

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ЭШЕЛОНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ

С.В. Остах, О.С. Остах, Н.Ю. Ольховикова

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

Приведена концепция эшелонированной системы защиты природно-антропогенных комплексов на основе современных представлений о распространении и свойствах техногенных потоков в геологических слоях. Представлена классификация пассивных и активных экологических барьеров, а также технологические направления, основные способы и особенности их внедрения в общий алгоритм разработки и применения эшелонированной системы защиты с учетом возможных целевых вариантов использования и рассматриваемых условий эксплуатации. Рассмотрены принципы формирования эшелонированной системы защиты, последовательность и содержание основных этапов её разработки и внедрения для применения в качестве превентивной меры защиты окружающей среды от прогнозируемых негативных воздействий. Представлены примеры различных конструктивных исполнений барьеров как отдельных, так и составных частей системы эшелонированной защиты, описаны основные направления их применения и особенности внедрения.

Ключевые слова: авария, концепция, ликвидация, локализация, прогнозирование, экологический барьер, экологический вред (ущерб), эшелонированная защита

The Concept of Creating a Layered System for the Protection of Natural Anthropogenic Complexes

S.V. Ostakh, O.S. Ostakh, N.Yu. Olkhovikova

Gubkin Oil and Gas University (NRU), 119991 Moscow, Russia

The concept of a layered system of protection of natural-anthropogenic complexes based on modern concepts of the distribution and properties of man-made streams in geological layers is presented. A classification of passive and active environmental barriers is presented, as well as technological directions, main methods and features of their introduction into the general algorithm for the development and application of a layered protection system, taking into account possible target use cases and operating conditions considered. The principles of the formation of a layered protection system, the sequence and content of the main stages of its development and implementation for use as a preventive measure to protect the environment from the predicted negative impacts are considered. Examples of various designs of barriers of both individual and component parts of the system of layered protection are presented, the main directions of their application and features of implementation are described.

Keywords: accident, concept, liquidation, localization, forecasting, environmental barrier, environmental harm (damage), layered protection

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-03-54-59

Одно из самых значительных техногенных воздействий на окружающую среду оказывает нефтегазовая промышленность. Стадии бурения скважин, добычи нефти и газа, их транспортировка, хранение и переработка относятся к особо опасным производственным технологическим процессам, которые кроме негативного воздействия на окружающую среду могут являться источником опасности для соседних предприятий, персонала, населения и прилегающих территорий.

В общем виде рассматриваемая отрасль промышленности является одним из наиболее существенных

источников разливов нефти и нефтепродуктов (ННП), загрязнений, сформированных углеводородами и продуктами их трансформации [1], а также радионуклидами. Эти техногенные потоки формируются на территории различных природно-антропогенных ландшафтов, отличающихся от соседних участков различной степенью обустроенности и используемых в промышленных целях.

Динамика распространения техногенных потоков возрастает в следующей последовательности: технологическая площадка, поверхностный сток, внутрипочвенный сток, дренирование грунтовых

вод в водоносных горизонтах, поверхностное движение вод (речной системы).

С учетом требований для проектирования крупных промышленных отраслевых предприятий, среди которых одно из первых мест занимает доступность воды для промышленных целей, наблюдается тенденция сопряжения природно-антропогенных ландшафтов с поверхностными водными объектами, где динамика миграции техногенных потоков в большей степени определяется скоростью течения.

Своевременное выявление разливов ННП является предпосыл-

кой к их успешной ликвидации, минимизации последствий, а также исключению возможности поступления ННП (или продуктов их трансформации) в сопредельные среды и на прилегающие территории.

Согласно положениям нормативно-правовой базы [2] незначительные и систематические утечки и разливы на территории объекта классифицируются, как правило, в качестве аварийных ситуаций локального значения (уровня), их обнаружение возможно только посредством:

- комплекса инженерно-экологических изысканий с целью инвентаризации объемов накопленного экологического вреда при обнаружении загрязнения ННП объектов окружающей природной среды, произошедшего в результате хозяйственной деятельности прошлых лет;
- реализации системы производственного экологического контроля и мониторинга;
- выполнения технического обслуживания, капитального ремонта или реконструкции предприятия.

