

СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИ АВАРИЯХ НА МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДАХ БЕЛАРУСИ

канд. техн. наук, доцент В.К. ЛИПСКИЙ

Разработана модель и проанализирована структурная схема проблемы загрязнения водных объектов при авариях на магистральных нефтепроводах Беларуси. Установлены основные элементы и связи системы защиты водных объектов. Рекомендованы основные принципы построения системы.

Введение

Магистральный трубопроводный транспорт в Республике Беларусь выполняет важные функции по обеспечению национальной безопасности путём создания условий для полноценного функционирования энергетического комплекса, снабжения сырьём важнейших отраслей национальной экономики, обеспечения валютных поступлений от транзита, укрепления международного престижа страны и, в целом, является жизненно важным элементом её устойчивого развития [1, 2].

Несмотря на то, что трубопроводный транспорт относится к наиболее экологобезопасным видам транспорта [3], он может оказывать серьёзное негативное влияние на окружающую среду. Это влияние различным образом проявляется как на стадии сооружения объектов трубопроводного транспорта, так и на стадии их эксплуатации [4].

При эксплуатации магистральных трубопроводов негативное экологическое воздействие в наибольшей мере связано с опасностью промышленных аварий, которые сопровождаются выходом из аварийного трубопровода транспортируемого вещества. Такие аварии могут иметь очень тяжёлые последствия. Это объясняется тем, что объекты магистрального трубопроводного транспорта, неся в себе огромный запас энергии, содержат большие объёмы опасных веществ – взрывопожароопасных и токсичных жидкостей и газов, которые перемещаются по трубопроводам под большим давлением. В зависимости от характера аварии и вида транспортируемого вещества последствия промышленных аварий на объектах магистрального трубопроводного транспорта могут в наибольшей мере проявиться в экономической, социальной или экологической сферах.

Аварии на магистральных газопроводах, связанные с разгерметизацией трубопровода и выходом газа, обычно сопровождаются крупными взрывами и пожарами, которые приводят к значительным разрушениям. Ущерб от таких аварий наиболее сильно проявляется в экономической и социальной сферах.

При авариях на магистральных нефтепроводах (МНП), сопровождающихся разливами нефти, наиболее серьёзные последствия наступают в экологической сфере. Это вызвано воздействием большого объёма разлившейся нефти на компоненты геосферы (земля, водные объекты, атмосфера) и биосферы (растительность, животный мир). Из всех возможных промышленных аварий на нефтепроводах наиболее тяжёлыми являются аварии, которые происходят на территориях водосборных бассейнов больших рек. Это связано с тем, что нефть является одним из наиболее опасных загрязнителей компонентов природной среды, особенно гидросферы. Опасность разлива нефти многократно возрастает в результате того, что она может по притокам переноситься в русла больших рек и по ним распространяться на значительные расстояния, оказывая негативное экологическое воздействие на обширных территориях. Загрязнение больших рек нефтью при крупных авариях на нефтепроводах может принять характер экологической катастрофы, а в случае трансграничного переноса разлившейся нефти – создать неблагоприятный для престижа страны международный инцидент.

По территории Республики Беларусь трассы МНП проложены в четырёх коридорах: Унеча – Полоцк – Скрудалиена и Сургут – Полоцк, проходящие по северо-восточной части; Унеча – Мозырь – Брест и Мозырь – Броды, проходящие по южной части страны. По этим нефтепроводам транспортируется до 70 % экспорта российской нефти в западные страны.

Трассы МНП Унеча – Полоцк – Скрудалиена и МНП Сургут – Полоцк находятся на территории водосборного бассейна Балтийского моря и преимущественно расположены в двух крупных геоморфологических районах – в Белорусской гряде и Полоцкой низине. Эта территория характеризуется густой сетью рек и озер (Белорусское Поозерье). Трасса МНП Сургут – Полоцк пересекает реку Западная Двина, которая является главной рекой, впадающей в Балтийское море [5]. Заболоченность трассы составляет 30 %. Трасса МНП Полоцк – Скрудалиена проходит параллельно реке Западная Двина.

