

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНО-МЕТОДИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СРОКОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ВТОРОГО КОНТУРА*

В.И. Бараненко, С.Г. Олейник, Л.С. Светлова, Р.С. Истомин, С.А. Баклашов
ЭНИЦ ВНИИАЭС, г. Электрогорск



В докладе представлены описания компьютерных программ (программные средства – ПС), используемых для прогнозирования повреждений трубопроводов (ПС ЭКИ-02) и паропроводов (ПС ЭКИ-03) второго контура АЭС с ВВЭР-440.

ПС ЭКИ-02 и ЭКИ-03 аналогичны известному компьютерному коду SNECWORKS.

Программы позволяют выполнять расчеты эрозионно-коррозионного износа стенок (расчет утонения и скорости утонения (прямая задача), физико-химических и тепло-гидравлических характеристик трубопроводов (обратная задача) за расчетный интервал времени для трубопроводов с однофазной и двухфазной средой второго контура на АЭС с ВВЭР-440.

В ПС ЭКИ-02 и ЭКИ-03 в качестве исходных данных используются следующие параметры второго контура: температура и скорость теплоносителя, значения показателей ВХР (рН, концентрация кислорода), конструктивные особенности элементов оборудования и трубопроводов, длительность эксплуатации, химический состав металла элементов трубопроводов и ряд других.

С помощью ПС ЭКИ-02 и ЭКИ-03 проведены расчеты скорости ЭКИ оборудования и трубопроводов второго контура АЭС.

ПС ЭКИ-02 и ЭКИ-03 могут использоваться на эксплуатирующихся энергоблоках и при их проектировании с целью повышения эксплуатационной надежности элементов оборудования и трубопроводов АЭС.

Эрозионно-коррозионный износ (ЭКИ) является распространенным видом повреждения теплотехнического оборудования и элементов трубопроводных систем АЭС, изготовленных из сталей перлитного класса. Тяжелые аварии по причине ЭКИ происходят достаточно редко, и чаще всего, ЭКИ трубопроводов заканчивается образованием сквозных повреждений. Поэтому снижение или подавление ЭКИ оборудования и элементов трубопроводных систем второго контура является одной из наиболее актуальных проблем при эксплуатации АЭС [1-3].

Несмотря на значительные убытки вследствие ЭКИ, этой проблеме в атомной энер-

© В.И. Бараненко, С.Г. Олейник, Л.С. Светлова, Р.С. Истомин, С.А. Баклашов, 2004

*Доклад с VIII Международной конференции “Безопасность АЭС и подготовка кадров” (Обнинск, 6-8 октября 2003 г.)

гетике серьезного внимания не уделялось вплоть до аварии на АЭС «Сарри-2» 9 декабря 1986 г. Во время аварии на АЭС был разрушен трубопровод питательной воды с температурой 170°C, диаметром 18 дюймов (457,2 мм). Компания «Вирджиния Пауэр», являющаяся владельцем АЭС «Сарри-2», сообщила, что поврежденный трубопровод за время эксплуатации не подвергался осмотру, поскольку при проектировании был рассчитан на 40 лет службы. После аварии был остановлен также и блок «Сарри-1» с целью более тщательного осмотра трубопроводов обоих блоков. В результате была выявлена необходимость замены еще около 40 участков трубопроводов. Ремонт поврежденных участков АЭС «Сарри-1, 2» обошелся компании в 2 млн. долл. Продолжительность ремонта на «Сарри-1» составила шесть недель, на «Сарри-2» – два месяца [4].

Во многих странах, имеющих в эксплуатации аналогичные реакторные установки, после этой аварии резко возрос интерес к изучению проблемы ЭКИ. Были разработаны национальные программы, направленные на повышение надежности теплотехнического оборудования и трубопроводов второго контура АЭС.

