

С. О. Лысцов¹, Н. П. Майстренко¹, А. А. Захарченко², М. А. Хажмурадов²

¹ ОП «Запорожская АЭС» ГП НАЭК «Энергоатом», Энергодар

² ННЦ ХФТИ, Харьков

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НОРМИРУЕМОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА В ОТКРЫТЫХ ПРОЕМАХ ПОМЕЩЕНИЙ ЗОНЫ «СТРОГОГО» РЕЖИМА АЭС

Проведен анализ решений, принятых проектной организацией, по обеспечению нормируемой скорости движения воздуха в открытых проемах помещений зоны «строгого» режима АЭС с реактором ВВЭР-1000, выявлены их недостатки. Выработаны рекомендации по обеспечению данного параметра на новых и достраиваемых блоках, внесению изменений в нормативную документацию.

Ключевые слова: системы вытяжной вентиляции, АЭС, реакторная установка, ВВЭР-1000.

Введение

Действующей нормативной документацией устанавливаются значения скорости движения воздуха в открытых проемах помещений зоны «строгого» режима. Количество воздуха, удаляемого вытяжной системой из полуобслуживаемых помещений, должно быть не менее расхода, который необходим для создания скорости движения воздуха в открытом проеме двери не менее 0,3 м/с (п. 13.7.8 [1]). Системы вытяжной вентиляции при ремонтных работах также должны обеспечивать в открываемых проемах периодически обслуживаемых помещений и необслуживаемых помещений, не рассчитанных на давление, скорость удаляемого воздуха не менее 0,3 м/с (п. 10.36 [2]).

На период ремонта следует предусматривать увеличение количества удаляемого воздуха из данных помещений за счет включения резервного агрегата вытяжных систем. Целесообразно также на период ремонта лимитировать количество одновременно открываемых проемов помещений и использовать устройства по уменьшению живого сечения проемов.

Воздухообмен герметичных необслуживаемых помещений в ремонтном режиме следует проверять по условиям создания скорости воздуха в открытом проеме (1 м/с согласно п. 13.7.9 [1]). При ремонтных работах скорость воздуха в открываемых проемах необслуживаемых помещений, рассчитанных на давление, также должна быть не менее 1 м/с (согласно п. 10.34 [2]).

Опыт эксплуатации систем вентиляции АЭС показывает, что указанные выше требования нормативных документов невыполнимы или выполняются с большим трудом.

Анализ проектных решений

Выполним анализ выполнимости требований указанных нормативных документов на примере блока № 5 Запорожской АЭС.

При нахождении топлива под герметичной оболочкой запрещено одновременное открытие ворот и люка транспортного шлюза, либо двух дверей основного и аварийного шлюза [3]. Проектные расходы воздуха ремонтно-аварийных систем вентиляции гермооболочки на блоках АЭС с реактором ВВЭР-1000 имеют значения: приточной системы TL41D01 – 72 500 м³/ч; вытяжной системы TL21D01 – 80 000 м³/ч.

Разность расходов воздуха вытяжной и приточной систем вентиляции составляет 7 500 м³/ч, при этом скорость движения воздуха в открытом проеме двери основного саншлюза габаритами 1,2 × 2,0 м составляет

$$v = \frac{7500}{3600 \cdot 1,2 \cdot 2} = 0,87 \text{ м/с}, \quad (1)$$

что не соответствует требованиям действующих нормативных документов.

© С. О. Лысцов, Н. П. Майстренко, А. А. Захарченко, М. А. Хажмурадов, 2012

Скорость движения воздуха в открытом проеме двери аварийного саншлюза диаметром $\varnothing 1\ 600$ мм составляет

$$v = \frac{7\ 500}{3\ 600 \cdot \pi \frac{1,6^2}{4}} = 1,04 \text{ м/с}, \quad (2)$$

что соответствует требованиям действующих нормативных документов.

Фактическое значение скорости движения воздуха в проеме двери основного или аварийного саншлюза может быть менее рассчитанного по формулам (1) и (2) за счет:

отклонений расхода воздуха приточной и вытяжной систем вентиляции от проектных значений, допускаемых п. 4.19 [4] (например, расход воздуха приточной системы будет больше проектного значения, а расход воздуха вытяжной системы – меньше проектного значения);

увеличения перепада давления воздуха на аэрозольных и йодных фильтрах вытяжной системы вентиляции.

При этом согласно п. 4.19 [4] отклонения показателей по расходу воздуха от предусмотренных проектом допускаются в пределах $\pm 10\%$ для общеобменных систем вентиляции при условии обеспечения требуемого подпора (разрежения) воздуха в помещении.