Трассы нефтепроводов южного региона находятся в водосборном бассейне Чёрного моря. Они проходят по Приднепровской и Полесской низменностям (Полесье). Для рельефа этих областей характерны молодые, слаборазработанные долины рек, множество озер и бессточных впадин различных раз-

меров и форм, изредка соединенных между собой сточными реками-протоками. Территория имеет достаточно развитую сеть водотоков, почти все болота относятся к низменному типу. Большой частью они располагаются в речных долинах, занимая большие площади. Трассы МНП этого направления лежат в бассейнах больших рек: Днепр – главная река, впадающая в Чёрное море, а также Припять и Сож, впадающие в Днепр.

За последние годы резко повысилось требование государства к обеспечению экологической безопасности. В производственной деятельности предприятий трубопроводного транспорта нефти (ПТТН) охране окружающей среды стало придаваться первостепенное значение. Фактически в производственной системе магистрального трубопроводного транспорта сложился новый элемент производственной деятельности, направленный на обеспечение защиты компонентов окружающей среды при авариях на МНП, в особенности, – водных объектов (ВО). Этот новый вид производственной деятельности, в отличие от традиционных – ремонт, диагностика и т.п., находится в стадии формирования. Он ещё не имеет на вооружении в достаточной мере апробированных технологических процессов и технических средств, не обеспечен в полной мере правовой и нормативно-технической поддержкой. В то же время в обеспечение этого вида производственной деятельности ПТТН направляются значительные финансовые ресурсы, используемые в значительной мере на закупку дорогостоящего импортного оборудования.

Необходимо отметить, что не только в практике хозяйствования, но и в научных работах ещё не сложилась целостная концепция защиты водных объектов при авариях на МНП. Трубопроводный магистральный транспорт нефти остро нуждается в разработке стратегии создания опережающих компенсационных природоохранных мер, в первую очередь, – для ликвидации экологических последствий аварий при эксплуатации МНП. На языке системного анализа это означает, что система транспортирования нефти по магистральным нефтепроводам является проблемосодержащей [6].

Анализ проблемы загрязнения водных объектов при авариях на МНП

Загрязнения нефтью ВО при авариях на МНП представляют собой масштабные события, которые происходят на больших территориях и развиваются во времени. Характер развития аварий на МНП из-за их протяжённости отличается большой вариативностью и формируется под воздействием многочисленных факторов различной природы. Всё это объективно создаёт большие трудности в обеспечении защиты ВО. Загрязнения нефтью ВО влекут за собой очень тяжёлые экологические, экономические и социальные последствия, которые затрагивают не только интересы предприятия, но также региона и всей страны в целом. Опасность загрязнения водных объектов нефтью при авариях на нефтепроводах создаёт сложную *проблемную ситуацию* как в отрасли магистрального трубопроводного транспорта нефти, так и на территориях, где проходят магистральные нефтепроводы.

Под проблемной понимается такая ситуация, когда неудовлетворительность существующего положения осознана, но неясно, что нужно сделать для его изменения. Рассматриваемая проблемная ситуация представляет собой взаимодействие различных разнохарактерных элементов, что позволяет рассматривать её как систему. Многие элементы и связи этой системы не могут быть выражены аналитическими зависимостями. Сложность формализации описания происходящих в ней процессов определяется также сочетанием характеризующих её разнотипных факторов: технических, экологических, экономических, социальных и др. Исследование таких ситуаций с позиций системного подхода даёт возможность, наряду с использованием аналитических теорий, применять методы неформального анализа: метод экспертиз, метод опроса, имитационное моделирование и т.д. [6].

Приведенная исходная формулировка проблемной ситуации при системном анализе соответствует этапу обнаружения проблемы и не может быть отправной точкой для дальнейшего анализа, а является начальным объектом, который подлежит изучению [7]. Поскольку она построена на основании интуитивного, эвристического подхода, то для детального рассмотрения должна быть уточнена и конкретизирована. Проблема загрязнения ВО нефтью при авариях на МНП в проблемосодержащей системе транспортирования нефти является не изолированной и не целостной: она связана с другими системами и входит как часть в надсистему; сама она в свою очередь состоит из подсистем, в различной степени причастных к данной проблеме. Для её практического решения необходимо учесть, как скажутся разработанные меры на тех системах, которые будут затронуты планируемыми изменениями. Необходимо провести работу по структурированию исходной проблемы и выработке её точной формулировки. *Проблема должна быть приведена к виду, когда она становится задачей выбора подходящих средств для достижения заданной цели.* Поэтому для формулирования проблемы, кроме её структурирования, необходимо также определить цели, ради которых решается проблема.

Сама исходная формулировка является моделью реальной проблемной ситуации и в качестве начального объекта изучения может рассматриваться как система. В самом простом виде модель этой сис-

темы может быть представлена в виде «чёрного ящика». Суть такой модели состоит в том, что её целостность и обособленность выступают как внешние свойства. С её помощью нельзя решить вопросы, касающиеся внутреннего устройства системы. Для этого необходимо модель «чёрного ящика» объединить с моделью состава, представляющую собой перечень действий, необходимых для перевода начального состояния в конечное, и моделью структуры, в которой представлена последовательность действий. Объединение этих трёх моделей создаёт модель структурной схемы системы, которая учитывает элементы системы и связи между ними (модель «белый ящик») [6]. Процесс создания модели «белый ящик» для реальной системы неформализуем. Конкретное содержание реальной системы позволяет определить, какие аспекты этой системы включать как элементы модели заданного типа, а какие – нет, считая их несущественными.

На рис. 1 приведен граф модели структурной схемы системы проблемы загрязнения ВО. Из-за сложности модели её структура на графе представлена элементами только до подсистем не ниже второго уровня иерархии. Каждая из подсистем в свою очередь может быть структурирована до более низких уровней. На каждом уровне иерархии между элементами действуют свои связи как внутри подсистемы, так и между подсистемами. Однако даже в таком виде представленный граф свидетельствует о том, что рассматриваемая проблема представляет собой *большую сложную вероятностную систему*. Модель системы имеет сетевую схему структуры, в которой взаимодействуют подсистемы разных классов: организационные, технические, естественные, искусственные.

Логическая структура модели состоит в том, что проблемная ситуация (загрязнение ВО нефтью при авариях) возникает при эксплуатации МНП с целью выполнения ими своего назначения – транспортирования нефти. Если оставить за пределами рассмотрения анализ целей, для достижения которых осуществляется транспортирование нефти, и не рассматривать альтернативные способы транспортирования нефти, то подсистема транспортирования нефти является исходной в структуре модели проблемы. Выход подсистемы транспортирования нефти (в принятой постановке проблемы) является входом в элемент «авария».

Выход элемента «авария» является входом в подсистему развития аварии, в состав которой входит подсистема второго уровня загрязнения нефтью ВО, а выход подсистемы загрязнения нефтью ВО является входом в подсистему экологических, экономических и социальных последствий загрязнения нефтью ВО.

Параметры выхода подсистемы транспортирование нефти зависят от взаимодействия (обратной связи) с подсистемами обеспечения безаварийной работы и подсистемы предотвращения и ликвидации загрязнения ВО нефтью (конкретно, подсистемы второго уровня «обнаружение утечек»). Откликом на воздействие первой из этих двух подсистем является изменение динамики (частоты аварий) и мощности (объём разлившейся нефти) «сигнала» выхода из подсистемы транспортирования. Откликом на дискретное воздействие подсистемы обнаружение утечек является генерирование в подсистеме транспортирования «сигнала» выхода о переходе всей системы на аварийный режим работы.

На подсистему развития аварии оказывают воздействие входы, идущие из подсистем окружающей среды, подготовки к проведению аварийных работ, предотвращения и ликвидации загрязнения и нормативно-методической поддержки и правового и экономического регулирования. Следует отметить, что сигналы выходов подсистемы окружающей среды носят стохастический и неуправляемый характер.

Выходом подсистемы развития аварии является подсистема экологических, экономических и социальных последствий загрязнения ВО нефтью.

Большинство подсистем, входящих в рассматриваемую систему, относятся к классу искусственных организационно-экономических систем, т. е. моделируют процессы, совершаемые человеком-машинными комплексами. Исключения составляют только искусственная социально-экономическая подсистема нормативно-методической поддержки, правового и экономического регулирования, а также естественная подсистема окружающей среды. Эти подсистемы воздействуют на все организационно-экономические подсистемы рассматриваемой системы.

Анализ структуры модели предметно подтвердил, что на формирование проблемной ситуации оказывает воздействие большое количество разнотипных факторов, имеющих различную природу: техническую, геосферную, социальную, экономическую. Проведенное структурирование исходной проблемы позволило определить критические компоненты системы и качественно описать взаимодействие между этими компонентами. Это позволило привести модель структурной схемы проблемной ситуации к виду, когда она стала задачами выбора средств достижения заданной цели.

Поэтому прежде всего необходимо определить цели, которые должны быть достигнуты при решении проблемы. Для этого надо выяснить, чьим интересам будет служить ликвидация проблемной ситуации – загрязнение ВО при авариях на МНП [8]. Выделим три основные структуры, каждая из которых может иметь свои цели:

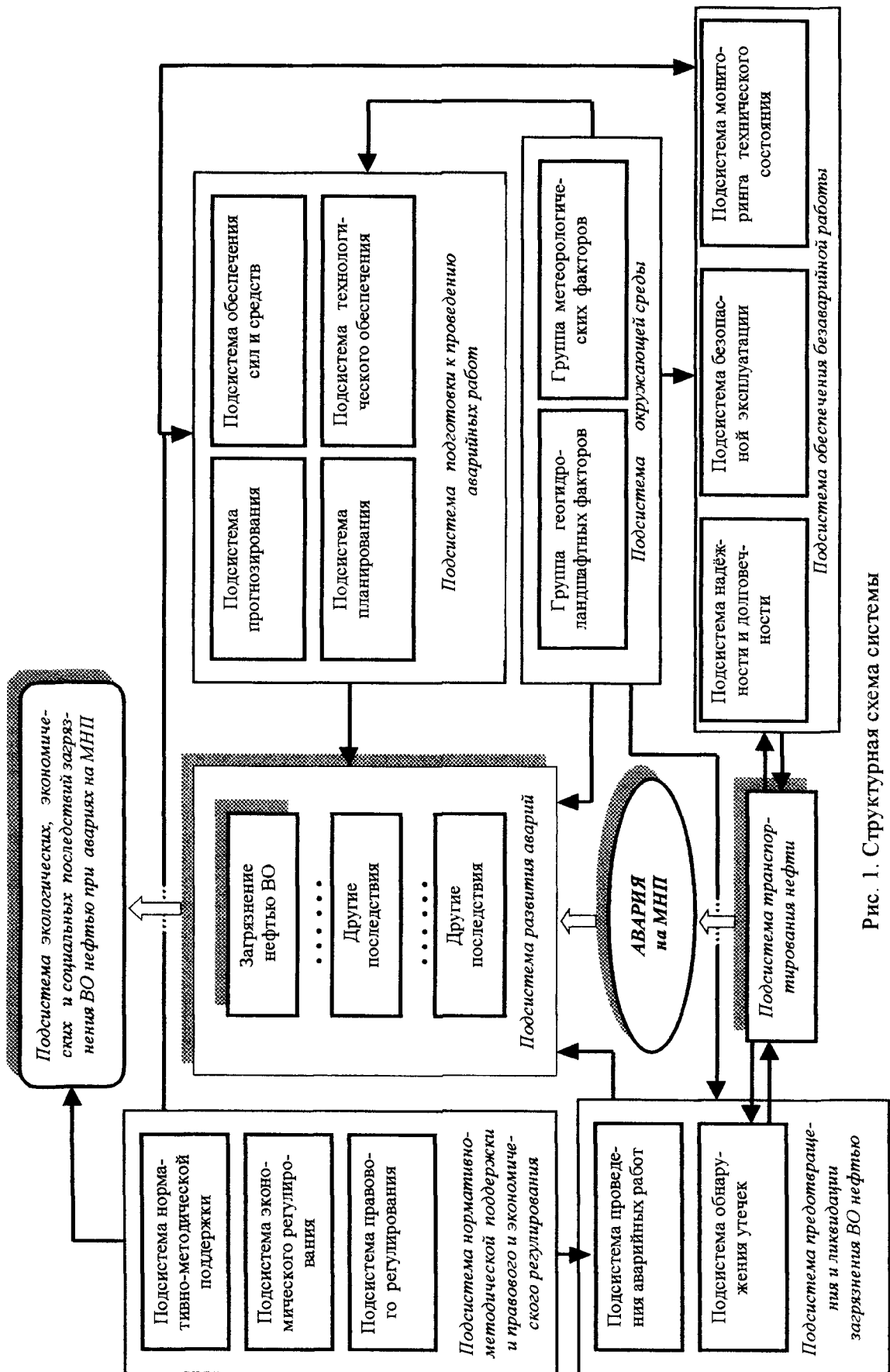


Рис. 1. Структурная схема системы

1. Государство

- 1.1. Минимизировать экологический ущерб от загрязнения ВО при авариях на НП.
- 1.2. Минимизировать экономический ущерб от загрязнения ВО при авариях на НП.
- 1.3. Минимизировать социальный ущерб от загрязнения ВО при авариях на НП.
- 1.4. Уменьшить опасность трансграничного переноса и тем самым избежать политических осложнений.
- 1.5. Обеспечить соблюдение законодательства в области охраны водных ресурсов, промышленной безопасности и защиты населения в чрезвычайных ситуациях.

2. Общество

- 2.1. Исключить вредное влияние на здоровье человека загрязнения ВО нефтью.
- 2.2. Минимизировать негативное влияние загрязнения ВО нефтью при использовании их для рекреационных, транспортных и др. целей.

3. ПТТН

- 3.1. Минимизировать убытки в виде уплаты компенсации за загрязнение ВО при авариях на МНП.
- 3.2. Уменьшить затраты финансовых и материальных ресурсов, необходимых на проведение аварийных работ

Обобщив цели различных структур, заинтересованных в решении проблемной ситуации, можно констатировать, что основная цель состоит в том, чтобы минимизировать последствия загрязнения ВО при авариях, достигая это на приемлемом уровне затрат в соответствии с законодательством. Средством достижения этой цели является снижение аварийности МНП и обеспечение защиты ВО от загрязнения нефтью при авариях на МНП. Снижение аварийности является наиболее эффективным путём достижения сформулированной цели. Радикальный путь устранения угрозы загрязнения ВО нефтью мог бы состоять в обеспечении безаварийной работы МНП, однако, как показывает мировой опыт, невозможно создать абсолютно надёжное оборудование и обеспечить абсолютную безопасность при его эксплуатации. Промышленные аварии на МНП неизбежны, а снижение аварийности не обеспечивает полную надёжность, следовательно, вероятность аварий существует всегда. Для количественного описания степени аварийности на МНП и эффективности мероприятий по снижению аварийности могут использоваться методы риск-анализа [25, 26].

Вопросы научного обоснования методов снижения аварийности МНП и их практического использования интенсивно разрабатываются и представляют в настоящее время самостоятельную и приоритетную область в научно-техническом обеспечении деятельности трубопроводного транспорта [27]. В статье рассматриваются вопросы обеспечения защиты ВО при авариях на МНП.

Таким образом, проведенный на базе модели структурной схемы системы системный анализ исходной формулировки проблемной ситуации позволил сформулировать её как *обеспечение защиты ВО от загрязнения нефтью при авариях на МНП*.

Цель и задачи защиты водных объектов при авариях на МНП

В соответствии со свойством итеративности, присущим системному анализу, необходимо уточнить цели, которые должны быть достигнуты при решении проблемы в её новой формулировке.

