

тверждено экспериментально. Указанное обстоятельство объясняется тем, что схема «катящихся вихрей» в случае ламинарного течения, в котором качество происходит не с постоянной скоростью, как в турбулентном режиме, а со скоростью течения, в общем случае приводит к неравномерному распределению напряжения по контуру. Учет этого обстоятельства может быть произведен расчетом и приводит [4] к различным числовым значениям коэффициента в законе ламинарного сопротивления для труб разного сечения.

Следует отметить, что в случае турбулентного течения в соответствии с экстремальной моделью «катящихся вихрей» поле скоростей изображается изотопами, повторяющимися по форме и стягивающимися к точке максимальной скорости контура трубы, включая и угловые точки. Это является несколько грубой схемой, так как в действительности в угловые точки контура не полностью проникают возмущения из области развившейся турбулентности, поэтому ламинарный подслои в углах сохраняется до больших значений числа δ , что и должно обеспечить скругление изотоп в точках, соответствующих угловым точкам контура. В этих точках несколько изменяется и напряжение. Однако эти обстоятельства вносят поправки малого порядка и не влияют на коэффициент сопротивления труб, как это видно на рис. 2, где представлены результаты обработки экспе-

риментов, проведенных с контурами, имеющими угловые точки, треугольного (двух видов), квадратного и прямоугольного сечений.

Экспериментальные значения коэффициентов сопротивления для некоторых некруглых сечений при сравнительно небольших значениях числа Рейнольдса оказываются несколько выше, чем это следует из закона для круглой трубы. По-видимому, это объясняется «вторичными течениями», роль которых сводится как бы к уменьшению проходного сечения трубы. С увеличением чисел Рейнольдса этот эффект уменьшается, и коэффициенты сопротивления всех труб укладываются на единую кривую.

Автор выражает благодарность И. С. Кудрявцевой за помощь в анализе и обработке экспериментальных данных, а также в проведении расчетов.

Поступила в Редакцию 6/IV 1970 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Д. Миллионщиков. Турбулентные течения в пограничном слое и в трубах. М., «Наука», 1969.
2. М. Д. Миллионщиков. «Атомная энергия», 28, 206 (1970).
3. М. Д. Миллионщиков. «Атомная энергия», 28, 317 (1970).
4. Г. Шлихтинг. Теория пограничного слоя. М., «Наука», 1969.

Контроль внешней среды АЭС с реактором кипящего типа

В. А. КНЯЗЕВ, П. И. КОТИКОВ, В. Г. ЛАПТЕВ,
Ю. В. ЧЕЧЕТКИН

Развитие ядерной энергетики приводит к возрастанию количества радиоактивных отходов, попадающих во внешнюю среду. С целью регулирования этой величины проводятся измерения мощности выброса и радиационный контроль объектов внешней среды. Для каждой АЭС объем такого контроля зависит от типа реактора и места его расположения, метода удаления радиоактивных отходов, местных топографических, метеорологических и гидрологических условий и от характера использования населением объектов внешней среды. Излишне широкий дозиметрический и радиометрический контроль усложняет деятельность персонала, приводит к неоправданно завышенным экономическим затратам на аппаратуру, содержание персонала и т. д.

УДК 551.510.721:539.12.08:621.039.524.4-97

АЭС ВК-50 расположена вблизи г. Мелекесса Ульяновской области (в 4—5 км от Куйбышевского водохранилища) на равнине, покрытой смешанными лесами. Ближайшие крупные населенные пункты находятся в 10—15 км от АЭС.

На одноконтурной установке с кипящим реактором, основной контур которого разомкнут для свободного выхода радиоактивных газов, одним из основных источников поступления радиоактивных отходов во внешнюю среду при работе АЭС являются газообразные выбросы в атмосферу. При герметичных твэлах мощность выброса радиоактивных газов с АЭС ВК-50 не превышает 60—80 *кюри/сутки*, причем основная доля активности обусловлена N^{13} .

Данные по среднесуточной мощности выброса в атмосферу при газовой негерметичности

Сведения о среднесуточной мощности выброса, розе ветров и количестве атмосферных осадков в период работы АЭС с газовой негерметичностью твэлов

Таблица 1

| Период работы | Частота направления ветра, % | | | | | | | | Количество осадков, мм | Мощность выброса | |
|-----------------|------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| | С | СВ | В | ЮВ | Ю | ЮЗ | З | СЗ | | радиоактивные газы, кюри/сутки | β-активные аэрозоли, мкюри/сутки |
| Октябрь 1966 г. | 17 | 5 | 3 | 6 | 14 | 35 | 5 | 15 | 39 | 550 | 1100 |
| Ноябрь 1966 г. | 7 | 5 | 11 | 14 | 16 | 14 | 17 | 17 | 43 | 930 | 360 |
| Декабрь 1966 г. | 41 | 22 | 42 | 23 | — | — | — | 2 | 11 | 930 | 360 |
| Январь 1967 г. | 10 | 8 | 10 | 18 | 16 | 19 | 4 | 15 | 61 | 790 | 300 |
| Февраль 1967 г. | 15 | 3 | 9 | 16 | 13 | 18 | 10 | 25 | 22 | 520 | 200 |

Среднегодовые результаты измерений β-активности проб внешней среды, отобранных на расстояниях 1 и 65 км от вентиляционной трубы АЭС, в сопоставлении с данными о мощности выброса радиоактивных газов

Таблица 2

| Виды проб | 1965 г. | | 1966 г. | | 1967 г. | | 1968 г. * | |
|---|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 1 км | 65 км | 1 км | 65 км | 1 км | 65 км | 1 км | 65 км |
| Плотность радиоактивных выпадений $\times 10^5$, кюри/км ² \times сутки | 17,8 \pm 5,1 | 13,4 \pm 2,8 | 7,6 \pm 2,9 | 9,8 \pm 3,1 | 5,5 \pm 1,5 | 4,1 \pm 1,8 | 8,2 \pm 3,6 | 7,5 \pm 3,1 |
| Активность снеговых проб $\times 10^5$, кюри/км ² ·сутки | 2,7 \pm 1,7 | 2,3 \pm 0,7 | 3,4 \pm 3,0 | 1,5 \pm 0,6 | 3,4 \pm 2,7 | 2,8 \pm 1,6 | 1,5 \pm 0,6 | 1,2 \pm 0,5 |
| Удельная активность проб растительности $\times 10^9$, кюри/кг | — | — | 7,4 \pm 3,4 | 7 \pm 1,8 | 5,3 \pm 2,3 | 6,2 \pm 2,4 | 4,8 \pm 1,9 | 6,0 \pm 2,5 |
| Удельная активность проб почвы, мкюри/км ² | — | — | 860 \pm 220 | 930 \pm 230 | 680 \pm 220 | 630 \pm 270 | 510 \pm 130 | 660 \pm 170 |
| Мощность выброса, кюри/сутки | 11 | | 260 | | 270 | | 500 | |

* Результаты усреднены по данным за восемь месяцев.

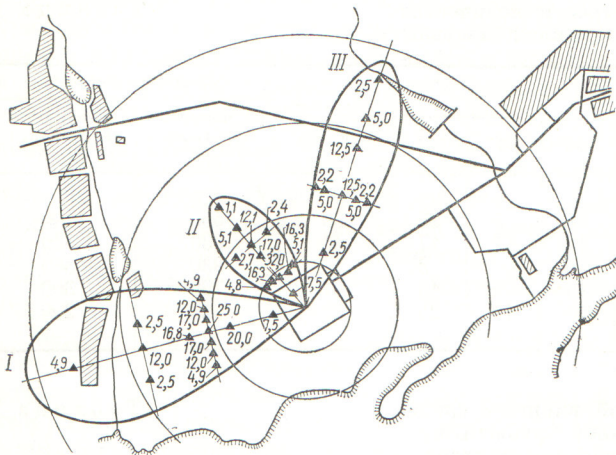
твэлов вместе со сведениями о розе ветров и количестве атмосферных осадков в период работы АЭС приведены в табл. 1. Измерения мощности выброса газов проводились приборами типа «Кактус» с камерой ДЗ-70, β-активных аэрозолей — приборами типа АРС-1.

Следует отметить, что во время работы АЭС с газовой негерметичностью твэлов доля изотопов с периодами полураспада $T_{1/2} \leq 20$ мин составляла ~80%, с периодами $80 \leq T_{1/2} \leq 550$ мин — ~18%. Поэтому после установки трубы выдержки на выхлопе эжектора турбины мощность выброса радиоактивных газов при негерметичных твэлах снизилась примерно в три раза.