После аварии на АЭС «Сарри-2» Институт эксплуатации АЭС США (INPO) совместно с Американским обществом инженеров-механиков (ASME) при участии Комитета ядерного регулирования (NRC) и специалистов из Электроэнергетического института (EPRI) начали интенсивную работу, направленную на повышение надежности теплотехнического оборудования и трубопроводов. В задачи Научно-исследовательского института EPRI входила разработка программных средств (software package) для расчета интенсивности ЭКИ. В ПС CHEC (Chexal Horowitz Erosion Corrosion) для расчета интенсивности ЭКИ в однофазной среде использована эмпирическая модель, позволяющая предсказывать потерю металла оборудования и трубопроводов. Для расчета интенсивности ЭКИ в трубопроводах с двухфазной средой было разработано ПС CHECMATE. Дальнейшее развитие работ позволило специалистам EPRI создать ПС CHEC-NDE, CHEC-T, CHECWORKS [5-8].

В Германии в Департаменте производства энергии KBU (АО Сименс) при поддержке EPRI разработано ПС WATHEC (Wall Thinning due to Erosion Corrosion) и DASU, которые позволяют определять на участках трубопроводов и оборудовании АЭС места, подверженные ЭКИ. Во Франции разработано ПС BRT-CICERO, в Германии и Франции – комплексное программное средство COMSY, предназначенное для управления сроком эксплуатации оборудования и трубопроводов АЭС.

На сегодняшний день решение проблемы по снижению скорости ЭКИ на АЭС РФ очень актуально. Так 26 марта 2003 г. на первом энергоблоке Калининской АЭС возникла течь на трубопроводе сброса конденсата греющего пара ПВД в деаэратор 7 ата. диаметром 630 мм с температурой среды 190°C. Причиной столь крупной аварии явился эрозионно-коррозионный износ трубопровода, изготовленного из углеродистой стали на прямом участке за секторным отводом на расстоянии 25-30 мм от сварного соединения. Для устранения данной аварии первый энергоблок Калининской АЭС простоял в ремонте 4 сут.

В РФ специалистами ВНИИАЭС и ЭНИЦ ВНИИАЭС разработаны ПС ЭКИ-02 для расчета эрозионно-коррозионного износа элементов трубопроводных систем с однофазной средой и ПС ЭКИ-03 – для элементов трубопроводных систем с двухфазной средой, аналогом для которых явился ПС CHECWORKS. Разработанные ПС в настоящее время проходят стадии аттестации в надзорных органах и адаптации на пилотных АЭС РФ.

Схема взаимодействия структурных единиц программного средства ЭКИ-03 приведена на рис. 1. На этой схеме указан перечень факторов, определяющих скорость эрозионно-коррозионного износа трубопроводов с двухфазной средой.