Мероприятия по предупреждению и ликвидации последствий разливов ННП [2] обязывают организации создавать свои формирования (подразделения) или заключать договоры с профессиональными аварийно-спасательными формированиями (службами), выполняющими соответствующие работы. Кроме того, предусмотрен целый ряд организационных решений, а также требования по проведению производственного контроля за соблюдением правил промышленной безопасности на опасном производственном объекте; использование и поддержание в готовности систем обнаружения разливов ННП, системы связи и оповещения.

Однако выполнение организационно-технических мероприятий, способных предотвратить воздействие разливов ННП на компоненты природно-антропогенных комплексов, предусмотрено планом по предупреждению и ликвидации аварийных разливов ННП, применяемым, как правило, к уже возникшим чрезвычайным ситуациям.

Развитие промышленного производства и прирост освоения территорий будет сопровождаться увеличением фонового уровня загрязнения окружающей среды. Предотвращение этой тенденции может быть реализовано посред-

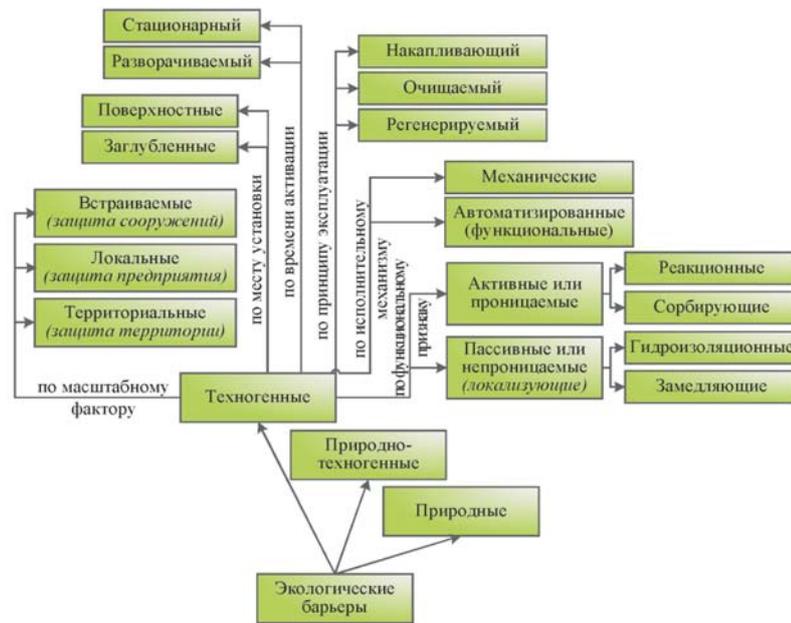


Рис. 1. Общая классификация экологических барьеров

Fig. 1. General classification of environmental barriers

ством изменения проводимой в течение десятков лет консервативной (постфактумной) системы локализации аварийных ситуаций и ликвидации их последствий на эшелонированные системы защиты природно-антропогенных комплексов, действующие по превентивному принципу, который предполагает предотвращение площадно-глубинного загрязнения окружающей среды и возможного влияния на объекты жизнеобеспечения населения.

Цель настоящей работы — формирование концепции эшелонированной защиты [3] природно-антропогенных комплексов на основе пассивных и активных (автоматизированных) барьеров, необходимых для ограничения и минимизации негативных последствий для окружающей среды.

Классификация экологических барьеров

С точки зрения проблем обеспечения экологической безопасности использование единичных систем локализации не может гарантировать полное отсутствие воздействия на компоненты окружающей среды и социальную сферу.

В этом смысле рационально учитывать опыт обеспечения безопасности атомных станций, технологические направления реализации которых превосходят в надежности и эффективности соответствующие наработки в других областях науки и техники. Одно из важнейших достижений в совершенствовании систем обеспечения

безопасности — разработка и практическая реализация концепции глубоко эшелонированной защиты ("defence in depth"), которая была рекомендована Международной консультативной группой по ядерной безопасности (INSAG) в 1993 г. [4].

Современные представления о глубоко эшелонированной защите предполагают применение для повышения уровня безопасности нескольких эффективных защитных барьеров и дополнительных планируемых мер, которые должны обеспечить целостность этих барьеров, и для предотвращения развития нежелательных состояний (инцидентов) в аварию и направления их в контролируемое состояние с минимизацией последствий [5, 6]. Такая система взглядов определяет возможности предотвращения повреждения атомной станции и самих барьеров, а также дальнейшую защиту населения и окружающей среды от ущерба, если принятые меры окажутся не вполне эффективными.

