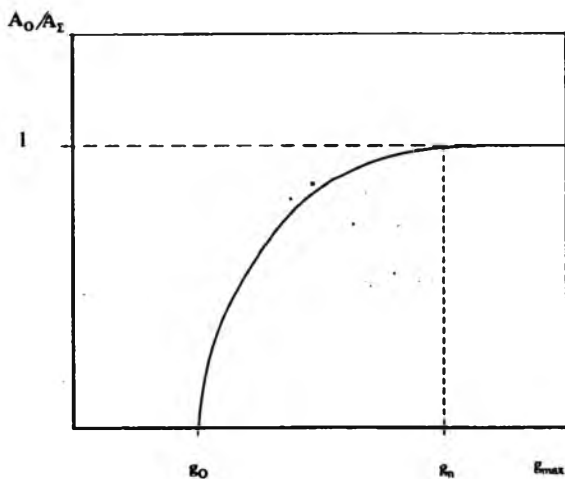




Р и с. 2. Зависимость степени дезактивации A_0/A_Σ от интенсивности перемешивания $g_{\max}$ (g_0 — пороговое ускорение перемешивания; g_n — ускорение, при достижении которого обеспечивается полная дезактивация)

Выше некоторой интенсивности перемешивания допустима полная дезактивация грунта. Характерное время очистки уменьшается с увеличением интенсивности перемешивания. Мерой последней величины является максимальное ускорение жидкости в перемешивающейся жидкости. Теория ограничивается случаем относительно равномерного загрязнения поверхности частиц, например,

при осаждении радионуклидов из раствора, но не рассматривает случай, когда на поверхности частиц чистого грунта высаживаются радиоактивные частицы — акцессоры, например, частицы ядерного топлива, как при аварии на Чернобыльской АЭС.

Поступила в Редакцию 20.05.96

УДК 621.039.8:614.8

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМЫ САНИТАРНО-ПРОПУСКНОГО РЕЖИМА НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Иванов Е.А. (ВНИИАЭС), Кочетков О.А., Цовьянов А.Г.
(ГНЦ РФ — Ин-т биофизики), Носовский А.В.
(ПО «ЧАЭС»), Чабан Н.Г. (СЭС г. Славутича)

Продолжение эксплуатации Чернобыльской АЭС, несмотря на тяжелые радиационные последствия для окружающей среды после аварии 1986 г. предполагало создание соответствующих условий, в том числе организацию доставки персонала из Славутича на станцию и обратно с минимальным ущербом для радиационной безопасности населения города.

Было установлено, что радиоактивное загрязнение поверхности тела и спецодежды персонала в зоне строгого режима Чернобыльской АЭС и зоне отчуждения, особенно внутри ее 10-км границы, существенно различается. Обычно радиоактивное загрязнение происходит преимущественно контактным путем и реже через попадание жидкостей или твердых частиц из воздуха, содержащих радиоактивные вещества. В условиях зоны отчуждения роль последнего фактора существенно повышается.

Из анализа сложившейся радиационной обстановки в регионе Чернобыльской АЭС в послеаварийный период с учетом указанных особенностей следовало, что для радиационной безопасности персонала при его перевозке по маршруту АЭС—Славутич полномасштабный санпропускник, отвечающий требованиям санитарных правил, должен быть построен на границе зоны отчуждения. В этом случае персонал при движении из Славутича на АЭС на электропоездах «чистого плеча» доезжал бы до него (ст. Пересадочная), затем в нем переодевался в «промежуточный комплект» спецодежды и на электропоездах «грязного плеча» ехал на АЭС. На промплощадке станции персонал должен работать в промежуточном комплекте спецодежды или основном, используя для переодевания «вторую линию» санпропускников.

Описанный вариант является классическим с точки зрения технического обеспечения радиационной защиты населения Славутича со стороны АЭС путем использования эффективной системы санитарных барьеров, но одновременно он имел существенный недостаток, связанный с отсутствием в районе ст. Пересадочная необходимой инфраструктуры для ускоренного введения санпропускника в действие. В силу этого была принята схема с двумя санпропускниками: в Славутиче и перед промплощадкой АЭС (см. рисунок).

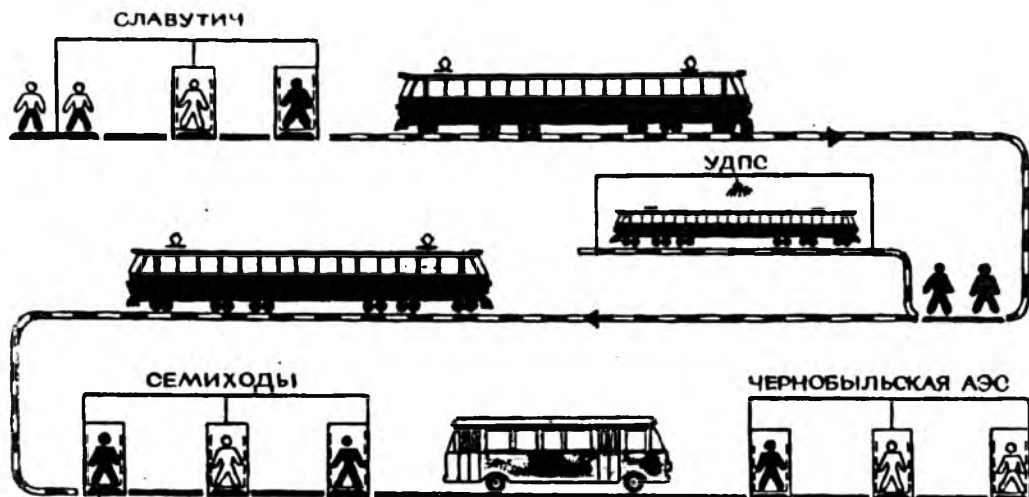
Завершение строительства и заселение Славутича персоналом АЭС и членами семей позволило перейти на безвахтовый метод работы с характерным для действующих станций режимом труда и отдыха. Учитывая отдаленность Славутича от АЭС, для доставки персонала на работу была реконструирована и в начале 1988 г. введена в эксплуатацию специальная электрифицированная железнодорожная ветка с организацией движения электропоездов по маршруту Славутич—ст. Пересадочная—санпропускник ст. Семиходы и обратно.

Из зоны отчуждения в Славутич техногенный перенос радиоактивных веществ может происходить тремя путями: на внешней поверхности поезда, спецодеждой персонала, на волосах и коже человека.

Для обеспечения санитарно-пропускного режима на маршруте движения в конце 1988 г. в Славутиче было построено пять модулей санитарных пропускников общей вместимостью 5500 чел., в которых персонал переодевался в «транспортную» одежду и четырьмя электропоездами с различным временным интервалом доставлялся на ст. Пересадочная, расположенную на территории Беларуси. Это железнодорожное плечо называлось условно чистым. Пересадка персонала осуществлялась в течение 5 мин. Другой электропоезд отправлялся по грязному плечу к ст. Семиходы, где в санпропускниках персонал менял транспортную одежду на переходную.

Важным элементом системы, обеспечивающей санитарно-пропускной режим, являлась ст. Пересадочная, исключая движение условно грязных электропоездов в Славутич, кроме дней, когда те проходили техосмотр и техобслуживание в железнодорожном депо ст. Чернигов. Обоснованно встал вопрос о введении в систему этапа, обеспечивающего чистоту подвижного состава, выходящего из зоны отчуждения. Был предложен вариант строительства пункта обработки подвижного состава на территории Беларуси. Этот пункт сыграл и продолжает играть важную роль одного из звеньев в цепи санитарно-пропускного режима АЭС—Славутич.

Таким образом, установленный санитарно-пропускной режим достаточно надежно выполнял функцию защитного барьера на пути переноса радиоактивных веществ из зоны отчуждения на территорию Славутича.



Санитарно-пропускной режим на маршруте Чернобыльская АЭС—Славутич—Чернобыльская АЭС в 1988 г.

Особенностью оптимизации мероприятий по созданию радиационно безопасных условий транспортировки персонала Чернобыльской АЭС от мест проживания к месту работы и обратно является постоянное улучшение радиационно-дозиметрических характеристик окружающей среды как за счет естественных процессов, так и в результате целенаправленной деятельности, тесная связь с социально-психологическими и эргономическими аспектами поведения персонала. Оптимизация системы может заключаться в изменении числа санитарных барьеров. При этом в качестве наиболее вероятных критериев оптимизации могут быть использованы показатели финансовых затрат, вероятность прохода отдельных лиц с характеристиками радиоактивного загрязнения выше контрольных уровней, субъективное отношение к факторам риска радиационного облучения и индивидуальная оценка эффективности системы санитарно-пропускного режима.

Для изучения эффективности функционирования системы санитарно-пропускного режима была проведена статистическая оценка β -загрязнения транспортной одежды и кожных покровов при пересадочном (1990 г.) и беспересадочном вариантах доставки персонала (1991 г.). Из табл. 1 следует, что β -загрязнение транспортной одежды персонала инвариантна (с погрешностью 15—20%) относительно выбора режима транспортировки. β -Загрязнение кожных покровов (табл. 2) при беспересадочном варианте транспортировки в среднем примерно в 2 раза ниже, чем при альтернативном варианте.

Формально дополнительный защитный барьер, каковым является транспортировка с пересадкой, должен повышать общую эффективность системы санитарно-пропускного режима и соответственно снижать радиационные параметры на выходе из нее. Однако неудачное расположение ст. Пересадочная в месте с повышенным β -загрязнением 20—40 част./ (мин $\cdot$ см²) могло не только обесценить это защитное мероприятие, но и послужить источником дополнительного, более значимого β -загрязнения внешних поверхностей железнодорожного состава, спецодежды и обуви, а также кожных покровов персонала.

Т а б л и ц а 1. Статистические характеристики β -загрязнения транспортной спецодежды персонала в марте 1990/июле 1991 г., част./ (мин $\cdot$ см²)

Участок	Среднее	Медиана	Среднеквадратичное отклонение σ
живота	21/—	20/—	5,9/—
коленей	23/23	20/20	15/7,7
спины	19/23	20/20	4,2/7,6
груди	—/24	—/25	—/7
ягодиц	—/23	—/20	—/6,6
обшлагов брюк	20/—	20/—	4,9/—
обуви	23/29	20/25	15/24

Т а б л и ц а 2. Статистические характеристики β -загрязнения кожных покровов персонала в марте 1990/июле 1991 г., част./ (мин $\cdot$ см²)

Участок	Среднее	Медиана	σ
Грудь	4,0/1,4	4/1	3,6/1,7
Голова	5,2/1,7	4/1,5	9,1/1,7
Гонады	4,9/2,7	4/1,6	4,5/4,6
Руки	5,9/4,7	4/2	5,3/13

Результаты исследований, а также анализ радиационной обстановки в условно чистых и условно грязных электропоездах, ввод в действие пункта дезактивации электропоездов в районе ст. Пересадочная позволил предложить приемлемо безопасную,

но более экономичную схему беспересадочной транспортировки. С 1991 г. персонал станции, переодевшись в санпропускнике Славутича в транспортную одежду, сел в электропоезд с беспересадочной транспортировкой до санпропускника на ст. Семиходы.

Действующую систему санитарно-пропускного режима можно считать эффективной при допущении, что индивидиум проходит все санитарные барьеры, оставаясь безучастным к результатам радиационного контроля. Вместе с тем в той или иной степени индивидиум, получая информацию от первого дозиметрического измерения, ее обобщает и использует при формировании алгоритма поведения в дальнейшем. В зависимости от личных оценок возможности радиоактивного загрязнения при выполнении рабочих операций некоторые индивидиумы формируют свое отношение к последующему прохождению санитарных барьеров, т.е. некоторые начинают их проходить, избегая процедуру измерения. При этом действия индивидиумов, проходящих систему санитарно-пропускного режима, определяются адаптационными механизмами, в качестве которых можно считать следующие:

подражание (стратегия индивидиума, проходящего санитарные барьеры, сформированная в результате подражания случайно выбранному индивидиуму);

адаптивное подражание (выбор одного из возможных вариантов поведения в результате наблюдения за действиями нескольких других индивидиумов);

индивидуальная адаптация (выбор стратегии поведения при прохождении санитарных барьеров путем испытания различных стратегий).

Одновременно действуют и зависимые механизмы адаптации, при которых выбор стратегии предопределяется поведением впереди или сзади идущего индивидиума. Например, впереди идущий оставляет за собой открытый барьер или сзади идущий индивидиум, опережая его действия, перехватывает дверцу барьера, не давая ей закрыться. Выбор стратегии поведения определяется как набором внутренних качеств индивидиума, так и совокупностью внешних условий. Изменением внешних условий можно эффективно влиять на формирование процесса выбора «правильной» стратегии поведения. Наиболее возможными путями такого воздействия является контролируемый дозиметристом проход через санитарный барьер, самоконтроль в местах отдыха, курилках, формирование высокой степени тревожности к бытовому радиоактивному загрязнению, уверенности в высокой эффективности системы санитарно-пропускного режима, необходимости в периодическом дозиметрическом контроле жилищ и территории Славутича с демонстрационно-просветительным характером проведения.

Указанные факторы объясняют, почему, несмотря на то, что на пути из дома к месту работы и обратно человек проходит через систему санитарных барьеров, состоящую не менее чем из трех барьеров, остается заметная вероятность значительного β -загрязнения транспортной одежды и кожных покровов персонала. В связи с этим была проведена статистическая оценка эффективности работы отдельного санитарного барьера. В качестве эффективности принималась вероятность превышения контрольного уровня β -загрязнения транспортной одежды и кожных покровов персонала (табл. 3). Так как β -загрязнение кожных покровов персонала должно контролироваться до 3—4 раз, то были рассчитаны вероятности превышения соответствующих уровней для каждого барьера (табл. 4).

Полученный результат по вероятности прохода отдельных лиц с β -загрязнением кожных покровов более 10 част./($\text{мин} \cdot \text{см}^2$), равный 35—56%, указывает на низкую эффективность каждого отдельно взятого санитарного барьера — стоек дозиметрического контроля РЗБ-04-04. Вероятность прохода с превышением указанного уровня всей системы санитарно-пропускных барьеров и стоек дозиметрического контроля равна 0,04—0,1 для различных участков тела.

Анализ β -загрязнения поверхностей вагонов электропоездов на ст. Семиходы показал, что средняя плотность потока β -частиц на внутренних и внешних поверхностях

Т а б л и ц а 3. Вероятность превышения β -загрязнения исследованных участков транспортной одежды и кожных покровов в системе санитарно-пропускного режима в 1991 г., част./ $(\text{мин} \cdot \text{см}^2)$

Участок	> 10	> 20	> 40
Одежда:			
грудь	0,999	0,70	0,024
спина	0,995	0,60	0,022
ягодицы	0,999	0,63	0,011
колени	0,997	0,63	0,023
обувь	0,976	0,69	0,16
Кожный покров:			
голова	0,044	0,013	< 0,002
грудь	0,042	0,014	< 0,004
гонады	0,070	0,024	< 0,007
руки	0,10	0,036	< 0,01

Т а б л и ц а 4. Вероятность превышения β -загрязнения исследованных участков кожных покровов отдельного санпропускника в системе из трех/четырех барьеров, част./ $(\text{мин} \cdot \text{см}^2)$

Участок	> 10	> 20	> 40
Голова	0,35/0,46	0,24/0,34	0,13/0,22
Грудь	0,35/0,45	0,24/0,34	0,16/0,25
Гонады	0,41/0,51	0,29/0,39	0,19/0,29
Руки	0,46/0,57	0,33/0,44	0,22/0,32

составляет 33 и 90 част./ $(\text{мин} \cdot \text{см}^2)$ при среднеквадратичном отклонении 20 и 49 част./ $(\text{мин} \cdot \text{см}^2)$ соответственно. Характеристики β -загрязнения спецодежды незначительно (на 10—15%) отличаются от β -загрязнения внутренних поверхностей вагонов электропоездов.

Для оценки возможного поступления радионуклидов в организм человека во время транспортировки персонала по железной дороге проведен анализ мазков из носа, который показал, что при этом не происходит накопления γ , β -излучающих радионуклидов (содержание в мазках α -излучающих радионуклидов ниже предела чувствительности аппаратуры) в передних пазухах носа. Годовое индивидуальное поступление радионуклидов не превышает 0,1—0,2 Бк.

Исследования позволили обосновать, а затем экспериментально подтвердить правомерность перехода на более простую и экономичную систему санитарно-пропускного режима. Были также оценены вероятности превышения уровней β -загрязнения различных участков кожных покровов персонала в случае принятия решения об удалении из системы санитарно-пропускного режима в 1991 г. еще одного защитного барьера (табл. 5). Сравнительный анализ табл. 3 и 5 свидетельствует о резком снижении эффективности системы санитарно-пропускного режима при удалении из нее одного защитного барьера. В этом случае численность в группах персонала с β -загрязнением кожных покровов, превышающим заданные уровни, возрастет в 2—6 раз. Очевидно, что это неприемлемо.

Т а б л и ц а 5. Вероятность превышения β -загрязнения исследованных участков кожных покровов в системе санитарно-пропускного режима из двух/трех барьеров, част./ $(\text{мин} \cdot \text{см}^2)$

Участок	> 10	> 20	> 40
Голова	0,12/0,10	0,058/0,039	0,017/0,011
Грудь	0,12/0,10	0,058/0,039	0,026/0,016
Гонады	0,17/0,13	0,084/0,059	0,036/0,024
Руки	0,21/0,19	0,11/0,085	0,048/0,033

В конце 1991 г. с учетом сложившейся радиационной обстановки на маршруте АЭС—Славутич введены в действие пересмотренные более жесткие контрольные уровни β -загрязнения для спецодежды, спецобуви, поверхностей санпропускников и внутренних поверхностей вагонов. Тогда же сделан вывод о том, что исключение санпропускника в Славутиче из транспортной схемы с сохранением транспортной одежды в качестве личной (домашнего хранения) с обязательным ее контролем при выходе в город после прибытия можно считать принципиально возможным мероприятием, направленным на облегчение и ускорение прохождения санитарно-пропускного режима персоналом. Однако указывалось, что персонал в своем большинстве (82%) психологически не готов к такой трансформации санитарно-пропускного режима без соответствующей информационно-просветительской работы. Последнее заключение основано на результатах опроса персонала (опрос проведен О.В. Чинкиной).

Следует отметить, что конкретные предложения по повышению эффективности санитарно-пропускного режима, особенно касающиеся усиления радиационного контроля, исходили в 80% случаев от работников реакторного цеха и цеха радиационной безопасности.

На основе полученной информации можно заключить, что исследуемая система санитарно-пропускного режима ориентирована на понимание персоналом АЭС опасности радиоактивного загрязнения и предполагает использование принципа самоконтроля при прохождении санитарных барьеров. Однако результаты диагностического исследования показали следующее:

- значительная часть персонала не воспринимает достаточно серьезно возможность переноса радионуклидов из зоны отчуждения в Славутич и поэтому пренебрегает правилами санитарно-пропускного режима;

- система санитарно-пропускного режима воспринимается как громоздкая, не учитывающая человеческий фактор;

- в системе не предусмотрена возможность предоставления персоналу полной информации о степени радиоактивного загрязнения одежды и участков тела, которая позволила бы более ответственно и осознанно относиться к соблюдению ее правил.

Таким образом, опрос позволил выявить субъективное мнение персонала о необходимости ужесточения санитарно-пропускного режима, находящееся, однако, в противоречии с характером реального поведения при прохождении санитарных барьеров.

Большинство респондентов (47%) оценили действующую систему как достаточно эффективную, 35% опрошенных затруднились ответить или не дали ответа на поставленный вопрос, 18% оценили систему как неэффективную. Такого же мнения придерживаются опрошенные эксперты (специалисты ЦРБ Чернобыльской АЭС и объекта «Укрытие», СЭС).

Положительное эмоционально-оценочное отношение к системе санитарно-пропускного режима испытывали 61% респондентов, скорее негативное — более 36% опрошенных (еще 2,1% респондентов уклонились от ответа), что свидетельствует о недостаточном учете человеческого фактора в функционировании этой технологической цепочки,

Анализ ответов по трансформации и улучшению системы санитарно-пропускного режима показал, что 64% респондентов считают необходимым усиление радиационного контроля на работающих санитарных барьерах, 22% удовлетворяет настоящее положение дел и лишь 11% считают санитарные барьеры и контроль на них излишними. Следует отметить, что этого мнения придерживаются, как правило, лица, составляющие группу риска нарушений прохождения системы санитарно-пропускного режима.

Все опрошенные эксперты оценили систему санитарно-пропускного режима как эффективную в целом. Однако 25% экспертов настаивают на необходимости трехступенчатой системы, остальные считают возможным переход к двухступенчатой системе с одновременным введением некоторых правовых, информационных и контроль-

ных мер, усиливающих ее эффективность. Примерно 25% экспертов считают возможным отказаться от прохождения санпропускника ст. Славутич. Как выявили результаты опроса, лишь 7,3% респондентов готовы воспользоваться разрешением добираться в своей одежде до санпропускника ст. Семиходы, 86% психологически не готовы к этому и продолжали бы переодеваться в санпропускнике ст. Славутич.

Тем не менее в начале 1995 г. в порядке эксперимента из системы санитарно-пропускного режима был исключен санпропускник в Славутиче. Радиационный контроль личной одежды и кожных покровов персонала, проводимый в процессе эксперимента, позволил оценить вероятность превышения их β -загрязнения в редуцированной системе санитарно-пропускного режима (табл. 6).

Т а б л и ц а 6. Вероятность превышения β -загрязнения исследованных участков транспортной одежды и кожных покровов в системе санитарно-пропускного режима в 1995 г., част./(мин·см²)

Участок	> 10	> 20	> 40
Одежда:			
грудь	0,89	0,65	0,017
спина	0,84	0,51	0,014
ягодицы	0,93	0,57	0,0084
колени	0,89	0,53	0,014
обувь	0,94	0,62	0,11
Кожный покров:			
голова	0,034	0,011	< 0,001
грудь	0,033	0,010	< 0,003
гонады	0,054	0,018	< 0,005
руки	0,06	0,024	< 0,005

Из сравнения табл. 3 и 6 видно, что, несмотря на удаление из системы санитарно-пропускного режима одного защитного барьера в 1995 г., не произошло снижения ее эффективности по сравнению с 1991 г. Более того, в 1995 г. численность в группах персонала с β -загрязнением кожных покровов, превышающим заданные уровни, уменьшилась на 30—50%. Это обусловлено тем, что общее улучшение с 1991 г. радиационной обстановки на промплощадке АЭС вследствие естественных причин и дезактивационных работ и на рабочих местах скомпенсировало и даже превысило эффект от снижения эффективности системы санитарно-пропускного режима после отмены одного санитарного барьера. В конце 1995 г. с учетом указанных факторов введены с действие более жесткие контрольные уровни β -загрязнения: для переходной одежды, специальной обуви и любых поверхностей в грязной зоне санпропускника ст. Семиходы 100 част./(мин·см²), внутренних поверхностей вагонов 10 част./(мин·см²).

Поступила в Редакцию 27.08.96

УДК 621.311.25.004.7

ПРИОРИТЕТНЫЕ ЗАДАЧИ СНЯТИЯ С ЭКСПЛУАТАЦИИ И УТИЛИЗАЦИИ АТОМНЫХ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК

Митенков Ф.М., Аксенов Е.И. Вавилкин В.Н., Сандлер Н.Г. (ОКБМ)

Хранение и утилизация снятых с эксплуатации атомных подводных лодок рассматриваются в настоящее время в числе основных проблем мирового сообщества. Отсутствие проработанной концепции утилизации в жизненном цикле атомных кораблей и массовое их снятие с эксплуатации, обусловленное как международными