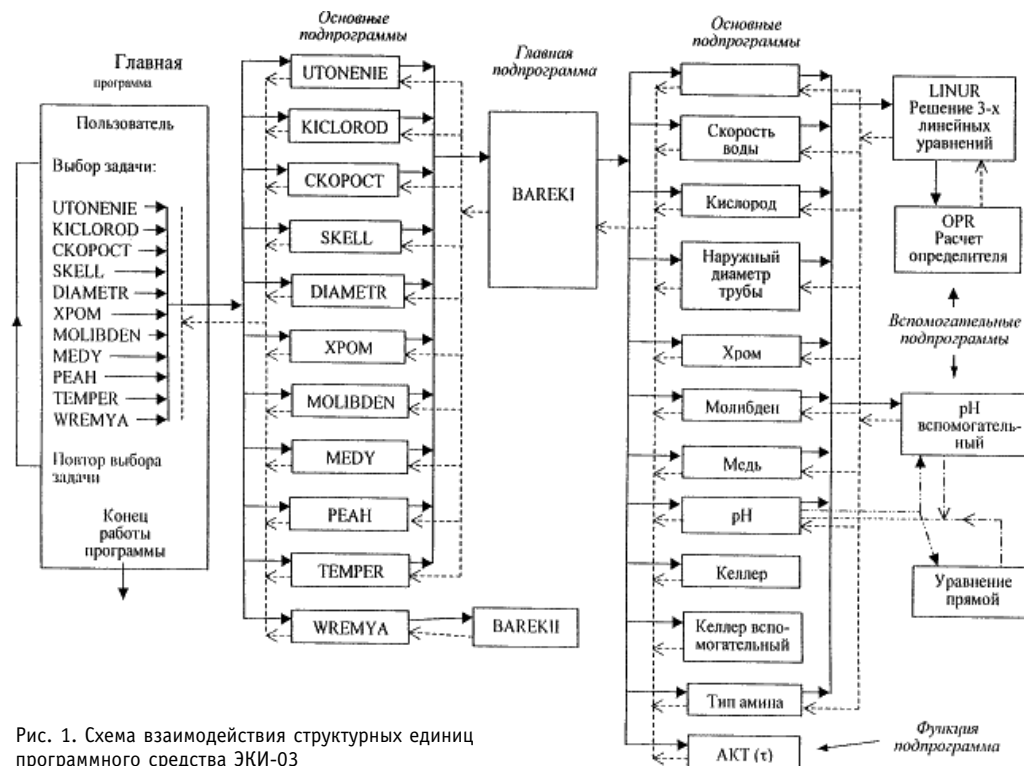


Рис. 1. Схема взаимодействия структурных единиц программного средства ЭКИ-03

Сопоставление результатов расчетов с данными эксплуатационного контроля ЭКИ гибов паропроводов представлено в табл. 1.

ПС ЭКИ-02 и ЭКИ-03 учитывают влияние гидродинамических условий, применяемого водно-химического режима (ВХР), геометрии участков трубопроводной системы, химического состава металла трубопровода, длительности его эксплуатации. С использованием ПС ЭКИ-02 и ПС ЭКИ-03 проведены расчеты скорости ЭКИ элементов трубопроводных систем, которые находились в условиях длительной эксплуатации на блоках № 3 и № 4 НВАЭС. Расчетные величины максимальных утонений элементов трубопроводных систем совпадают с данными эксплуатационного контроля с погрешностью до $\pm 50\%$.

Участок трубопровода подвода питательной воды к парогенераторам ПГ-4, ПГ-5, ПГ-6 блока 3 НВАЭС приведен на рис. 2. Кружочками выделены гибы, подверженные ЭКИ.

Сопоставление результатов эксплуатационного контроля с расчетными данными, полученными с помощью ПС ЭКИ-02 представлено на рис. 3.

При проведении расчетов с помощью программных средств необходимо располагать достаточно большим объемом информации по режимным параметрам, по конструктивным особенностям и трассировке трубопроводов, значениям показателей ВХР, химическому составу применяемых конструкционных материалов, данными эксплуатационного контроля для каждого из рассчитываемых элементов в различные годы эксплуатации и т.д.

Несмотря на большой объем работ, связанных с внедрением на АЭС программных средств, количество энергоблоков, использующих ПС, продолжает увеличиваться. Это объясняется тем, что внедрение ПС для расчета интенсивности ЭКИ приносит значительный экономический эффект за счет сокращения количества мест контроля ме-

Таблица 1

Сопоставление результатов расчета и эксплуатационного контроля ЭКИ гибов паропроводов