Создание системы эшелонированной защиты природно-антропогенных комплексов проводится посредством вариантной проектно-технологической проработки систем инженерной защиты окружающей среды.

Эшелонированная защита природно-антропогенных комплексов представляет собой многоуровневую систему дублирующих и многократно перекрывающих друг друга инженерно-технических решений искусственного сооруже-

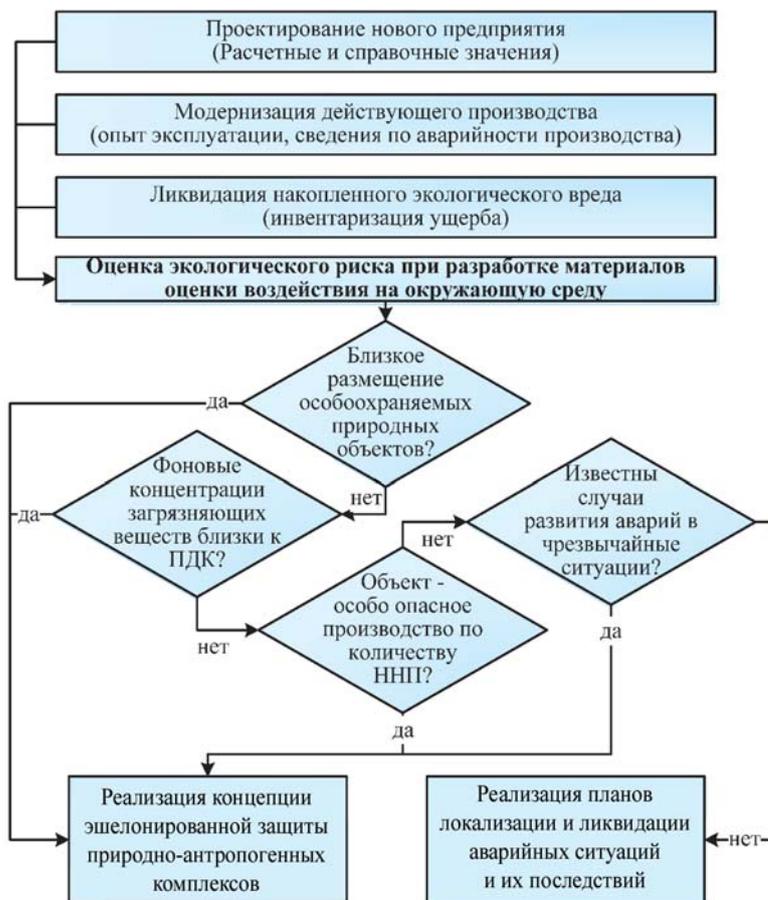


Рис. 2. Укрупненный алгоритм реализуемости эшелонированной защиты природно-антропогенных комплексов
Fig. 2. Enlarged algorithm of affordability of the layered protection of natural-anthropogenic complexes

ния, рассредоточенных в пространстве по направлениям (фронтам) распространения поражающих факторов, и предназначена для защиты инженерного обеспечения предприятия, окружающей среды и (или) здоровья населения и персонала.

Применительно к вопросам распространения техногенных потоков в природно-антропогенных системах рационально дополнительно ввести понятие "экологические барьеры".

Под экологическими барьерами понимается специально созданное препятствие, обеспечивающее снижение вероятности перехода (перерастания) опасных явлений, обусловленных распространением техногенных потоков, в аварийные и чрезвычайные ситуации, способные разрушить природно-антропогенный комплекс.

Устойчивость эшелонированной защиты природно-антропогенных комплексов представляет собой свойство объекта защиты сохранять конструктивную целостность и (или) функциональное назначение при воздействии поражающих факторов и их вторичных проявлений, спрогнозированных в результате анализа сценариев развития аварийных и чрезвычайных ситуаций.

Классификацию экологических барьеров целесообразно представить с использованием фасетного метода, предусматривающего параллельное разделение их множества на независимые классификационные группировки по их основным признакам (рис. 1).

Невозможность учета всех причин возникновения сценариев раз-

вития аварийных ситуаций, а также роль человеческого фактора в жизненном цикле сложной технической системы делает актуальным разработку и внедрение эшелонированной защиты [7–10].

