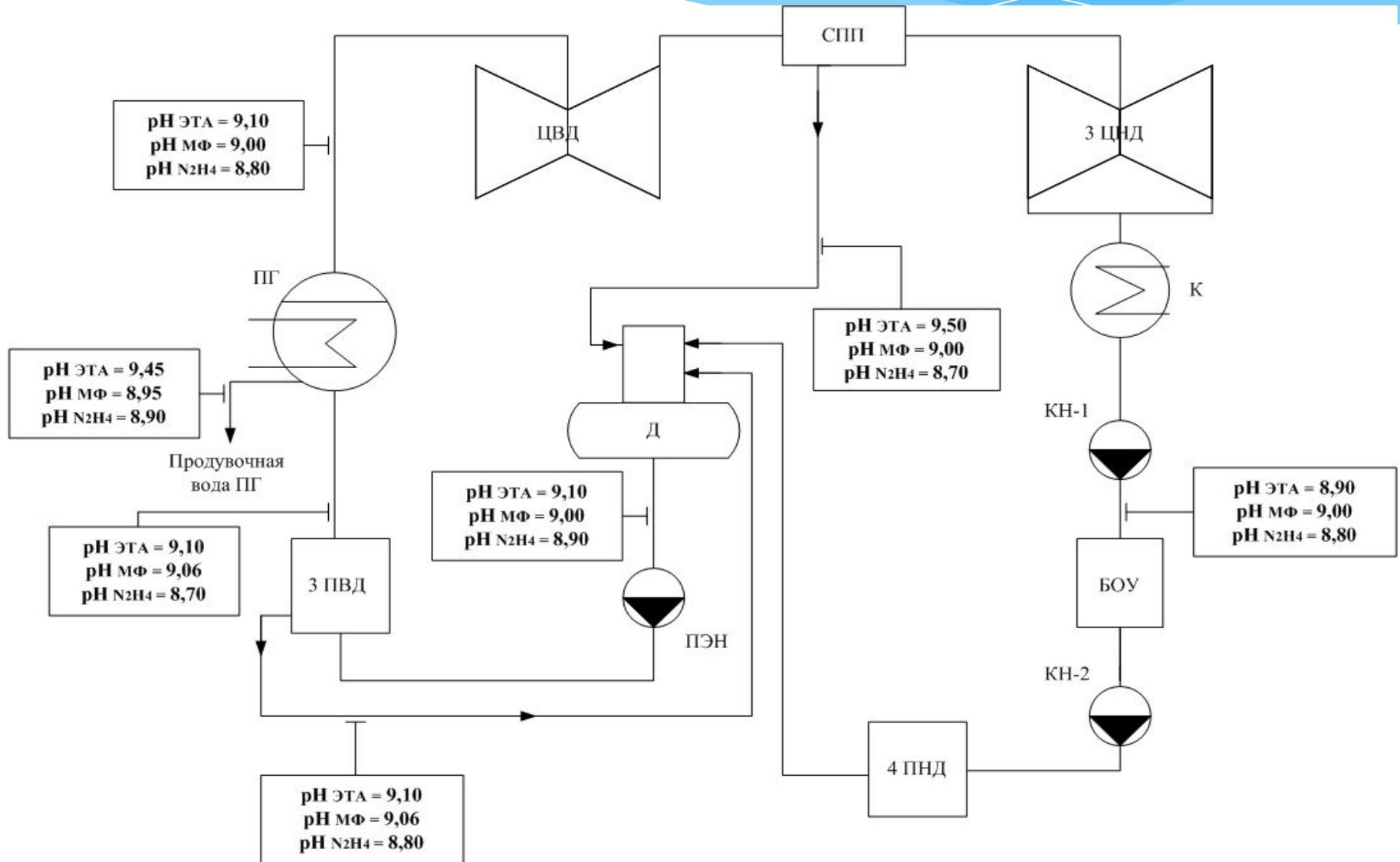
Некоторые характеристики аммиака, морфолина, этаноламина и диметиламина