Номер. закл.	Номер стыка		Дата замера	Срок эксл. лет	Макс. утон. мм	Макс. скор. ЭКИ	Состав стали			Расчет скор., мм/год	Расчет утон. мм	Погрешн расч. %
	на входе	на выходе					Cr, %	Mo, %	Cu, %			
2003	73	74	06.07.93	22	2,9	0,13	0,03	0,05	0,03	2,9	0,13	0
2003	74	75	06.07.93	22	3,2	0,15	0,03	0,03	0,03	3,3	0,15	3
2003	78	79	06.07.93	22	2,3	0,11	0,03	0,15	0,03	2,4	0,11	4
2003	79	80	06.07.93	22	1,1	0,05	0,10	0,10	0,03	1,1	0,05	0
2003	80	81	06.07.93	22	1,7	0,08	0,05	0,10	0,03	1,8	0,08	6
468/96	73	74	27.09.96	25	2,8	0,11	0,03	0,10	0,03	2,8	0,11	0
468/96	78	79	27.09.96	25	2,7	0,11	0,03	0,10	0,03	2,8	0,11	4
468/96	79	80	27.09.96	25	1,0	0,04	0,15	0,03	0,03	1,0	0,04	0
468/96	80	81	27.09.96	25	1,6	0,06	0,09	0,03	0,03	1,6	0,06	0
При К _{кел} = 0,52												
2003	81	82	06.07.93	22	4,6	0,21	0,03	0,08	0,03	4,7	0,21	2
347/96	81	82	04.10.96	25	5,0	0,20	0,03	0,08	0,03	5,0	0,20	0