В целях обеспечения защиты окружающей среды (в том числе для предупреждения и локализации глубоких загрязнений) предполагается использование ряда экологических барьеров, которые могут быть как проницаемыми, так и непроницаемыми. Также применимы активные (требующие вмешательства человека и наличия источника энергообеспечения) и пассивные (не требующие активного участия в эксплуатации) экологические барьеры.

Количественные показатели получаются в результате анализа экологического риска. При этом необходимо учитывать неисчерпывающие, но обязательные условия при разработке мероприятий по предотвращению негативного воздействия на окружающую среду (рис. 2).

Гарантированным результатом использования экологических барьеров может быть изменение пути или прекращение миграции техногенных потоков. Также уменьшается возможная площадь воздействия, происходит стабилизация или нейтрализация загрязняющих веществ в том случае, когда барьер является проницаемым и наполняется реагентами либо заполняется сорбентами, в результате чего происходит очистка загрязненных сред.

Примеры реализации экологических барьеров

Установка встраиваемых экологических барьеров в наиболее вероятных местах аварий и защищаемых зонах позволяет предотвратить распространение загрязнений за пределы территории помещения или здания. В случаях, когда встраиваемые экологические барьеры оказываются неспособными сдерживать техногенные потоки, возникает их неконтролируемое движение, которое локализуется использованием территориальных экологических барьеров. Основной задачей при таком варианте развития событий является недопущение дальнейшего движения техногенных потоков и загрязнения прилегающих природных систем (речных систем, месторождений подземных вод и т.п.). Для защиты рисков объектов природопользования предлагается использование нескольких вариантов организации экологических барьеров в виде отдельных элементов, а также

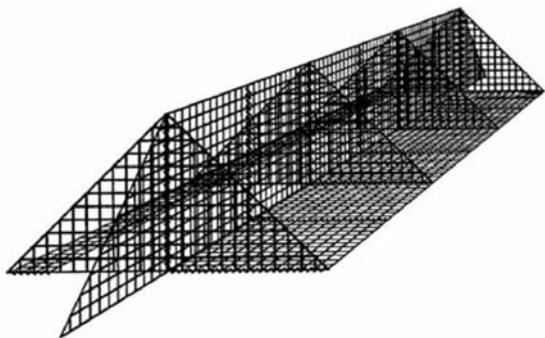


Рис. 3. Элемент конструкции ограждения разворачиваемого экологического барьера
Fig. 3. The structural element of the fence deployable environmental barrier

в составе эшелонированной системы защиты природно-антропогенных комплексов.

Пример 1. Экологические барьеры применимы для блокирования и локализации поверхностных техногенных потоков в виде модульных каркасных заграждений, состоящих из быстровозводимых сборных трансформируемых секций, которые оснащаются сертифицированными изолирующими покрытиями.

Основу конструкции составляют складные многосекционные модули различной длины, изготовленные из гальванизированной металлической решетки (рис. 3). Сверху решетчатые секции модулей комплектуются сертифицированными проницаемыми (сорбирующими) или удерживающими покрытиями, что позволяет развешивать фильтрующие или изолирующие заграждения в требуемом климатическом исполнении.

Устойчивость конструкции заграждения обеспечивается достаточной жесткостью и упругостью металлической решетки, являющейся силовым элементом конструкции и применением поперечных элементов треугольного сечения, которые создают поперечную жесткость и позволяют выдерживать фронтальный напор, а также шарнирным соединением всех элементов, что обуславливает максимально возможную площадь прилегания к поверхности (сцепления) и позволяет обходиться без применения дополнительных крепежных устройств.

Целесообразно развешивание указанных заграждений в комплексе:

- с сорбирующими матами по периметру для обеспечения локализации возможных протечек;
- с отсыпной подушкой из сорбента, которая нивелирует неровности рельефа, а также обеспечивает блокирование поверхностного техногенного потока;
- с сорбирующим наполнителем секций, например глауконитом, или его смесью с другим подходящим сорбентом природного происхождения (глина, бентонит, цеолит, шунгит, перлит, вермикулит) и их смесью.

Особенности модульной конструкции при возведении защитных стенок и периметров ограждения позволяют:

- исключить строительно-землеройные работы, установку свай, анкеров, фундаментов и т.п.;
- обойтись без применения строительной и землеройной техники;

- в максимально сжатые сроки обеспечить доставку и монтаж устройства.