На блоках АЭС с реактором ВВЭР-1000 удаление воздуха из помещений зоны «строгого» режима, расположенных в обстройке и фундаментной части реакторного отделения, производится системами вытяжной вентиляции:

TL23, TL28, TL29, на которых установлены аэрозольные и йодные фильтры;

TL24, TL25, TL26, TL27, TL30, на которых фильтры не установлены.

Для выполнения требований действующих нормативных документов расход воздуха, удаляемого из помещения зоны «строгого» режима, размер герметичной двери которого $0,9 \times 2,0$ м, должен быть не менее

$$L = 0,3 \cdot 0,9 \cdot 2 \cdot 3\ 600 = 1\ 940 \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (3)$$

Из находящихся в фундаментной части и обстройки 144 необслуживаемых и полуслуживаемых помещений рассматриваем 114 в связи с наличием смежных помещений, имеющих проемы для перетока воздуха, а также помещений, вход в которые предусмотрен проектом из других помещений. Значения объемного расхода воздуха, удаляемого из указанных помещений и количество помещений, приведены в таблице.

Величины объемного расхода воздуха, удаляемого из помещений блока № 5 ЗАЭС

Расход воздуха, м ³ /ч	Количество помещений	Расход воздуха, м ³ /ч	Количество помещений
до 200	44	601...800	11
201...400	33	801...1000	6
401...600	17	более 1940	3

Согласно проекту для создания безопасной скорости движения воздуха в дверных проемах помещений контролируемой зоны вводятся в работу одновременно оба вентилятора системы TL23, удаляемый из помещений воздух не проходит очистку на аэрозольных и йодных фильтрах. В этом режиме расход воздуха указанной системы увеличивается в 1,7 раза. Однако, как видно из таблицы, количество помещений, в которых расход воздуха превышает рассчитанную по формуле (3) величину, при этом не изменяется. Режим работы остальных систем вытяжной вентиляции при планово предупредительном ремонте (ППР) блока не изменяется.

Таким образом, ограничение количества одновременно открытых дверных проемов в помещениях обстройки и фундаментной части зоны «строгого» режима на действующих энергоблоках не имеет смысла, какие-либо устройства по уменьшению живого сечения проемов не предусмотрены проектом.

Анализ предложений по доработке систем вентиляции

Обеспечить нормируемое значение скорости движения воздуха в проеме двери основного или аварийного саншлюза (п. 13.7.9 [1]) можно, увеличив расход воздуха приточной системы вентиляции TL41D01 за счет изменения положения лопаток направляющего аппарата.

В то же время требования п. 13.7.8 [1] невыполнимы по следующим причинам:

в них не уточняется, как в п. 10.36 [2], что это требование распространяется только на ППР блока;

для обеспечения проектного значения расхода воздуха в каждом помещении зоны «строгого» режима не менее $1940 \text{ м}^3/\text{ч}$ согласно формуле (3) необходим общий расход воздуха систем приточно-вытяжной вентиляции не менее $2,2 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{ч}$, что нереально;

воздуховоды вытяжных систем вентиляции зоны «строгого» режима проектировались по общепринятым правилам, например [4, с. 193], т.е. расчетная скорость движения воздуха в них по направлению от концевых участков к вентиляторам увеличивалась с $4 \dots 6$ до $13 \dots 15 \text{ м/с}$. При этом значительное увеличение расхода воздуха, удаляемого из любого помещения, например с проектного значения $150 \text{ м}^3/\text{ч}$ до $1940 \text{ м}^3/\text{ч}$, невозможно.

Обеспечить нормируемое значение скорости движения воздуха в открытых проемах помещений обстройки и фундаментной части в ППР блока согласно п. 10.36 [2] можно переносными вентиляционными установками типа «Краб» или «Лань» (без очистки воздуха). При этом для выброса удаляемого воздуха в атмосферу необходима прокладка коллекторов в шахтах с отметки $-4,200$ до помещения вентиляционной трубы и выполнение разводки воздуховодов по каждой отметке. На действующих блоках АЭС такой объем работ выполнить нереально.

Согласно п. 4.28 [4] к круглосуточно работающей системе общеобменной вытяжной вентиляции, оборудованной резервным вентилятором, допускается присоединять местные отсосы вредных веществ, если не требуется очистка воздуха от них. Так как все системы вытяжной вентиляции реакторного отделения удовлетворяют этим требованиям, присоединять к ним воздуховоды от переносных вентиляторов разрешается, но сечения воздуховодов недостаточны, чтобы обеспечить при этом внутри них разрежение, т.е. вредные вещества по воздуховодам будут распространяться в другие помещения.