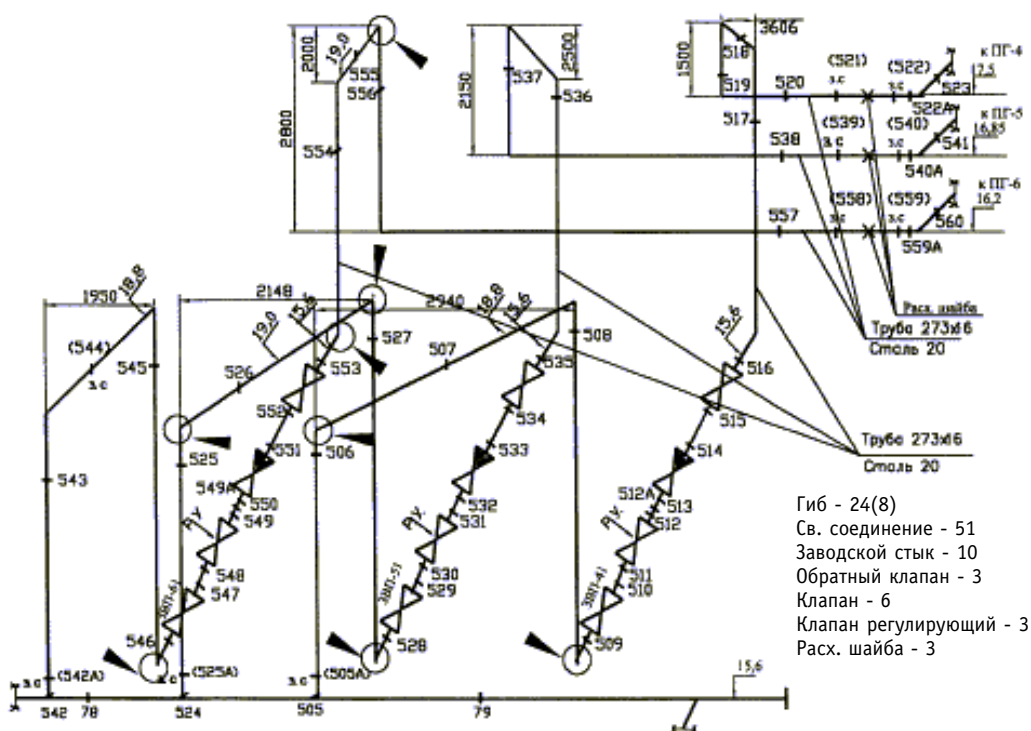


Рис. 2. Подвод питательной воды к парогенераторам ПГ-4, ПГ-5, ПГ-6

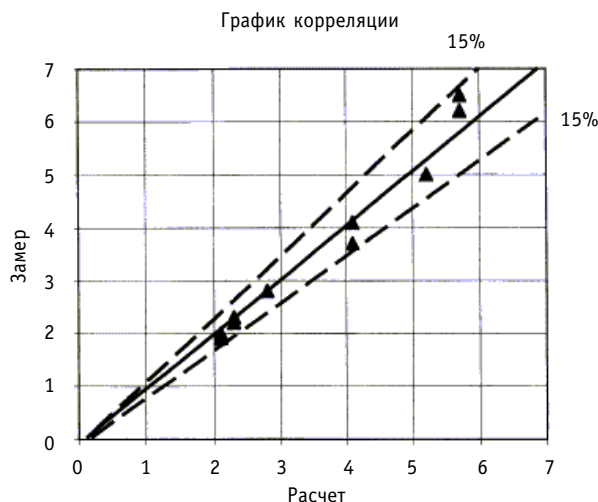


Рис. 3. Сопоставление результатов расчета и эксплуатационного контроля ЭКИ

талла во время остановов энергоблоков, уменьшения вероятности повреждения трубопроводов в межремонтный период, своевременной замены или ремонта подверженных ЭКИ участков трубопроводов. Приблизительная стоимость приобретения и внедрения ПС по расчету ЭКИ на зарубежных АЭС составляет (100÷150) тыс. долл. Затраты, связанные с их внедрением на АЭС США, окупаются примерно через полгода [9-11].

ВЫВОДЫ

1. Эрозионно-коррозионный износ является наиболее распространенным механизмом деградации оборудования и элементов трубопроводных систем АЭС, изготовленных из сталей перлитного класса.
2. Для диагностики и прогнозирования длительности безопасной эксплуатации элементов трубопроводных систем, подверженных ЭКИ, разработаны и находят широкое применение на АЭС программные средства (ПС).
3. Программные средства, используемые для расчета интенсивности ЭКИ, учитывают: режимные параметры; показатели ВХР; концентрацию в металле хрома, меди; геометрические характеристики; длительность эксплуатации.
4. Для расчета интенсивности ЭКИ на АЭС РФ разработаны ПС ЭКИ-02, ЭКИ-03, которые в настоящее время находятся в стадии аттестации и верификации.
5. Внедрение ПС по расчету интенсивности ЭКИ на АЭС приносит значительный экономический эффект за счет сокращения количества мест контроля металла во время остановов энергоблоков, уменьшения вероятности нарушения целостности трубопроводов, своевременной замены или ремонта подверженных ЭКИ участков трубопроводов.
6. Приблизительная стоимость внедрения ПС по расчету ЭКИ на АЭС составляет (100÷150) тыс. долл. Затраты, связанные с их внедрением на АЭС США, окупаются примерно через полгода.

Литература

1. Бараненко В.И., Нигматулин Б.И., Щедеркина Т.Е. и др. Эрозионно-коррозионный износ оборудования атомных электростанций//Атомная техника за рубежом.- 1995. – № 8. – С. 9-15.
2. Бараненко В.И., Малахов И.В., Судаков А.В. и др. О характере эрозионно-коррозионного износа трубопроводов на 1 энергоблоке ЮУАЭС//Теплоэнергетика. – 1996. – № 12. – С. 55-60.

3. Степанов И.А. Мониторинг остаточного ресурса оборудования АЭС по показателям коррозионно-механической прочности конструкционных материалов//Теплоэнергетика. – 1994. – № 9. – С. 36-39.
4. Авария на АЭС «Сарри-2»//Атомная техника за рубежом. – 1987. – № 10. – С. 43.
5. Chexal B., Mahini R., Munson D. CHECWORKS™ an integrated computer program for controlling flow accelerated corrosion/The forth Inter. Top. Meeting on Nuclear Thermal Hydraulics Operations and Safety Taipei. – Taiwan. – 1994. – 9. – 6 p.
6. Bridgeman J., Ker R. S. Erosion/Corrosion data handling for reliable NDE//Nuclear Eng. and Design. – 1991. – 5.131. – P. 285-297.
7. Chexal B., et. al. Predicting corrosion damage the CHECWORKS software package//Nucl. Eng. Inter. December. – 1992. – P. 22-25.
8. Chexal V.K. (Bind), Horowitz J.S. Chexal- Horowitz Flow-Accelerated Corrosion Model-Parameter and Influences. Current perspective. of Inter. Pressure vessels and Piping: Codes and Standard. Book. – 1995. – №. 409768. – P. 231-243.
9. Проблемы повышения конкурентоспособности АЭС в США//Мировая электроэнергетика. – 1997. – № 2. – С. 37-42.