Пример 2. Для локализации химического загрязнения с учетом уровня грунтовых вод (УГВ) и препятствия продвижению его фронта в сторону критических объектов природопользования (водного объекта или водозабора) следует предусмотреть использование очищающего экологического барьера (рис. 4), который по сути является разновидностью организации дренажной системы высокорисковых предприятий. Его целесообразно размещать в составе автоматизированной системы эшелонированной защиты, включающей сбор и откачку загрязненных грунтовых вод, обезвреживание на модульно-блочных водоочистных установках, закачку очищенных грунтовых вод ниже источника загрязнения (непосредственно за комплексным экологическим барьером) через нагнетательные скважины.

Пример 3. Отдельный практический интерес представляет создание активного экологического барьера на пути распространения загрязненных грунтовых вод. Принцип действия активных систем заключается в пропускании грунтовых вод и одновременном удалении или дезактивации загрязняющих веществ с необходимым временем экспозиции. Такие активные барьеры в зависимости от характера поллютантов и конкретных условий способствуют сорбции и детоксикации на анионно-катионном уровне отделяемых сред при наличии в них соединений тяжелых металлов, радионуклидов и/или углеводородов.

Отличительными особенностями реагентов проницаемого экологического барьера должны быть их полифункциональность и химическая активность. Это позволяет перевести подвижные формы тяжелых металлов и радионуклидов в труднорастворимые соединения, снизить токсичность легко растворимых солей и, как следствие, будет способствовать ускорению процессов дезактивации.

Одно из условий использования активного экологического барьера — достаточная гидрогеологическая изученность участка водозабора и ареалов его загрязнения, а также наблюдения за режимом подземных вод.

Возможным вариантом исполнения экологического барьера с активной частью является конструкция, общий вид которой представлен на рис. 5.

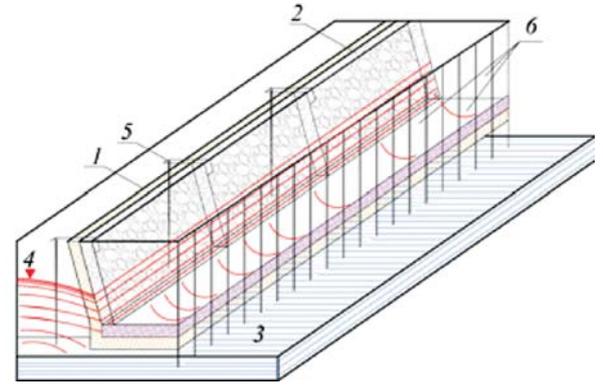


Рис. 4. Пример реализации очищающего активного экологического барьера:

1 – песчаный наполнитель; 2 – сетчатые габионные блоки из крупнопороздного щебня; 3 – водоупорный слой; 4 – УГВ; 5 – анкер; 6 – шпунтовые панели

Fig. 4. An example of the implementation of a cleansing active environmental barrier:

1 – sandy filler; 2 – mesh gabion blocks from large-grained crushed stone; 3 – waterproof layer; 4 – GWT; 5 – anchor; 6 – grooving panels

Система состоит из непроницаемой (направляющей загрязненный поток грунтовых вод) части 1 и активной части, которая непосредственно отвечает за очистку грунтовых вод 2 (см. рис. 5).

Каркас фильтрующей кассеты 8 изготавливается из стального, стеклопластикового, пластмассового или других аналогичных материалов. Окно фильтрации 9 выпол-

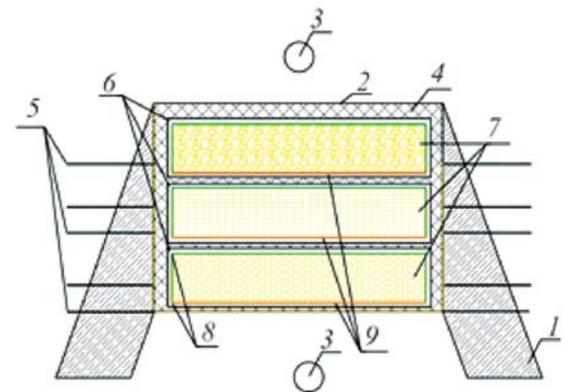


Рис. 5. Пример реализации комбинированного экологического барьера:

1 – непроницаемый экологический барьер, направляющий загрязненный поток грунтовых вод; 2 – проницаемый активный экологический барьер, фильтрующий загрязненный поток грунтовых вод; 3 – система импактного мониторинга до и после активного барьера; 4 – несущая конструкция активного барьера; 5 – фиксирующая металлическая арматура; 6 – ячейки активного экологического барьера; 7 – фильтрующие кассеты; 8 – каркас фильтрующей кассеты; 9 – окно фильтрации

Fig. 5. An example of the implementation of the combined environmental barrier:

1 – an impermeable environmental barrier that directs contaminated groundwater flow; 2 – permeable active environmental barrier that filters contaminated groundwater flow; 3 – Impact monitoring system before and after the active barrier; 4 – supporting structure of the active barrier; 5 – locking metal fittings; 6 – cells of an active ecological barrier; 7 – filter cassettes; 8 – filter cassette frame; 9 – filter window



Рис. 6. Последовательность формирования уровней глубоко эшелонированной системы защиты при эксплуатации природно-антропогенных комплексов

Fig. 6. The sequence of formation of the levels of the deeply layered protection system during the operation of natural-anthropogenic complexes

няется из тканей на основе полипропиленового, полиамидного, полиэстерового, полиарамидного, полиакрилового, политетрафторэтиленового или других вариантов нитей. Наполнитель фильтрующей кассеты 7 выбирается из элементов ряда: гравий, щебень, песок, глауконит, бентонит, диатомит, цеолит, гидрофобный торфяной материал, природные волокнистые, синтетические полимерные сорбенты и другие материалы, а также их комбинации, способные очищать воду от нефти, нефтепродуктов и других загрязнителей.

Фильтрующие кассеты 7 изготавливаются таким образом, чтобы существовала возможность смены наполнителя в случае уменьшения эффективности очистки или "проскоке" веществ-загрязнителей. Обнаружение "проскока" веществ-загрязнителей фиксируется УФ флуориметром во второй контрольной точке 3, расположенной после проницаемого активного барьера.

Таким образом, рассмотренные комбинации и сочетания элементов экологических барьеров в виде системы эшелонированной защиты позволяют гарантировано предотвратить развитие аварийных ситуаций, связанных с разливами ННП в условиях критически важного природопользования на территории природно-антропогенных комплексов.

Для создания надежной и объектно-ориентированной эшелонированной защиты природно-

антропогенных комплексов необходима функциональная интеграция экологических барьеров (поверхностных пассивных (локализирующих) и заглубленных активных или пассивных) с ограждающими и направляющими устройствами.

Концепция создания эшелонированной защиты природно-антропогенных комплексов

Общий цикл формирования эшелонированной защиты природно-антропогенных комплексов с использованием экологических барьеров предполагает последовательное выполнение трех основных этапов.

1. Выбор мест размещения экологических барьеров.
2. Лабораторные и стендовые испытания экологических барьеров (проницаемых реакционных барьеров); масштабирование образцов с наилучшими показателями.
3. Развертывание системы наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния природной среды в рискованных зонах в виде импактного мониторинга.

На первом этапе проводится комплекс необходимых инженерных изысканий и на основе полученных результатов осуществляется мультисценарное прогнозирование миграции загрязнения с целью картирования участков монтажа экологических барьеров [11, 12].

Непосредственное создание эшелонированной системы защиты выполняется на втором этапе.

Проектирование эшелонированной системы защиты должно учитывать данные о риске и возможных последствиях аварийных и чрезвычайных ситуаций. Не стоит упускать из внимания анализ применимости материалов для создания отдельных экологических барьеров. Для этого следует выполнять лабораторные и стендовые испытания взаимодействия материалов и техногенных потоков. Необходимо исследовать эффективность локализирующего или очищающего действия экологических барьеров, а также вероятность образования более токсичных соединений при деструкции техногенных потоков или старении материалов.

К основным действиям, проводимым на внедренческом этапе, относятся:

- монтаж и пуско-наладка;
- развертывание комплекса производственного экологического контроля;
- защита работающих и окружающей среды в нормальных условиях эксплуатации.

На рис. 6 указаны основные уровни планирования эшелонированной защиты природно-антропогенных комплексов.

При выборе, формировании и адаптации системы эшелонированной защиты следует руководствоваться критериями оценки реализуемых технологий [11], так как это в значительной степени упростит выбор технических решений уже на стадии концептуального проектирования.

Заключение

Использование системы эшелонированной защиты природно-антропогенных комплексов позволяет сократить затраты на ликвидацию последствий аварийных ситуаций. Это реализуется посредством предотвращения распространения техногенных потоков, обусловленных систематическими утечками и проливами ННП, их разливами, пожарами и взрывами.

Особенно актуальными становятся предлагаемые решения в условиях критических объектов природопользования (близость особо охраняемых природных территорий, водных объектов, при предельных значениях фоновых концентраций и т.п.).

Внедрение рассмотренной концепции предусматривает использование риск-ориентированного

подхода для предотвращения развития прогнозируемых и запроектных аварий. Так, при возникновении загрязнения окружающей среды и отказе каких-либо компонентов защиты вся автоматизированная система (включая импактную си-

стему мониторинга качества окружающей среды) должна продолжать работать и полностью выполнять свои функции с приемлемым уровнем потенциального риска.

Несомненным преимуществом классифицированных тех-

нических решений (экологических барьеров) является возможность их использования как на уже загрязненных объектах, так и в качестве превентивной меры защиты при строительстве новых производств.

Литература

1. **Одинцова Т.А.** Разработка технологии идентификации и мониторинга нефтяных загрязнений: Автореф. дис. канд. техн. наук. Пермь, Горный институт УрО РАН, 2010. 24 с.
2. **Постановление** Правительства Российской Федерации от 15.04.2002 № 240 (ред. От 14.11.2014) "О порядке организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации" (Издание "Собрание законодательства РФ", 22.04.2002, № 16, ст. 1569). Система Консультант-плюс [Электронный ресурс] URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_36284/ (дата обращения: 04.02.2019).
3. **Миронова О.С., Остак С.В.** Эшелонированная защита уязвимых природных объектов от глубинного нефтяного загрязнения. Экологический вестник России. 2014. № 7. С. 24–29.
4. **A report** by the International Nuclear Safety Advisory Group "INSAG-5. The Safety of nuclear power". IAEA, Vienna. 1992. 83 p. Mater. Международного агентства по атомной энергии [Электронный ресурс] URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub910e_web.pdf (дата обращения: 04.02.2019).
5. **Гордон Б.Г.** Безопасность ядерных объектов, М., НИЯУ "МИФИ", 2014. 384 с.
6. **Билык Б.И., Рыхков С.С.** Повышение экологической безопасности 1 блока Южно-Украинской АЭС на основе концепции глубоко эшелонированной защиты. Промышленная теплотехника. 2007. Т. 29. № 5. С. 61–69.
7. **Доклад** "Основные принципы безопасности атомных электростанций 75-INSAG-3". МАГАТЭ, Вена. 2015. 125 с. Mater. Международ. агентства по атомной энергии [Электронный ресурс] URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1082r_web.pdf (дата обращения: 04.02.2019).
8. **Махутов Н.А., Резников Д.О.** Многоуровневая оценка живучести сложных технических систем с учетом масштабно-структурной иерархии процессов накопления повреждений и разрушения. Безопасность в техносфере. 2016. Т. 5 № 3. С. 3–17.
9. **Акимов В.А.** Основы анализа и управления риском в природной и техногенных сферах. В.А. Акимов, В.В. Лесных, Н.Н. Радаев. М., Деловой экспресс, 2004. 352 с.
10. **A report** by the International Nuclear Safety Advisory Group "Defense in depth in nuclear safety. INSAG-10". IAEA, Vienna. 1996. 33 p. Mater. Международ. агентства по атомной энергии [Электронный ресурс] URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1013e_web.pdf (дата обращения: 04.02.2019).
11. **Остак С.В., Ольховикова Н.Ю.** Методика выбора технологий локализации и ликвидации нефтяных и нефтехимических загрязнений. Химическая техника. 2018. № 5. С. 20–24.
12. **Остак С.В., Миронова О.С.** Мультиценарное прогнозирование последствий глубинного нефтяного загрязнения почвенных объектов. Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2014. № 9. С. 47–51.

References

1. **Odintsova T.A.** Razrabotka tekhnologii identifikatsii i monitoringa neftyanykh zagryaznenii: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk. Perm', Gornyi institut UrO RAN, 2010. 24 s.
2. **Postanovlenie** Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 15.04.2002 № 240 (red. Ot 14.11.2014) "O poryadke organizatsii meropriyatii po preduprezhdeniyu i likvidatsii razlivov nefti i nefteproduktov na territorii Rossiiskoi Federatsii" (Izдание "Sobranie zakonodatel'stva RF", 22.04.2002, № 16, st. 1569). Sistema Konsul'tant-plyus [Elektronnyi resurs] URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_36284/ (data obrashcheniya: 04.02.2019).
3. **Mironova O.S., Ostakh S.V.** Eshelonirovannaya zashchita uyazvimykh prirodnykh ob"ektov ot glubinnogo neftyanogo zagryazneniya. Ekologicheskii vestnik Rossii. 2014. № 7. S. 24–29.
4. **A report** by the International Nuclear Safety Advisory Group "INSAG-5. The Safety of nuclear power". IAEA, Vienna. 1992. 83 p. Mater. Mezhdunarodnogo agentstva po atomnoi energii [Elektronnyi resurs] URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub910e_web.pdf (data obrashcheniya: 04.02.2019).
5. **Gordon B.G.** Bezopasnost' yadernykh ob"ektov, M., NIYAU "MIFI", 2014. 384 s.
6. **Bilyk B.I., Ryzhkov S.S.** Povyshenie ekologicheskoi bezopasnosti 1 bloka Yuzhno-Ukrainskoi AES na osnove kontseptsii gluboko eshelonirovannoi zashchity. Promyshlennaya teplotekhnika. 2007. T. 29. № 5. S. 61–69.
7. **Doklad** "Osnovnye printsipy bezopasnosti atomnykh elektrostansii 75-INSAG-3". MAGATE, Vena. 2015. 125 s. Mater. Mezhdunar. agentstva po atomnoi energii [Elektronnyi resurs] URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1082r_web.pdf (data obrashcheniya: 04.02.2019).
8. **Makhutov N.A., Reznikov D.O.** Mnogourovnevaya otsenka zhivuchesti slozhnykh tekhnicheskikh sistem s uchetom masshtabno-strukturnoi ierarkhii protsessov nakopleniya povrezhdenii i razrusheniya. Bezopasnost' v tekhnosfere. 2016. T. 5 № 3. S. 3–17.
9. **Akimov V.A.** Osnovy analiza i upravleniya riskom v prirodnoi i tekhnogennykh sferakh. V.A. Akimov, V.V. Lesnykh, N.N. Radaev. M., Delovoi ekspress, 2004. 352 s.
10. **A report** by the International Nuclear Safety Advisory Group "Defense in depth in nuclear safety. INSAG-10". IAEA, Vienna. 1996. 33 p. Mater. Mezhdunar. agentstva po atomnoi energii [Elektronnyi resurs] URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1013e_web.pdf (data obrashcheniya: 04.02.2019).
11. **Ostakh S.V., Ol'khovikova N.Yu.** Metodika vybora tekhnologii lokalizatsii i likvidatsii neftyanykh i neftekhimicheskikh zagryaznenii. Khimicheskaya tekhnika. 2018. № 5. S. 20–24.
12. **Ostakh S.V., Mironova O.S.** Mul'titsenarnoe prognozirovanie posledstviy glubinnogo neftyanogo zagryazneniya pochvennykh ob"ektov. Zashchita okruzhayushchei sredy v neftegazovom komplekse. 2014. № 9. S. 47–51.

С.В. Остак – канд. техн. наук, доцент, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 119991 Россия, г. Москва, Ленинский проспект 65, e-mail: ostah2009@yandex.ru • О.С. Остак – ассистент, e-mail: mironova_ok@mail.ru • Н.Ю. Ольховикова – аспирант, e-mail: olynatas@mail.ru

S.V. Ostakh – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Gubkin Oil and Gas University (NRU), 119991 Russia, Moscow, Leninsky Prospect 65, e-mail: ostah2009@yandex.ru • O.S. Ostakh – Assistant, e-mail: mironova_ok@mail.ru • N.Yu. Olkhovikova – Post-graduate Student, e-mail: olynatas@mail.ru