Выполнить требования п. 10.36 [2] возможно, если использовать компактные передвижные вентиляционные установки с расходом воздуха не менее $2000 \text{ м}^3/\text{ч}$ и очисткой воздуха от аэрозолей (должно быть также исполнение с очисткой воздуха от аэрозолей и йода).

Для выполнения этих требований предлагается следующая схема: передвижные вентиляционные установки устанавливаются в помещении, в котором выполняются ремонтные работы, чистый воздух в указанное помещение поступает из коридора, обеспечивая в открытом проеме двери нормируемую скорость движения воздуха, очищенный воздух по гибкому воздуховоду удаляется за пределы помещения. Диаметр гибкого воздуховода будет примерно 200 мм , что позволяет прокладывать его через открытый проем двери.

Однако передвижные установки с аэрозольными и йодными фильтрами непригодны для местной вентиляции при ремонтных работах, при которых в воздух выделяются растворители, например при окраске или ремонте антикоррозионного покрытия. Поэтому на действующих АЭС при выполнении указанных работ придется решать вопрос о временной вентиляции помещений в индивидуальном порядке.

Таким образом, на действующих АЭС с реактором ВВЭР-1000 требования нормативных документов в части обеспечения нормируемой скорости движения воздуха:

п. 13.7.8 [1] – невыполнимы;

п. 10.36 [2] – выполнимы при условии применения компактных передвижных вентиляционных установок с очисткой воздуха;

п. 13.7.9 [1] и п. 10.34 [2] – выполнимы за счет организационных мероприятий.

Рекомендации для новых и достраиваемых блоков АЭС

На новых и достраиваемых блоках для обеспечения нормируемого значения скорости движения воздуха в проеме двери основного или аварийного саншлюза рекомендуется включить в проект:

направляющий аппарат с электроприводом на вентиляторе TL41D01, выполнить дистанционное управление положением его лопаток из помещений АВ908, АВ618 (пост управления установить в непосредственной близости от саншлюзов);

для измерения скорости движения воздуха в сечении основного или аварийного саншлюза включить в заказную спецификацию переносные средства измерительной техники с нижним пределом измерения данного параметра 0,2 м/с, например рудничные анемометры АПР-2.

На достраиваемых блоках рекомендуется:

на системе вытяжной вентиляции с двойной очисткой TL23 аннулировать клапан герметичный TL23S05, не рассматривать режим работы при ППР блока с двумя работающими вентиляторами и открытым байпасом;

в части помещений I категории радиационной опасности, расположенных на отметке 13,200 и выше (например, А423, А753), учитывая опыт эксплуатации действующих блоков, следует рассмотреть возможность увеличения расхода удаляемого из них воздуха в ППР блока;

включить в заказную спецификацию, проанализировав опыт ремонтных работ на АЭС для возможности выполнения заданного объема работ, достаточное количество компактных передвижных вентиляционных установок с очисткой воздуха и гибких воздуховодов.

Заводам-изготовителям рекомендуется разработать и освоить серийное производство компактных передвижных вентиляционных установок с очисткой воздуха. Следует отметить, что при невыполнении данной рекомендации проектные организации, вероятнее всего, будут использовать в проектах новых и достраиваемых блоков передвижные вентиляционные установки типа F1...F4 производства фирмы Lüftfilterbau (ФРГ), характеристики которых приведены в [5]. Эти вентиляционные установки применены проектными организациями России в проекте АЭС-2006.

На новых блоках для удаления вредных веществ из помещений обстройки и фундаментной части при выполнении ремонтных работ рекомендуется, кроме использования компактных передвижных вентиляционных установок с очисткой воздуха, включить в проект дополнительно вытяжные системы вентиляции, аналогичные по устройству системам удаления продуктов сгорания UV64:

предусмотреть две системы вытяжной вентиляции с аэрозольными фильтрами для удаления воздуха от временных рабочих мест (коллекторы проложить в трубопроводных шахтах, на каждой отметке установить патрубки с заглушками);

предусмотреть возможность регулирования объемного расхода воздуха указанных систем при изменении количества временных рабочих мест;

включить в заказные спецификации необходимое количество передвижных вентиляционных установок (без очистки) и гибких воздуховодов.

Ремонтный персонал АЭС перед выполнением сварочных и других работ, при которых выделяются вредные вещества, будет устанавливать передвижные вентиляционные установ-

ки, прокладывать гибкие воздуховоды от патрубков в соответствующие помещения и вводить в работу указанные системы вентиляции.