| Амин | Формула | Молекулярная масса | Отрицательный логарифм константы диссоциации, pKb | | | Коэффициент распределения между паром и водой, Kd | | |
|-------------|--|--------------------|---|--------|--------|---|--------|--------|
| | | | 25 °C | 150 °C | 300 °C | 25 °C | 150 °C | 300 °C |
| Аммиак | NH_3 | 17 | 4,76 | 5,13 | 6,83 | 30,20 | 10 | 3,23 |
| Морфолин | $\text{C}_4\text{H}_8\text{ONH}$ | 87 | 5,50 | 5,3 | 6,63 | 0,12 | 0,77 | 1,29 |
| Этаноламин | $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})\text{NH}_2$ | 61 | 4,50 | 4,83 | 6,40 | 0,004 | 0,11 | 0,66 |
| Диметиламин | $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$ | 45 | 3,2 | 3,6 | 5,4 | 3,03 | 5,52 | 6,94 |

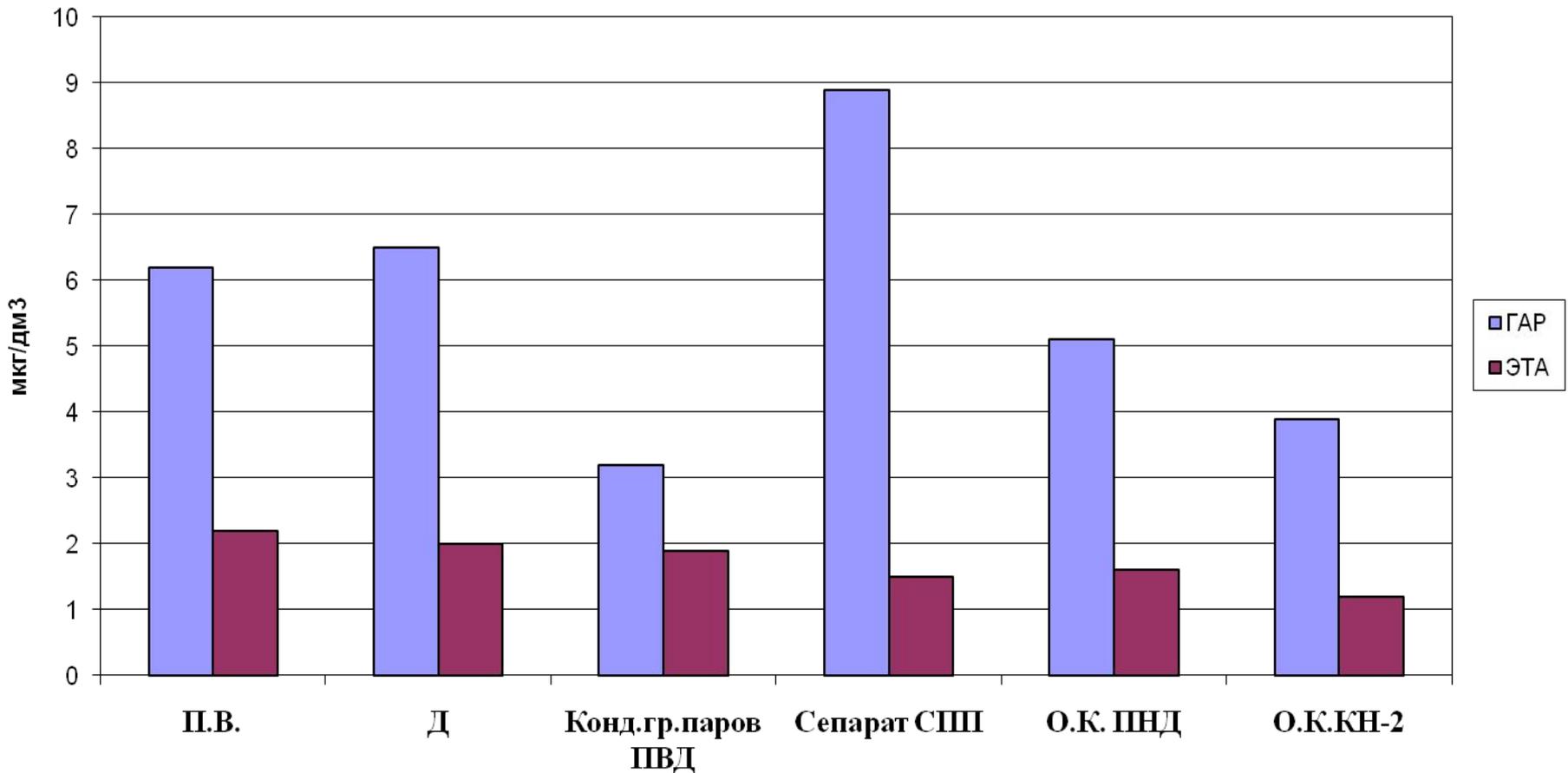
Концентрация железа в питательной воде ПГ (мкг/дм³) до и после перевода энергоблоков на дозирование высших аминов



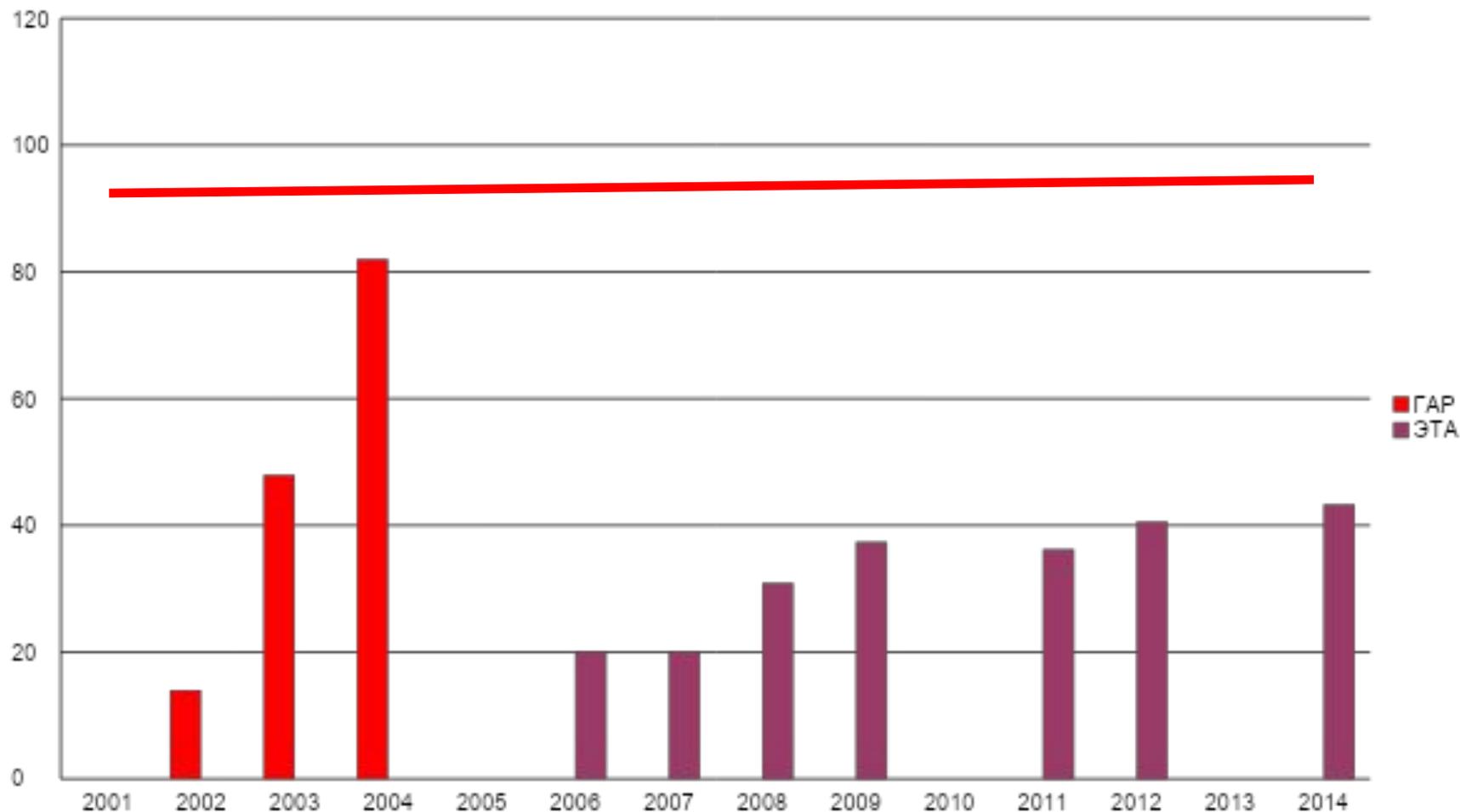
Распределение значения pH по конденсатно-питательному и паровому трактам при этаноламиновом, гидразинно-аммиачном и морфолиновом ВХР второго контура



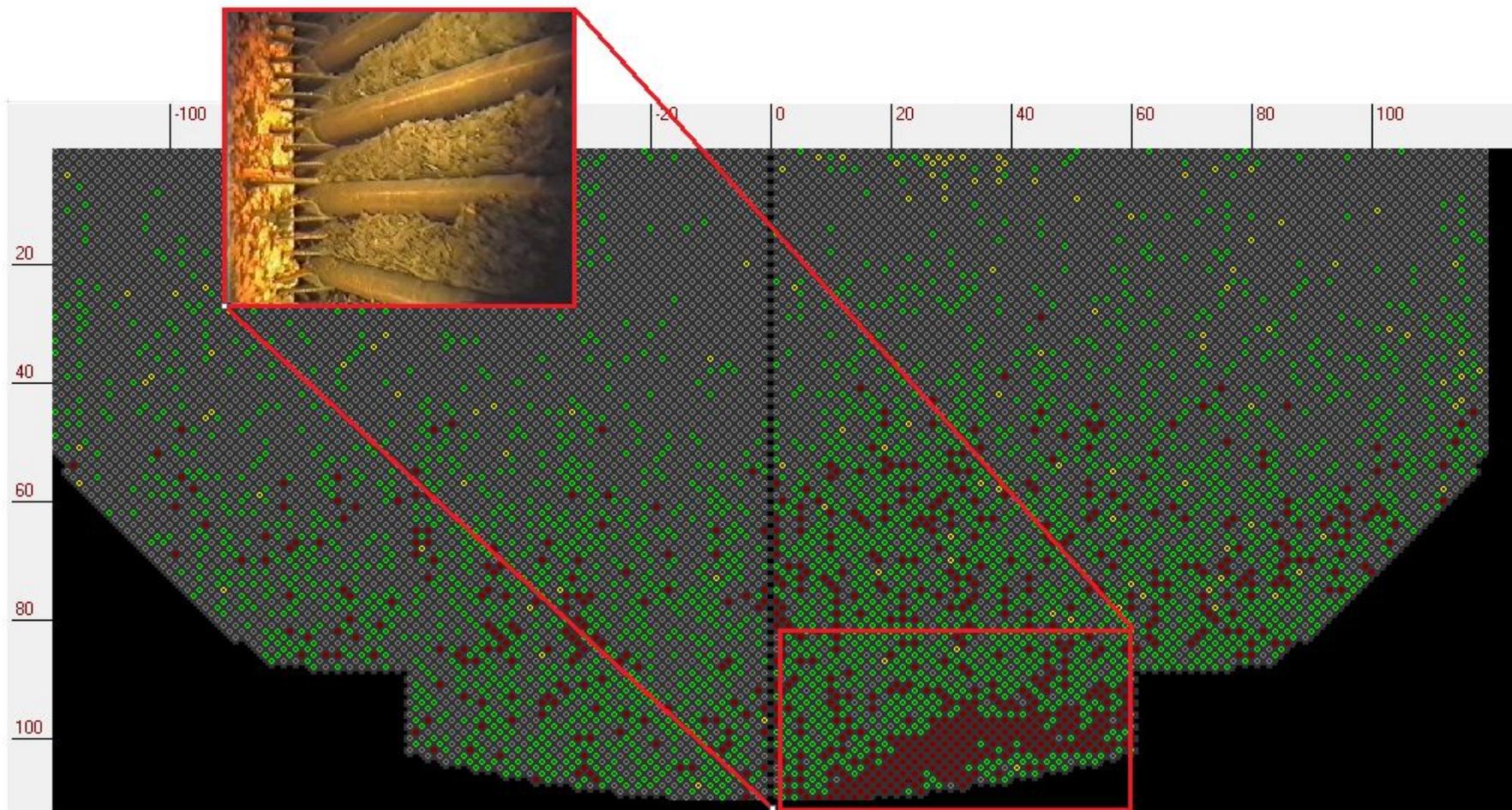
Распределение железа по потокам второго контура на энергоблоке №2 БАЛ АЭС при гидразинно-аммиачном (2005 г.) и этаноламиновом ВХР (2009 г.)



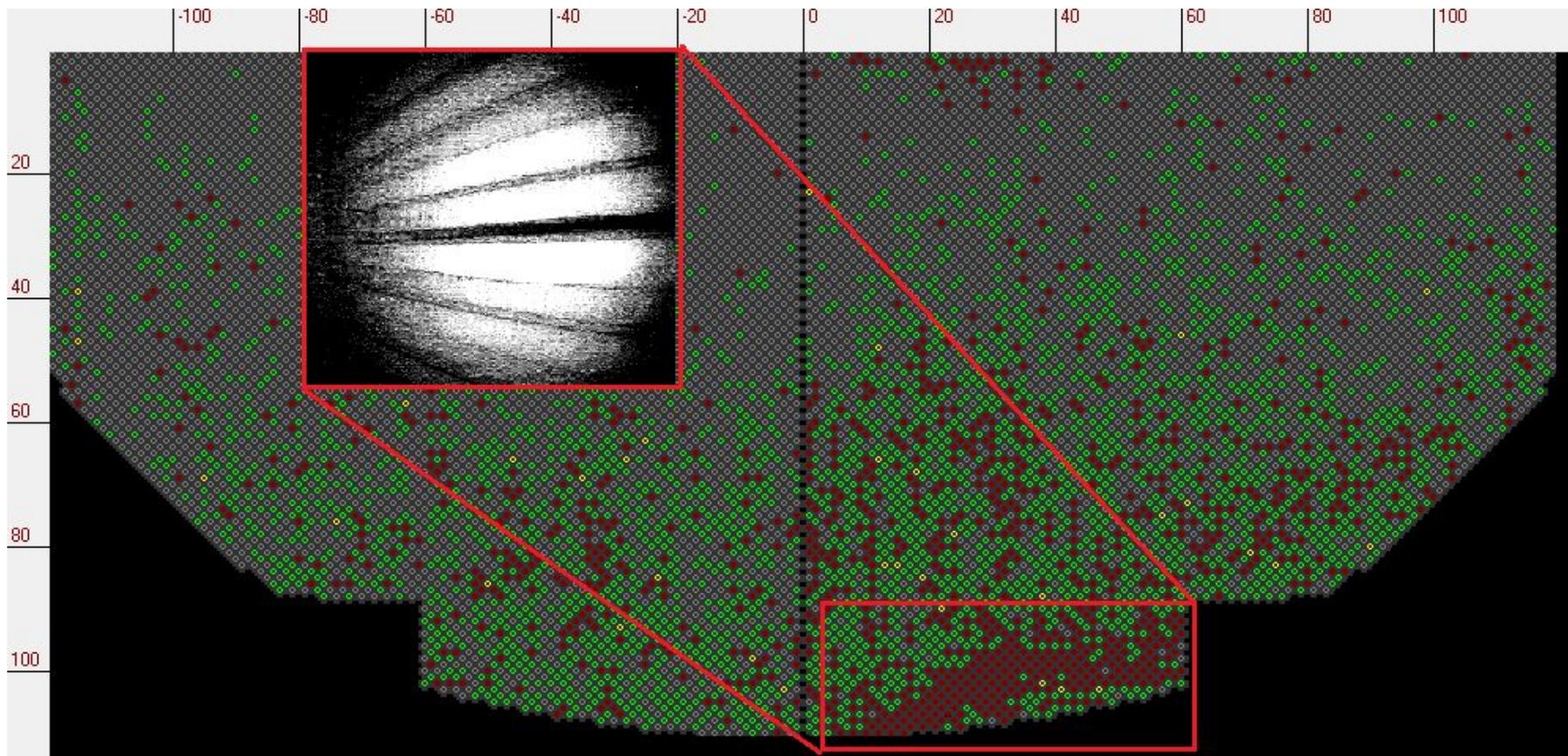
Удельная загрязненность теплообменных трубок ПГ в районе "горячего" коллектора (г/м²) на БАЛ АЭС при ГАР ВХР (4 блок) и ЭТА ВХР второго контура (2 блок)



Состояние ТОТ зПГ-4 Балаковской АЭС при гидразинно-аммиачном ВХР (2003 г.)



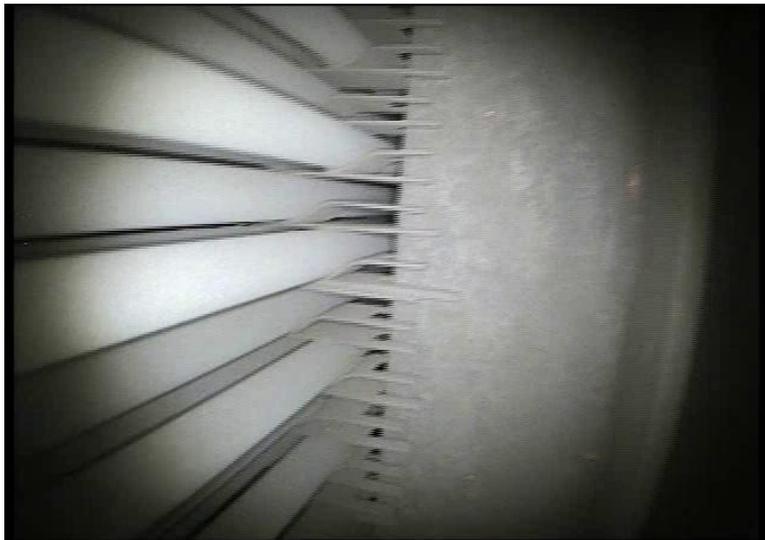
Состояние ТОТ зПГ-4 Балаковской АЭС при этаноламиновом ВХР (начало 2014 г.)



Деградация ТОТ после внедрения этаноламинового ВХР
остановлена

Результаты видеосмотра трубного пучка 2ПГ-4 БАЛ АЭС в районе «горячего» коллектора

2012



2014



Заключение

Внедрение на АЭС с ВВЭР водно-химических режимов второго контура с дозированием высших аминов позволило:

- снизить эрозионно-коррозионный износ оборудования и трубопроводов
- уменьшить вынос продуктов коррозии в питательную воду ПГ
- сократить затраты на химические промывки ПГ
- сократить объем низкоактивных отходов за счет увеличения межпромывочного периода
- уменьшить расход гидразин-гидрата
- отказаться от дозирования гидроксида лития
- сократить затраты на обслуживание БОУ за счет отключения ЭМФ

Дополнительно потребовалось:

- оснастить лаборатории АЭС высокочувствительными приборами химического контроля
- закупить ионообменные смолы улучшенного качества

Контрольные вопросы



Вопрос 1 Перечислите задачи ВХР второго контура

Вопрос 2 Перечислите источники загрязнения технологических сред второго контура

Вопрос 3 Скажите, какие бывают коррозии по характеру протекания?

Вопрос 4 Скажите, зачем и почему в воду второго контура вводят ЭТА?

Вопрос 5 Скажите, какой реагент подается в воду второго контура для удаления углекислоты ?

Вопрос 6 Скажите, какой реагент подают в воду для создания оксидной плёнки и химического удаления остаточного кислорода?

Спасибо за внимание