Поступила в редакцию 2.03.2004

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.039.53

Influence of Choice Design Materials on NPP PWR and VVER SG Damage \V.I. Baranenko, S.G. Oleinik, O.A. Belyakov, L.S. Osipova, R.S. Istomin; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 11 pages, 3 illustration, 6 tables. – References 5 titles.

Erosion-corrosive wear (ECW) is a common damage of NPP processing equipment and pipelines. Practically all elements of the condensate-feeding circuit of NPP turbo-installations are subjected to ECW. In most cases other wear modes of metal are running simultaneously with the above process.

Selection of material determines substantially the reliability and residual life of the plant.

Susceptibility of austenitic nickel-chromium alloys to corrosion cracking in different corrosive mediums depends substantially on chemistry. So, nickel and chromium influence on susceptibility to chloride cracking. Austenitic steels with 70% content of nickel are susceptible to intergranular cracking under pressure in primary circuit water, and with under 15% content of nickel are susceptible to transcrystalline cracking, when chloride concentration in the coolant is high.

The evolution of materials applied was more radical in oversea steam-generator construction. At the beginning of 70-s austenitic steels AJSJ 304 and AJSJ 316 were changed into high-nickel alloys Inkonel-600MA. As the operation life increased, the view of these alloys use were revised: improved steels Inkonel-600TT, Inkonel-690TT and Inkonel-800 came to be used. The improved steels are more resistant to intergranular and transcrystalline cracking.

In domestic SG stainless steel 08X18H10T is used. It's considered that for steam generators without horizontal tube plate life characteristics of tube systems from this steel are ensured.

Operation experience of domestic NPP showed that a large in number destructions of tube systems due to chloride corrosive cracking both at VVER-1000 NPP and VVER-440 NPP is discovered. To a certain extent consequences of tube destructions are graded by possible repairing of steam generators.

To determine more exactly residual life and to predict operation life of the pipelines a set of basic factors, such as thermohydraulic, geometric and a factor of no small importance – steel chemistry, should be available.

УДК 621.039

Usage of Software-Methodical Complexes for NPP Second Circuit Elements Lifetime Management \V.I. Baranenko, S.G. Oleynik, L.S. Osipova, R.S. Istomin, S.A. Baklashov; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 6 pages, 3 illustration, 1 table. – References 9 titles.

The descriptions of PC programs (software) implementing for predicting of pipelines damages (software EKI-02) as well as steamlines (software EKI-03) of secondary circuit damages at NPPs with WWER-440 are represented in this report.

PC EKI-02 and PC EKI-03 are similar to well-known PC code CHECWORKS.

These programs allow to carry out the calculations on erosion-corrosion wear (ECW) of walls calculation of thinning and thinning velocity (direct problem), physical-chemical and thermal-hydraulic characteristic of pipelines (inverse problem) over a rated time period for pipelines with single and two-phase medium of secondary circuit at NPPs with WWER-440.

The following parameters of secondary circuit are used as initial data in software EKI-02 and EKI-03: temperature and velocity of coolant, water chemistry value (pH, oxygen concentration), design features of equipment components and pipelines, duration of operating, chemical composition of pipelines components metal and others.

The calculations on the velocity of ECW of the equipment and pipelines of the NPPs secondary circuit were carried out by means of PC EKI-02 and PC EKI-03.

УДК 621.039.548:53.

Ultrasonic Converters for the Automated Ultrasonic Installation of Diagnostics the Bent Pipelines of NPPs \A.I. Trofimov, S.I. Minin, A.N. Savin; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy.