

УДК 504.06:622.692.4

**ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА И СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ АВАРИЯХ НА НЕФТЕПРОВОДАХ**

*канд. техн. наук, доц. В.К. ЛИПСКИЙ  
(Полоцкий государственный университет)*

*Экологические последствия аварий на магистральных нефтепроводах формируются в границах геотехнической системы как результат взаимодействия аварийного трубопровода с окружающей средой. Исходя из этого фактора разработана функциональная схема и определена структура системы охраны водных объектов при авариях на нефтепроводах. Указаны два основных направления системы охраны водных объектов по решению следующих задач: прогнозирование возможных аварий, их характер, последствия, которые могут возникать в результате этого, использование организационно-управленческих схем, технологических процессов и технических средств, направленных на охрану водных объектов при авариях на магистральных нефтепроводах. Для решения этих задач система наделяется прогнозно-аналитической, организационно-технической и нормативно-управленческой функциями.*

**Введение.** Аварийные разливы нефти (АРН) как события, возникающие в момент разгерметизации нефтепровода и развивающиеся во времени и пространстве в форме взаимодействия разлившейся нефти с компонентами геосферы, техносферы и социума, представляют собой динамичные явления, протекающие под воздействием многочисленных факторов, имеющих различную природу: физическую, геоландшафтную, инженерно-техническую, финансово-экономическую, организационно-управленческую и т.п. [1, 2].

Общая концепция исследований, направленных на охрану водных объектов (ВО) при авариях на магистральных нефтепроводах (АМНП) основана на том, что *экологические последствия аварий на магистральных нефтепроводах формируются в границах геотехнической системы как результат взаимодействия аварийного трубопровода с окружающей средой.* Минимизация экологических последствий достигается путём целенаправленного управления факторами, под влиянием которых формируются масштаб и характер экологических последствий.

Деятельность, направленная на предотвращение и преодоление негативных последствий АМНП, в частности вызванных загрязнением водных объектов ВО, должна проводиться в различных сферах, где проявляется действие этих факторов, а для управления этими факторами разрабатывается система охраны водных объектов (СОВО), целью которой является минимизация экологических последствий от загрязнения нефтью ВО при АМНП [1]. В рамках этой системы объединяется управление факторами влияния, действующими в четырёх взаимосвязанных сферах:

- 1) в антропогенно-техногенной сфере – *магистральный нефтепровод;*
- 2) геоландшафтной сфере – *естественный ландшафт.*

Совместно эти две сферы образуют геотехническую подсистему – *антропогенный ландшафт;*

3) в сфере организационно-технической деятельности – *органы государственного управления трубопроводным транспортом и операторы трубопроводного транспорта, органы государственного управления охраной окружающей среды и чрезвычайными ситуациями;*

4) сфере нормативно-правового регулирования деятельности по охране ВО при АМНП – *система законодательных и технических нормативно-правовых актов.*

Совместно образуют подсистему, обеспечивающую регулирование охраны ВО при АМНП.

В качестве приоритетного метода создания системы охраны ВО используется системный подход, который позволяет осуществить полный учёт и таксономирование всех факторов, влияющих на эффективность охраны ВО и организовать взаимодействия всех структурных элементов системы, деятельность которых обеспечивает минимизацию последствий АРН для ВО [3 – 6].

В связи с тем, что в системе охраны водных объектов взаимодействуют большое количество разнородных элементов описания облика и их взаимодействие связано с использованием информации различной физической природы, в ряде случаев имеющей нечёткий, зачастую только качественный характер, не позволяющей использовать детерминированные зависимости, использование системного подхода, который включает применение эвристических, неформальных процедур, даёт возможность формализовать описание элементов системы, их взаимодействия и всей системы в целом.

На основе системного подхода проводится моделирование процессов воздействия МНП на окружающую среду при авариях и разрабатывается методика оценки экологических последствий возможных аварий на МНП [7].