При выбросе радиоактивных газов и аэрозолей в атмосферу наибольшую потенциальную опасность представляют изотопы I^{131} , Sr^{89} , Sr^{90} , Cs^{137} . Изучение изотопного состава выбро-

сов АЭС ВК-50 показало, что количество упомянутых изотопов значительно меньше допустимых величин. Измерение содержания тех же изотопов в пищевых продуктах, молоке и других объектах внешней среды не выявило их взаимосвязи с мощностью выброса. Концентрации Sr^{89} , Sr^{90} и Cs^{137} не отличаются от указанных в работах [1, 2] и обусловлены только глобальными выпадениями. Измерения содержания I^{131} в объектах внешней среды и щитовидной железе детей, проживающих в районе АЭС, дали отрицательные результаты. Сведения о плотности радиоактивных выпадений на расстояниях 1 и 65 км (контрольная точка) от вентиляционной трубы АЭС приведены в табл. 2.

Анализ результатов измерений в различных направлениях от вентиляционной трубы показал, что плотность радиоактивных выпадений



Мощность экспозиционной дозы излучения (мкр/ч) на местности, обусловленная факелом радиоактивных газов, при различных метеорологических условиях и мощности выброса через вентиляционную трубу:

I — скорость ветра $v = 4$ м/сек, категория диффузии С (слабая неустойчивость); II — $v = 2$ м/сек, категория диффузии В (сильная неустойчивость); III — $v = 2$ м/сек, категория диффузии D (безразличное состояние).

в месяцы с повышенными газовыми выбросами находится на том же уровне, что и в остальное время, так как возрастание или снижение плотности радиоактивных выпадений происходит повсюду одновременно. Особенно характерен в этом отношении декабрь 1966 г. Хотя почти 50% времени наблюдался восточный ветер и мощность выброса составляла ~1000 кюри/сутки, увеличения плотности радиоактивных выпадений в западном направлении от вентиляционного центра не было зарегистрировано. Такая же картина характерна и для других точек контроля, расположенных на различных расстояниях от вентиляционного центра.

Результаты измерений радиоактивных выпадений и радиометрические исследования проб снега, почвы и растительности позволяют сделать вывод о том, что при мощности газообразных выбросов до 1000 кюри/сутки вклад удаляемых радиоактивных отходов в суммарную активность объектов внешней среды не заметен на фоне глобальных выпадений.

По многолетним наблюдениям [1,2], аналогичная картина отмечается и в районах расположения других АЭС.

При мощности выброса радиоактивных газов в атмосферу до 1000 кюри/сутки основным фактором радиационной опасности для населения является γ -излучение от факела этих газов. Оценка дозы на местности позволяет не только установить предельно допустимые выб-

росы для АЭС, но и получить материал для экспериментального обоснования размеров санитарно-защитной зоны.

В районе расположения АЭС ВК-50 при помощи специально оборудованной машины проводились систематические измерения мощности экспозиционной дозы на местности. Для измерений выбиралось время, когда направление и скорость ветра менялись незначительно. Кроме того, осуществлялись наблюдения за состоянием облачного покрова. В качестве примера на рисунке представлены результаты таких измерений на местности при различных метеорологических условиях и мощности выброса радиоактивных газов через вентиляционную трубу.

По экспериментальным значениям мощности экспозиционной дозы, полученным в результате этих измерений, были рассчитаны поглощенные дозы облучения, создаваемые активным облаком в районе расположения АЭС за год. Эти оценки показали, что при мощности выброса радиоактивных газов 1000 кюри/сутки поглощенная доза облучения на расстоянии более 3 км от вентиляционного центра не превышает 0,05 рад/год. Для более строгих и окончательных выводов необходимы дальнейшие эксперименты по измерению низких уровней внешнего облучения в течение длительного времени (года) на открытой местности.

Из рассмотренного материала и опыта работы следует, что после проведения предварительного обследования должны быть разработаны две программы контроля внешней среды: для нормального режима эксплуатации АЭС и для случая аварийного поступления радиоактивных веществ во внешнюю среду.

В первом случае основное внимание уделяется контролю выбросов в вентиляционной трубе и в местах удаления радиоактивных отходов. В этот период радиометрические анализы объектов внешней среды проводятся для обучения персонала и отработки его действий в аварийных ситуациях, а также с целью получения данных о состоянии радиационной обстановки в районе радиусом 10 км (для информации соответствующих контролирующих органов и населения).

Основная задача метеорологических наблюдений — оценка влияния метеорологических условий на рассеяние радиоактивных отходов. Достаточно простой, удобной и пригодной для практических целей является методика учета метеорологических факторов при расчете зоны радиоактивного загрязнения воздушной среды,

изложенная в работе [3]. Метеорологические наблюдения ограничиваются измерениями направления и скорости ветра и оценкой степени покрытия неба облаками. Категории диффузии при помощи полученных данных и специальных таблиц позволяют установить сектор радиоактивного загрязнения, рассчитать концентрацию радиоактивных веществ в приземном слое воздуха и определить район с максимальной приземной концентрацией.

Программа контроля внешней среды при нормальной эксплуатации АЭС включает следующие мероприятия:

1. Определение концентрации радиоактивных газов, особенно I^{131} , и аэрозолей осуществляют путем измерения суммарной активности проб, отобранных в вентиляционной трубе.

В случаях увеличения активности пробы на один-два порядка по сравнению с обычной проводятся спектрометрические измерения. Радиохимический анализ потенциально опасных изотопов выполняют только при суммарной активности, превышающей обычную более чем на два порядка.

2. Контроль удельной активности проб жидких отходов осуществляют непрерывно с помощью стационарных дозиметрических приборов в местах слива. Суммарную α - и β -активность дополнительно контролируют путем отбора еженедельных проб отходов. Один раз в месяц проводится обработка и измерение среднемесячной пробы.

Хозяйственно-фекальная канализация контролируется путем отбора проб на полях орошения с периодичностью не реже одного раза в месяц.

3. Контроль территории, окружающей АЭС, и регистрацию экспозиционной дозы γ -излучения от факела радиоактивных газов выпол-

няют два раза в месяц и по необходимости. Измерения проводятся типовыми дозиметрами, установленными на автомашине. Контроль γ -излучения осуществляют посредством стационарных дозиметрических приборов, размещаемых на расстоянии 1 км от трубы в четырех точках, с записью показаний на самописце.

4. Отбор проб радиоактивных выпадений проводится в восьми точках, расположенных на расстоянии 0,5—0,8 км и 1,2—2 км от вентиляционной трубы. Частота отбора проб — ежемесячно или по необходимости.

5. Отбор проб растительности, почвы и снега осуществляется в шести точках в радиусе до 2 км. Частота отбора проб — два раза в год.

Программа контроля при аварийном поступлении активности во внешнюю среду включает контроль территории в радиусе 15—20 км. При выборе зоны контроля учитываются метеорологические условия, распределение и плотность населения, подъездные пути, особенности сельского хозяйства района, окружающего АЭС.

Общее число всех проб и измерений увеличивается в пять — десять раз по сравнению с контролем при нормальных условиях работы АЭС.

Поступила в Редакцию 28/III 1969 г.
В окончательной редакции 3/XI 1969 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Петросьянц. «Атомная энергия», 21, 492 (1966).
2. А. М. Петросьянц. «Атомная энергия», 23, 38 (1967).
3. G. Polster. Kerntechnik, 8/9, 409 (1966).

О влиянии рН на сорбцию радиоактивных изотопов анионитами

Ф. В. РАУЗЕН, Т. С. ВЕДИЩЕВА

УДК 621.039.7:66.074

Метод ионного обмена используется при очистке малосолевых радиоактивных сбросных растворов. В качестве ионообменников применяются органические катиониты и аниониты [1]. Поглощение радиоактивных изотопов ионитами происходит в процессе обессоливания растворов и зависит от их состава [2].

Рост рН растворов приводит к ухудшению сорбции анионов слабоосновными анионитами:

уменьшаются емкость [3] и коэффициенты распределения [4].

Для улучшения очистки стремятся к снижению концентрации солей в сбросных водах, чтобы более эффективно использовать сорбционную способность ионитов для поглощения радиоактивных изотопов, но в этом случае на анионит поступает избыток катионитовых колонн с более высоким рН.