При пересмотре нормативного документа [4] и руководящего документа [1] рекомендуется:

исключить из них невыполнимые требования;

привести в них перечень помещений зоны «строгого» режима или категорий радиационной опасности помещений, в открытых проемах которых при ППР блока необходимо обеспечивать нормируемое значение скорости движения воздуха;

установить допускаемые отклонения от проектных расходов воздуха систем приточно-вытяжной вентиляции гермооболочки (или разности расходов воздуха приточной и вытяжной систем вентиляции) для обеспечения нормируемой скорости движения воздуха в основном или аварийном саншлюзе, указать рекомендуемые средства для обеспечения соответствующих режимов работы вентиляции.

Выводы

В работе рассмотрены решения проектной организации, направленные на обеспечение нормируемого значения скорости движения воздуха в проемах помещений зоны «строгого» режима АЭС с реактором ВВЭР-1000. Проведенный анализ показал, что используемые системы вентиляции в ряде случаев неспособны обеспечить скорость движения воздуха, устанавливаемую нормативной документацией. Для устранения обнаруженных недостатков на эксплуатируемых блоках рекомендуется применение компактных передвижных вентиляционных установок с очисткой воздуха.

На новых блоках для удаления вредных веществ из помещений обстройки и фундаментной части при выполнении ремонтных работ, рекомендуется также включить в проект дополнительно вытяжные системы вентиляции, аналогичные по устройству системам удаления продуктов сгорания UV64. Ремонтный персонал АЭС перед выполнением сварочных и других работ, при которых выделяются вредные вещества, необходимо будет устанавливать передвижные вентиляционные установки, прокладывать гибкие воздуховоды от патрубков в соответствующие помещения и вводить в работу указанные системы вентиляции.

Необходимо также внести изменения в нормативные и руководящие документы, в которых привести перечень помещений зоны «строгого» режима или категорий радиационной опасности помещений, в открытых проемах которых при ППР блока необходимо обеспечивать нормируемое значение скорости движения воздуха, установить допускаемые отклонения от проектных расходов воздуха систем приточно-вытяжной вентиляции гермооболочки и указать рекомендуемые средства для обеспечения соответствующих режимов работы вентиляции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Правила технологического проектирования атомных станций (с реакторами ВВЭР):* РД 210.006-90 / Минатомэнергопром СССР. – М.: Минатомэнергопром СССР, 1990.
2. *Санитарные нормы проектирования и эксплуатации атомных станций:* СП АС-88. ДНАОП 0.03-1.73 - 79. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
3. *Техническое обоснование безопасности. Блок № 5. Запорожская АЭС (Книга 9):* 21.5.70.ОБ.05.03 / Министерство топлива и энергетики Украины, ГП НАЭК «Энергоатом», 1999.
4. *Торговников Б.М.* Проектирование промышленной вентиляции: Справочник / Б. М. Торговников, В. Е. Табачник, Е. М. Ефанов. – К.: Будівельник, 1983. – 256 с.
5. *ХС-передвижной* фильтр, формы исполнения, фильтровальные единицы [электронный ресурс] / HS-Luftfilterbau GmbH. Режим доступа <http://www.luftfilterbau.de/upload/produkte/filtermobil/PDF/R01-D01-HS-MobileFiltrationUnit.pdf>

С. О. Лисцов, М. П. Майстренко, О. О. Захарченко, М. А. Хажмурадов

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НОРМОВАНОЇ ШВИДКОСТІ РУХУ ПОВІТРЯ У ВІДКРИТИХ ОТВОРАХ
ПРИМІЩЕНЬ ЗОНИ «СУВОРОГО» РЕЖИМУ АЕС**

Проведено аналіз рішень, прийнятих проектною організацією, по забезпеченню нормованої швидкості руху повітря у відкритих отворах приміщень зони «суворого» режиму АЕС з реактором ВВЕР-1000, виявлено їхні недоліки. Вироблено рекомендації по забезпеченню даного параметра на нових блоках та блоках, що добудовуються, по внесенню змін до нормативної документації.

Ключові слова: системи витяжної вентиляції, АЕС, реакторна установка, ВВЕР-1000.

S. O. Lystzov, M. P. Maystrenko, O. O. Zakharchenko, M. A. Khazhmuradov

**MAINTENANCE OF NORMALIZED SPEED OF AIR MOVEMENT THROUGH OPEN
APERTURES OF PREMISES AT A "STRICT" MODE ZONE OF THE NUCLEAR POWER PLANT**

The analysis of the decisions accepted by the design organization on maintenance of normalized speed of movement of air in open apertures of premises of a zone of a "strict" mode of the atomic power station (NPP) with reactor WWER-1000 is carried out. Design shortcomings are disclosed. Recommendations about maintenance of the given parameter on new and completed blocks, to modification of the standard documentation are developed.

Keywords: exhaust ventilation system, NPP, reactor plant, WWER-1000.

Поступила в редакцію 06.06.11