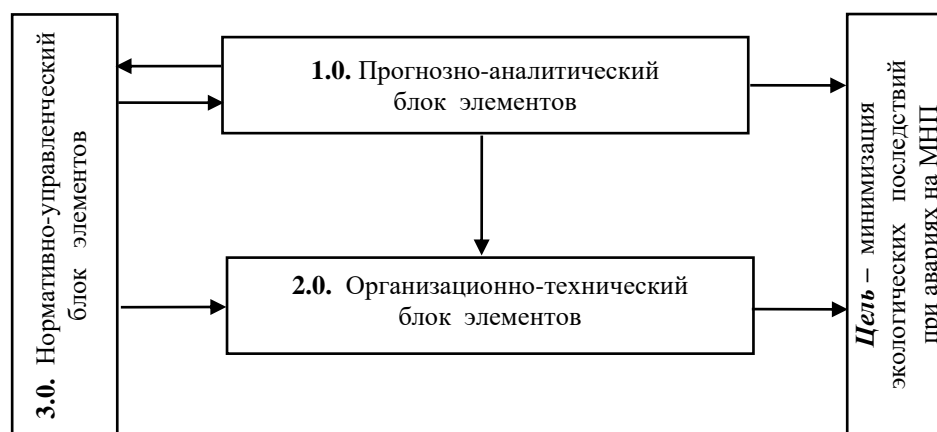
**Структура системы.** Всестороннее изучение состояния проблемы охраны ВО при АМНП, анализ зарубежного и отечественного опыта практической деятельности по ликвидации аварийных разливов

нефти (ЛАРН) и результаты целенаправленных исследований и разработок позволили установить основные требования, которые должны выполняться при создании СОВО при АМНП, а также основные функции этой системы. Система охраны водных объектов при АМНП должна осуществлять решение стоящей перед ней задачи по двум направлениям:

- 1) обеспечение прогнозирования возможных аварий и их вида;
- 2) практическое использование методов, технологических процессов, технических средств и организационно-управленческих схем, предназначенных для инженерно-технологического обеспечения мероприятий по охране ВО при АМНП.

Для достижения цели решения проблемы загрязнения ВО, состоящей в минимизации экологических последствий загрязнения ВО при АМНП, система охраны водных объектов наделяется тремя функциями: прогнозно-аналитической, организационно-технической и нормативно-управленческой.

Для реализации этих функций СОВО включает в себя три функциональных блока элементов (рисунок).



Функциональная схема СОВО при АМНП

### 1. Прогнозно-аналитический блок элементов состоит из трёх подсистем:

- 1.1. Подсистема мониторинга, включающая два элемента, которые осуществляют:
  - 1.1.1. Мониторинг технического состояния и условий эксплуатации нефтепровода;
  - 1.1.2. Мониторинг окружающей среды.
- 1.2. Подсистема идентификации объектов окружающей среды, включающая четыре элемента, которые осуществляют:
  - 1.2.1. Идентификацию и производственную классификацию водных объектов;
  - 1.2.2. Идентификацию и производственную классификацию болот;
  - 1.2.3. Идентификацию других объектов ОС;
  - 1.2.4. Сегментирование трассы нефтепровода на автономные и локальные участки.
- 1.3. Подсистема оценки экологических последствий аварий, включающая два элемента, которые осуществляют:
  - 1.3.1. Вычисление оценки индекса риска аварии;
  - 1.3.2. Вычисление обобщенной количественной оценки экологических последствий возможной аварии, которая может быть использована в качестве:
    - 1.3.2.1. Прогнозной оценки для ранжирования участков трассы по уровню ожидаемой экологической опасности;
    - 1.3.2.2. Обобщенной количественной оценки экологической характеристики территории с точки зрения её восприимчивости к данному антропогенному воздействию;
    - 1.3.2.3. Обобщенной количественной оценки эффективности функционирования СОВО по результатам ликвидации экологических последствий конкретной аварии.

### Типизация локальных участков трассы

### 2. Организационно-технический функциональный блок элементов состоит из трёх подсистем:

- 2.1. Подсистема плано-технологического обеспечения, включающая пять элементов, которые осуществляют типизацию локальных участков трассы:
  - 2.1.1. Типизацию локальных участков трассы;
  - 2.1.2. Разработку типовых сценариев развития аварий;
  - 2.1.3. Разработку типовых технологических процессов ЛАРН;
  - 2.1.4. Разработку технологических карт ЛАРН;
  - 2.1.5. Разработку планов ЛАРН.

2.2. Подсистема инженерно-технического обеспечения, включающая три элемента:

2.2.1. Автоматизированную диспетчерскую систему обнаружения утечек и управления насосными агрегатами и линейными задвижками в аварийных ситуациях;

2.2.2. Стационарные защитные сооружения, предотвращающие попадание разлившейся нефти, перемещающейся по поверхности земли, в водные объекты;

2.2.3. Систему технического оснащения аварийно-восстановительных служб, сформированную в соответствии с норматив-табелем.

2.3. Подсистема организационно-управленческого обеспечения, включающая три элемента, которые осуществляют:

2.3.1. Разработку структуры АВС;

2.3.2. Кадровое обеспечение АВС;

2.3.3. Планирование профилактических работ.

**3. Нормативно-управленческий функциональный блок элементов** состоит из двух подсистем:

3.1. Подсистема нормативно-методического регулирования, включающая два элемента:

3.1.1. Систему правовых, технических и экономических общегосударственных законодательных и нормативно-правовых актов (НПА);

3.1.2. Систему отраслевых и объектовых технических НПА.

3.2. Подсистема инвестиционно-экономического обеспечения, включающая три элемента:

3.2.1. Обоснование и планирование инвестиций в обеспечение охраны ВО;

3.2.2. Обоснование и планирование инвестиций в обеспечение охраны ВО;

3.2.3. Финансово-экономический анализ и оценку деятельности СОВО.

**Прогнозно-аналитический функциональный блок.** Первое направление в решении стоящих перед СОВО задач состоит в обеспечении прогнозирования возможных аварий и их вида. Выполнение СОВО прогнозно-аналитической функции позволяет решать задачи прогнозирования возможной аварии, её развития и вида, прогнозирования экологических последствий аварии.

Прогнозирование включает в себя процедуры мониторинга и анализа. Основой прогнозирования является мониторинг технических параметров нефтепровода и мониторинг геоландшафтных параметров окружающей среды.

Анализ данных мониторинга техногенного и геоландшафтного компонентов антропогенного ландшафта обеспечивают информацией о параметрах возможных аварийных разливов нефти, обобщенной в виде оценки риска аварии и о параметрах ВО, которые могут быть подвергнуты загрязнению нефтью, обобщенной в виде предметно-ориентированных каталогов водных объектов (ПОКВО). Эти параметры являются исходными данными для разработки сценариев развития возможных аварий по всей протяженности трассы трубопровода.

Для оценки риска аварии в данной точке трассы нефтепровода существуют хорошо разработанные, нормативные методики [8, 9], с помощью которых оценивается вероятность аварии, обладающей определенными параметрами, например: ожидаемыми размерами аварийного отверстия, ожидаемым объемом разлившейся нефти, ожидаемой площадью загрязнения земли или акватории водного объекта. Использование методики [9] получило широкое применение для оценки риска аварий при декларировании опасных производственных объектов. На РУП «Гомельтранснефть – «Дружба» функционирует компьютерная программа «Слайдер», которая ведёт мониторинг параметров технического состояния и условий, в которых осуществляется эксплуатация МНП.

Начальным этапом разработки сценариев развития возможной аварии в данной точке конкретного нефтепровода является идентификация водных объектов. Выявлению и учёту подлежат все водные объекты, по территории водосборных бассейнов которых проходит трасса нефтепровода. Все выявленные водные объекты классифицируются в соответствии с разработанной производственной классификацией водных объектов и сводятся в предметно-ориентированный каталог водных объектов.

Для каждого водного объекта определяются границы его водосборного бассейна и водораздельные точки трассы, т.е. точки пересечения трассы нефтепровода с границами водосборного участка. Участок трассы, находящийся между двумя водораздельными точками и лежащий в границах водосборного бассейна одного водного объекта, образует автономный участок трассы, перемещение нефти по территории которого ограничено границами водосборного бассейна.

Автономные участки в свою очередь могут сегментироваться на локальные участки, которые представляют собой отрезки трассы, проходящие по территории с однозначными геоландшафтными характеристиками [16].

Среди различных типов геоландшафтов, по которым проходят трассы МНП, особое внимание должно быть уделено болотным ландшафтам, загрязнение которых нефтью имеет свои особенности, а проведение работ по ЛАРН вызывает дополнительные трудности. Болотные ландшафты, расположенные

на территории автономных участков должны быть идентифицированы на основании предложенной в работе производственной классификации болотных ландшафтов [17].

Для возможности прогнозирования облика аварии необходимо выявить факторы, влияющие на развитие аварии и её последствия (группы факторов и сами факторы), и разработать методы представления и формализации геоландшафтных условий, в которых происходит авария с целью их систематизации и типизации [10 – 13].

Результаты прогнозирования предназначены для использования на подготовительном (доаварийном) этапе в качестве исходных данных для разработки комплекса мер по предупреждению, локализации и ликвидации аварийных разливов нефти, включая разработку Планов ликвидации аварий (ПЛА), а также подготовки их инженерно-технического обеспечения.

Для подготовки инженерно-технического обеспечения ПЛА, включающей выбор состава технических средств и технологических процессов локализации и ликвидации АРН, а также для обоснования мероприятий, включаемых в ПЛА, необходимо разработать метод идентификации компонентов окружающей среды, вовлекаемых в техногенные процессы при эксплуатации нефтепроводов, на основе которого:

- осуществить создание предметно-ориентированных каталогов водных объектов и производственной классификации болотных ландшафтов;
- создать методику сегментирования трассы трубопровода в соответствии с геоландшафтными характеристиками местности;
- создать методику типизации автономных геоландшафтных участков трассы.

Это явится основанием для разработки сценариев развития аварий, их типизации и создания на их основе типовых технологических процессов предупреждения, локализации и ликвидации аварийных разливов нефти при авариях на МНП, которые будут использованы как основа для разработки Планов ликвидации аварийных разливов нефти.

Другим важным направлением использования результатов прогнозирования является оценка экологических последствий аварии. Для решения этой задачи необходимо создание метода, который бы позволял в обобщённом виде давать количественную оценку результатов (последствий) антропогенного воздействия техногенеза на ландшафт. Этот метод должен быть адаптирован для решения трёх задач:

1) *прогнозная обобщенная количественная оценка ожидаемых экологических последствий возможной аварии*, которая может быть использована для ранжирования объектов по уровню ожидаемой экологической опасности и выработке на этой основе решений по выделению необходимых инвестиций и ресурсов и планированию организационно-управленческой деятельности;

2) *обобщенная количественная оценка экологической характеристики территории с точки зрения восприимчивости негативного антропогенного воздействия*, которая может быть использована на прединвестиционной и инвестиционной стадии жизненного цикла промышленного объекта для сравнения вариантов при выборе места его расположения (например, при обосновании выбора трассы);

3) *обобщенная количественная оценка эффективности результатов деятельности* по ликвидации экологических последствий конкретной аварии, которая может быть использована как для оценки деятельности аварийно-восстановительной службы по охране водных объектов при ликвидации последствий конкретной аварии, так и для оценки эффективности системы охраны водных объектов при авариях на нефтепроводах в целом.

**Организационно-технический и нормативно-управленческий функциональные блоки.** Вторым направлением решения задач, стоящих перед СОВО, является практическое использование методов, технологических процессов, технических средств и организационно-управленческих схем, предназначенных для инженерно-технологического обеспечения мероприятий по охране ВО при АМНП. Для этого необходимо осуществить разработку (или обосновать выбор) эффективных организационных схем, технологических приёмов и оборудования, которые бы позволили с наибольшей результативностью осуществлять превентивные и оперативные мероприятия по предупреждению, локализации и ликвидации загрязнения ВО при АМНП [14, 15].

Одновременно на общегосударственном, отраслевом и объектовом уровнях должно быть обеспечено нормативно-методическое регулирование охраны ВО при АМНП и инвестиционно-экономическое сопровождение этой деятельности.

Задачей планово-технологического обеспечения охраны ВО является разработка планов ЛАРН. Основанием для планирования работ по ЛАРН служат сценарии развития возможной аварии в данной точке трассы. В основу их разработки положено сегментирование трассы на автономные и локальные участки, для каждого из которых разрабатываются сценарии. Исходным показателем для разработки сценариев развития возможной аварии в данной точке трассы является значение индекса риска возможной аварии, содержащего информацию об ожидаемом объёме разлившейся нефти. Разработка сценариев развития возможной аварии в данной точке трассы конкретного нефтепровода проводится на основе использования типовых сценариев развития аварий.

В связи с тем, что на всём протяжении трассы количество локальных участков достаточно большое, проведена их типизация. Локальные участки, идентифицированные при мониторинге конкретного нефтепровода, должны быть систематизированы по этим типам [16].

Для типовых локальных участков трассы разработаны типовые сценарии развития аварий, для которых в свою очередь разработаны типовые технологические процессы локализации и ликвидации АРН.

При планировании работ по ЛАРН для каждого локального участка трассы конкретного нефтепровода, тип которого определён и, соответственно, имеется типовый сценарий развития возможной аварии и типовой технологический процесс, разрабатывается технологический процесс ЛАРН для данного локального участка. Разработанные таким образом технологические процессы для всех локальных участков трассы включаются в качестве основных элементов в планы ЛАРН, разработанные для автономных участков и, соответственно, в ПЛА для всего трубопровода.

Инженерно-техническое обеспечение охраны ВО в первую очередь включает в себя автоматизированную систему обнаружения утечек и управления насосными агрегатами и линейными задвижками в аварийных ситуациях.

Средством предотвращения загрязнения ВО при АРН являются стационарные защитные сооружения (заградительные земляные валы), которыми должна быть оборудована территория трассы МНП в пунктах, где по сценариям возможных аварий стекающая по поверхности земли нефть может поступать в водные объекты. К числу крупных защитных сооружений относятся также стационарные пункты удержания нефти на реках, которые предназначены для предотвращения трансграничного переноса разлившейся нефти [18].

Система технического оснащения аварийно-восстановительных служб должна включать номенклатуру специального оборудования и устройств, предназначенных для локализации и ликвидации АРН на водных объектах [19, 20].

Нормативно-управленческая функция СОВО обеспечивается действием системы взаимосвязанных правовых, технических и экономических общегосударственных законодательных и нормативно-правовых актов и отраслевых и объектовых технических НПА, некоторые из которых ещё необходимо разрабатывать.

Инвестиционно-экономическое сопровождение деятельности СОВО, состоящее прежде всего в обосновании и планировании инвестиций в обеспечение охраны ВО, должно быть основано на оценке степени экологической опасности различных участков трассы.

**Заключение.** Анализ функциональной схемы и структуры системы охраны водных объектов при авариях на нефтепроводах показал, что загрязнение ВО при АРН является сложной, многофакторной проблемой, рассматривать которую необходимо с позиций системного подхода.

Разработка функциональной схемы и структуры СОВО проведена с учётом наличия различных сфер, в которых проявляется действие факторов, влияющих на экологические последствия АРН:

- техногенная сфера – магистральный нефтепровод;
- геосфера – естественный ландшафт;
- сфера организационно-технической деятельности – органы управления, операторы трубопроводного транспорта, силы и средства аварийно-спасательных служб;
- сфера нормативно-правового регулирования – система законодательных и технических нормативно-правовых актов.

Выявлены два основных направления деятельности СОВО по минимизации экологических последствий при авариях от загрязнения водных объектов при АРН:

- 1) прогнозирование возможных аварий, их вида и последствий;
- 2) использование организационно-управленческих схем, технологических процессов и технических средств, направленных на охрану ВО при АРН.

Для решения этих задач СОВО наделяется прогнозно-аналитической, организационно-технической и нормативно-управленческой функциями.

Элементы и подсистемы, входящие в состав СОВО при АРН, предназначенные для выполнения указанных функций, принадлежат к различным сферам, в которых происходит формирование и проявление воздействия факторов влияния на экологические последствия АРН.

Разработанная функциональная схема и структуры системы охраны водных объектов при авариях на нефтепроводах является основанием для проведения научных исследований и разработок по формированию свойств элементов, входящих в СОВО и установлению их взаимодействия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Липский, В.К. Система защиты водных объектов от загрязнения при авариях на магистральных нефтепроводах Беларуси / В.К. Липский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Прикладные науки. – 2002. – Т. 1, № 2. – С. 3 – 16.

2. Защита водных объектов при аварийных разливах нефти / Д.П. Комаровский [и др.]; под ред. В.К. Липского. – Новополоцк: ПГУ, 2008. – 220 с.
3. Перегудов, Ф.И. Введение в системный анализ / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. – М.: Высш. шк., 1989. – 367 с.
4. Липский, В.К. Генезис, структура и методологические аспекты проблемы защиты водных объектов при авариях на нефтепроводах / В.К. Липский // Безопасность и надежность трубопроводного транспорта: сб. науч. тр. – Новополоцк: ПГУ, 2002. – Вып. 2. – С. 136 – 146.
5. Липский, В.К. Методы оценки параметров системы защиты водных объектов при авариях на нефтепроводах / В.К. Липский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Прикладные науки. – 2004. – № 1. – С. 16 – 24.
6. Липский, В.К. Эталонный метод квантификации факторов влияния на последствия аварий на магистральных нефтепроводах / В.К. Липский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Прикладные науки. Промышленность – 2007. – № 8. – С. 116 – 124.
7. Липский, В.К. Концепция моделирования воздействия нефтепроводов на окружающую среду при авариях / В.К. Липский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Прикладные науки. – 2005. – № 3. – С. 23 – 25.
8. Концепция методического руководства по оценке степени риска магистральных трубопроводов / Ю.В. Лисин [и др.] // Трубопроводный транспорт нефти. – 1997. – № 12. – С. 8 – 14.
9. Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах. Сер. 27, Вып. 1 / колл. авт. – М.: Гос. предприятие Науч.-техн. центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2000. – 96 с.
10. Концепция методического руководства по определению периодичности внутритрубной диагностики магистральных нефтепроводов / К.В. Черняев [и др.] // Трубопроводный транспорт нефти. – 1997. – № 4. – С. 16 – 19.
11. Нормы периодичности обследования магистральных трубопроводов внутритрубными инспекционными приборами: метод. руководство РД153-39-029-98 / М-во топлива и энергетики России. – М., 1998.
12. Липский, В.К. Оценка последствий возможных аварий на нефтепроводах / В.К. Липский, А.И. Вегера, А.В. Криволапов // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Прикладные науки. – 2004. – № 12. – С. 96 – 107.
13. Оценка эффективности системы защиты окружающей среды при авариях на магистральных нефтепроводах / В.К. Липский [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Прикладные науки. – 2006. – № 3. – С. 155 – 162.
14. Система организационно-технических мероприятий по защите водных объектов при залповых сбросах нефти. Обзорная информация / В.К. Липский [и др.]. – Минск: БЕЛНИЦ Экология, 2002. – 36 с.
15. Защита водных объектов при аварийных разливах нефти / Д.П. Комаровский [и др.]; под ред. В.К. Липского. – Новополоцк: ПГУ, 2008. – 220 с.
16. Липский, В.К. Ранжирование нефте- и нефтепродуктопроводов на участки по степени экологической опасности / В.К. Липский, Д.Н. Комаровский, Л.М. Спиридёнок // Природная среда Полесья: особенности и перспективы развития: тез. докл. на IV Междунар. науч. конф. – Брест: Альтернатива, 2008. – С. 164.
17. Липский, В.К. Защита болотных ландшафтов при авариях на нефтепроводах / В.К. Липский, Л.М. Спиридёнок, Д.Н. Комаровский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Прикладные науки. – 2006. – № 3. – С. 148 – 154.
18. Стационарные пункты удержания нефти на реках при залповых сбросах / В.К. Липский [и др.] // Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта: тез. докл. научн.-техн. конф. / Полоц. гос. ун-т. – Новополоцк, 2000. – С. 190.
19. Альбом оборудования для улавливания и сбора нефти с поверхности водных объектов / В.К. Липский [и др.]; под общ. ред. В.К. Липского. – Новополоцк: ПГУ, 2006. – 44 с.
20. Липский, В.К. Технические средства для сбора нефти с поверхности водных объектов / В.К. Липский, П.В. Коваленко // Ресурсо-и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф.: в 2 ч. – Минск, БГТУ, 2008. – Ч. I. – С. 300 – 304.

Поступила 02.12.2008