

УДК 621.039.76

## РАЗРАБОТКА РОБОТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УДАЛЕНИЯ ШЛАМА С ДНИЩА ПАРОГЕНЕРАТОРОВ

Шах А.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Чиж В.А.

Одна из основных проблем обеспечения надежности эксплуатации парогенераторов и поддержания их теплопередающей способности на достаточно высоком уровне образование отложений на теплопередающей поверхности трубки, забивание ими межтрубного пространства и скопление осевших отложений на днище парогенератора. Все это влияет на целостность трубки, зависящей от возникновения подшламовой коррозии металла, и ведет к ухудшению теплопередачи между теплоносителями I и II контуров.

Существует большое количество способов снижения количества отложений на трубчатке и днище парогенераторов и, следовательно, поддержания эффективности работы парогенераторов. Среди них можно выделить: ведение водно-химического режима теплоносителя II контура на требуемом уровне; химические отмывки в период выполнения ремонтов; проведение очистки котловой воды путем продувки и др.

Но, несмотря на существование различных методов поддержания трубки в чистом состоянии, в процессе эксплуатации на ней все же образуются отложения, они накапливаются на теплопередающей поверхности и далее часть их отваливается и падает на днище парогенератора. Так как тепловая нагрузка теплообменника зависит от поверхности, то для ее поддержания установлены критерии загрязнения трубки в контрольных точках, при превышении которых рекомендуется проводить химическую отмывку, при этом отваливающийся с труб оседающий на днище шлам не принимается во внимание.

Необходимость выполнения очистки парогенератора от осевшего шлама возникла после обнаружения довольно большого количества дефектов теплообменных труб, получения информации о месте и причинах образования дефектов теплообменных труб методом вихретокового контроля и выявления критических зон поверхности трубки парогенераторов. В результате анализа полученных данных было установлено что наиболее часто дефекты теплообменных труб возникают в нижних рядах со стороны "горячего" коллектора и около дистанционирующих решеток, ближе к "горячему" коллектору. Визуальный осмотр парогенераторов показал значительное количество отложений на днище парогенератора и неравномерность, причем возле "горячего" коллектора, в первых ячейках между дистанционирующими решетками, в некоторых местах количество отложений было намного больше чем в нижних рядах теплообменных труб. Наиболее интенсивное образование отложений на трубчатке и днище со стороны "горячего" коллектора парогенератора полностью соответствует теории, так как тепловая нагрузка по парогенератору распределена неравномерно и наиболее толстые отложения наблюдаются именно в местах с максимальной тепловой напряженностью. Под скоплениями отложений на теплообменных трубах из-за подшламовой коррозии образуются дефекты. Примерное распределение отложений по длине и поперечному сечению в районе "горячего" коллектора парогенератора показано на рис. 1.

Конструкция парогенератора ВВЭР-440 и системы продувки такова, что не позволяет эффективно выводить оседающие твердые частицы отложений с продувочной водой.

Жесткость крепления трубки обеспечивается установленными на днище корпуса парогенератора перегородками, предназначенными для крепления дистанционирующих решеток трубного пучка. Сверху на перегородках, по длине парогенератора расположены три продувочных коллектора, перфорированных с двух сторон для более равномерной продувки. Но из-за малых скоростей продувочной воды и высокого расположения продувочных коллекторов равномерная продувка осуществляется только по длине

парогенератора, вывода же с днища корпуса парогенератора отложений, осыпающихся с трубочатки, не происходит

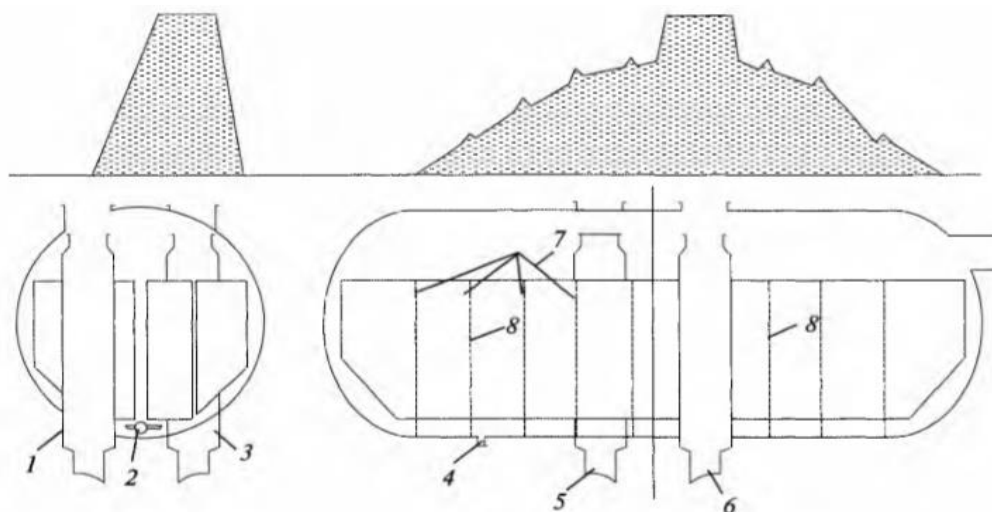


Рисунок 1. Схема распределения отложений по днищу корпуса парогенератора в поперечном сечении в районе «горячего» коллектора и в продольном разрезе.

1,6 — «горячий» коллектор; 2 — продувочный коллектор; 3, 5 — «холодный» коллектор; 4 — дренажный лючок; 7 — перегородки; 8 — трубочатка.

Отложения, образующиеся по всей ширине трубного пучка, в результате термических нагрузок и в процессе переходных режимов отслаиваются и, обладая довольно большой массой (состоят из оксидов железа и меди), падают вертикально вниз по трубным коридорам пучка на днище парогенератора, где и накапливаются. Шламовые отложения скапливаются также в кольцевом технологическом зазоре между коллектором I контура и корпусом парогенератора ("карман"). При этом именно "карман" "горячего коллектора является местом повышенного накопления осыпающихся отложений. Продувка карманов не обеспечивает в полной мере вывод этих отложений, так как организована с двух диаметрально противоположных сторон коллектора; возле них образуются воронки, а дальше, по периметру "кармана", идет накопление отложений, что так же может негативно сказаться на эксплуатации швов № 23 на парогенераторах ВВЭР-440.

Существующие методы химической очистки трубочатки парогенераторов направлены на удаление отложений с теплопередающей поверхности и имеют следующие недостатки при выводе скопившихся на днище шламов: химические реагенты действуют только на поверхности отложений; химическая очистка не происходит в тех местах, куда не проникают химические растворы; процесс очистки длительный и дорогой; отложения на днище парогенераторов отбирают на себя часть химических реагентов, тем самым снижая эффективность очистки трубочатки; в реакторном отделении увеличивается количество жидких отходов.

Исходя из сказанного, можно сделать вывод: наиболее оптимально удалять отложения с днища парогенераторов, из "карманов" и из областей вблизи дистанционирующих решеток механическими методами, а очистку трубочатки от твердых отложений производить уже химическими методами. Таким образом будет достигнута оптимальная эффективность использования химических реагентов, снижено время проведения очистки уменьшено количество жидких отходов, поступающих в спецканализацию.

В соответствии с техническим заданием разработана и опробована роботизированная система по удалению шлама (РСУШ) с нижних образующих парогенераторов, принципиальная схема которой представлена на рис. 2.

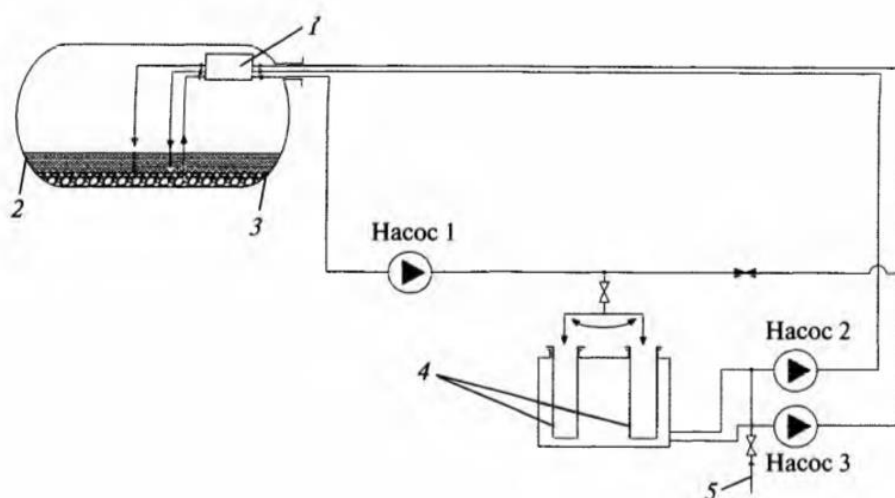


Рисунок 2. Принципиальная схема РСУШ.

1 – робот-манипулятор; 2 – уровень воды; 3 – уровень шлама; 4 – мешки-фильтры; 5 – вода из внешнего источника.

Для обеспечения минимальных дозовых грузов, сокращения времени на монтаж и удобства использования предложена схема установки, состоящей из нескольких блоков. Робот-манипулятор выполняет работы внутри парогенератора. Для его нормального функционирования снаружи установлены блоки насосов и фильтрации, соединенные между собой трубопроводами, а также система управления и видеонаблюдения. Установка подключена к стационарной электрической сети и к источнику водоснабжения.

Работа РСУШ построена по следующему принципу. После расхолаживания и вскрытия парогенератора по II контуру выполняется монтаж системы с установкой робота-манипулятора над одной выбранной ячейкой парогенератора, образованной двумя перегородками. Затем парогенератор и РСУШ с помощью насоса 3 заполняются водой из внешнего источника водоснабжения для обеспечения работоспособности последней и полного покрытия отложений водой для возможного их перевода во взвешенное состояние. Далее РСУШ вводится в работу. Штанга с трубопроводами опускается в область скопления шлама, и в работу включаются насосы 1 и 2.

Насос 2 предназначен для подачи под давлением воды на размывающую форсунку с помощью которой обеспечивается перевод слежавшегося шлама во взвешенное состояние, насос 1 – для откачки из зоны размыва пульпы, состоящей из воды и переведенного во взвешенное состояние шлама.

Далее пульпа по трубопроводам подается в один из двух мешков-фильтров, установленных в специальном баке. В мешке-фильтре происходит отделение шлама от воды, которая собирается в баке и затем насосами 2 и 3 опять подается в парогенератор. После заполнения одного из мешков подача от насоса 1 переводится в другой мешок, а заполненный мешок извлекается для утилизации шлама, на его место ставится новый мешок-фильтр. Таким образом осуществляется замкнутый цикл очистки ячеек парогенератора от шлама.

После очистки одной ячейки установка останавливается, робот-манипулятор крепится на другую ячейку и цикл повторяется.

Для реализации данного алгоритма работы установки специалистами ЗАО "Диаконт" разработана и изготовлена "Роботизированная система по удалению шлама с нижних

образующих парогенераторов ПГВ-4М РСУШ", которая имеет в своем составе следующее основное оборудование:

штанги (телевизионная и для размещения трубопроводов) с системой перемещения – робот – манипулятор;

мостики;

направляющие;

шкаф электропитания и управления;

пульт управления;

технологическое оборудование;

комплект видеонаблюдения;

осветительное оборудование.

Эскиз размещения оборудования приведен на рисунке 3.

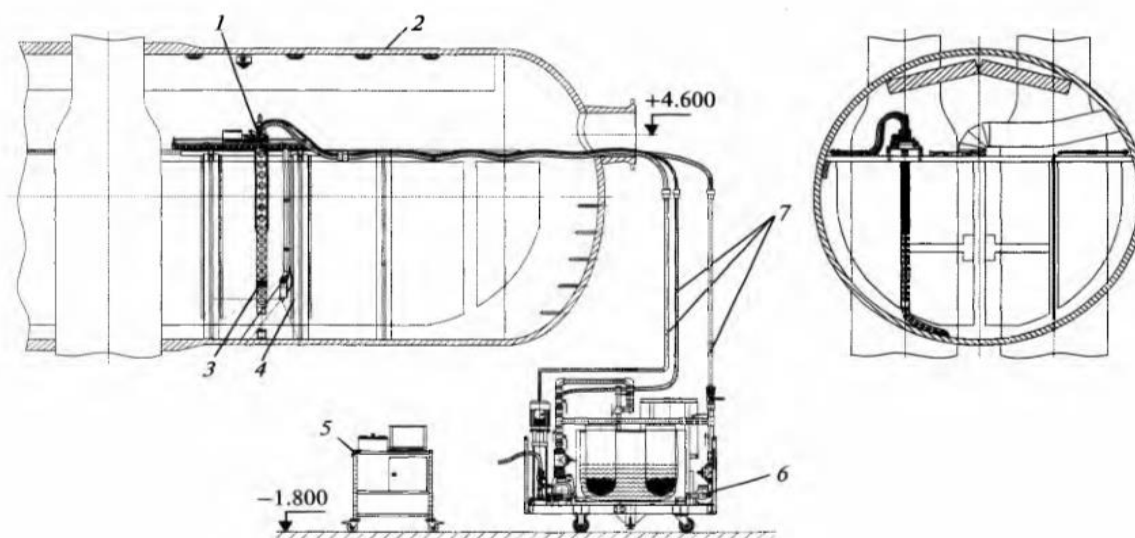


Рисунок 3. Эскиз размещения оборудования РСУШ.

1 – мост и направляющие; 2 – парогенератор ПГВ-4М; 3 – штанга с трубопроводами; 4 – штанга телевизионная; 5 – пульт управления; 6 – технологическое оборудование; 7 – трубопроводы

Для обеспечения удобства выполнения работ внутри парогенератора монтируются мостики, опирающиеся на трубные решетки, с которых ведется монтаж обслуживание внутреннего оборудования РСУШ. Внутри парогенератора монтируется также система перемещения робота-манипулятора со штангами: телевизионной со светильниками и камерой наблюдения и трубопроводами; крепится трубопровод подачи воды низкого давления от насоса 3.

Снаружи монтируется технологическое оборудование, состоящее из рамы, насосов, бака с мешками-фильтрами, трубопроводов и арматуры.

Отдельно размещается пульт управления с системой видеонаблюдения. После подключения внешних источников электро- и водоснабжения РСУШ готова к работе.

Штанга с трубопроводами крепится на направляющей, фиксируемой на двух соседних трубных решетках. Телевизионная штанга устанавливается рядом со штангой с трубопроводами, она обеспечивает освещение и видеоконтроль за процессом очистки секции парогенератора.

Штанга с трубопроводами для обеспечения простоты монтажа и удобства очистки выполнена в виде специальной складывающейся конструкции. К ней прикреплена размывающая форсунка, в которую подается вода от насоса 2 (см. рис. 2) под давлением 17 МПа, что позволяет размыть и перевести во взвешенное состояние отложения. На этой же штанге установлен всасывающий трубопровод насоса 1 для откачки взвеси с расходом

примерно 15 м<sup>3</sup>/ч. Такая конструкция штанги позволяет вести откачку шламовой взвеси в месте, где количество шлама максимально, что повышает эффективность системы.

Направляющая оборудована приводом для перемещения штанги вдоль межтрубного коридора, а штанга - приводом вертикального перемещения размывающей и откачивающей форсунок. Такая конструкция штанги позволяет подвести размывающую и откачивающую форсунки под трубный пучок, вплоть до продувочного коллектора парогенератора, что обеспечивает удаление шлама из всей секции парогенератора.

Для наилучшего перемещения форсунок вдоль нижней образующей в нижней части штанги, на насадке форсунками, сделано дополнительное отверстие в противоположном направлении от направления форсунок, в которое также подается вода от высоконапорного насоса, при этом используется реактивное действие струи для продвижения форсунок вдоль днища парогенератора.

Для отмывки образующей парогенератора под трубчаткой выше трубного коридора шланг от низконапорного насоса 3 (см. рис. 2) располагается вдоль образующей парогенератора в этой же ячейке. Вода смывает шлам с корпуса парогенератора в зону откачки.

Отмывка днища парогенератора начинается с межтрубного коридора, вдоль которого постепенно перемещается с помощью приводов насадка с размывающей и откачивающей форсунками. По мере отмывки к перемещению по межтрубному коридору добавляется движение насадки в вертикальном направлении.

Контроль за выполнением отмывки ведется посредством видеонаблюдения за процессом, а также путем проверки содержания шлама в пульпе, подаваемой в мешки-фильтры. После заполнения мешка-фильтра откачка переводится в другой мешок-фильтр, а заполненный извлекается и утилизируется, на его место устанавливается новый мешок.

Закончив очистку одной секции парогенератора, установка перемещается на другую секцию, и цикл очистки повторяется. После полной очистки парогенератора его дренирование осуществляется по штатным линиям.

Таким образом, внедрение РСУШ позволяет решить проблемы очистки парогенераторов от шлама и при этом избежать недостатков методов размыва и вакуумного удаления шлама. Возможность же эксплуатации установки двумя людьми при нахождении их большую часть времени вне парогенератора способствует существенному снижению дозовых нагрузок на персонал при выполнении данной работы.

### Литература

1. Кучеренко О.В. Роботизированная система удаления шлама с днища парогенераторов / О.В. Кучеренко // Теплоэнергетика [электронный ресурс]. – 2014 - №2 – Режим доступа: [http://tepen.ru/uploads//archive/2014/02\\_14.pdf](http://tepen.ru/uploads//archive/2014/02_14.pdf)

2. Шваров В.А. Роботизированная система удаления шлама с днища парогенераторов / В.А. Шваров // Глобальная ядерная безопасность [электронный ресурс]. – 2013 - №2(7) – Режим доступа: [http://www.viti-mephi.ru/sites/default/files/pages/docs/gyb\\_27.pdf](http://www.viti-mephi.ru/sites/default/files/pages/docs/gyb_27.pdf)