Для этого необходимо конкретизировать, что понимается под защитой ВО от загрязнения нефтью при авариях на МНП. Радикальный путь защиты ВО – обеспечение безаварийной работы – практически недостижим. Другой радикальный путь защиты ВО, который трудно себе представить, – это прокладка трасс МНП по территориям, где отсутствуют водные объекты, хотя при проектировании целесообразно принимать во внимание взаиморасположение трассы МНП и ВО с учётом опасности загрязнения ВО при возможных авариях. В связи с недостижимостью радикальных решений проблемы защиты ВО опасность попадания нефти в ВО при авариях на МНП реально существует и ВО могут оказаться незащищёнными перед опасностью загрязнения. Для того чтобы решить задачи защиты ВО при авариях на МНП, нужно рассмотреть возможные варианты действий и их результаты:

- повышение надёжности МНП и снижение аварийности (этот вариант находится за пределами нашего рассмотрения);
- предотвращение попадания нефти в ВО на стадии её перемещения по поверхности земли на участке её миграции между местом аварии и ВО;
- обеспечение поступления минимально возможного для конкретной аварии количества нефти в ВО;
- извлечение максимально возможного количества разлившейся нефти из ВО;
- искусственное деградирование нефти (сжигание, потопление), находящейся на поверхности ВО;
- обеспечение минимального времени пребывания нефти в ВО перед её извлечением из воды.

Каждый из этих вариантов решения задач нуждается в дальнейшем рассмотрении и изучении. Однако уже сейчас, обобщив эти варианты, можно отметить, что защита ВО при авариях на МНП обеспечивает минимизацию экологического и, соответственно, экономического и социального ущерба от за-

грязнения ВО нефтью. Следовательно, целью решения проблемы обеспечения защиты ВО при авариях на МНП является минимизация ущерба. Средством достижения этой цели должна стать система защиты водных объектов (СЗВО) от загрязнения нефтью при авариях на МНП.

В настоящее время отсутствует целостная научная концепция защиты ВО при авариях на МНП, которая бы учитывала все аспекты этой многофакторной проблемы. В практической деятельности не выработан достаточный опыт предотвращения и ликвидации загрязнений ВО при авариях на МНП. Это делает актуальным проведение разносторонних исследований и разработок, направленных на решение этой крупной прикладной проблемы путём создания эффективной СЗВО при промышленных авариях на МНП.

Особую актуальность эта проблема имеет для Беларуси, так как из-за физического старения нефтепроводов вероятность аварий на них возрастает. Большая протяжённость трасс МНП, проходящих в водосборных бассейнах больших рек, которые, в свою очередь, входят в водосборные бассейны Балтийского и Чёрного морей, высокая насыщенность прилегающих территорий водными объектами и опасность трансграничного переноса усиливают экологические риски от загрязнения ВО нефтью.

Рассмотрим более детально состав и связи подсистем, входящих в модель структурной схемы системы (см. рис. 1). На характер, развитие и последствия аварий на МНП оказывают влияние различные факторы, которые связаны с техническими характеристиками нефтепроводов, видом транспортируемой жидкости, характером разрушения стенок трубопровода и состоянием природной среды. Для большинства промышленных объектов, которые расположены в границах промышленных площадок, геоландшафтные характеристики территории не входят в число основных сильнодействующих факторов, оказывающих влияние на последствия аварии. Исключением являются аварии, сопровождающиеся разливами нефти. При таких авариях основным поражающим фактором является загрязнение окружающей среды. Особенно опасно загрязнение водных объектов. В таких случаях развитие аварии, т.е. способ попадания нефти в ВО, решающим образом зависит от геоландшафтных характеристик местности [9].

Эта ситуация существенно усиливается при авариях на магистральных нефтепроводах, которые имеют большую протяжённость, и аварии могут происходить в различных геоландшафтных условиях.

Срок службы значительной части нефтепроводов, находящихся на территории Беларуси, превысил 30 лет, что значительно повышает риск промышленных аварий [10]. Аварии на МНП необходимо рассматривать в общем контексте современных представлений о промышленных авариях. Нужно отметить, что появление в 1982 г. «Директивы по Севезо» [11, 12] резко повысило внимание к проблемам промышленной безопасности и усилило разработку во всех промышленно развитых странах средств и методов защиты от промышленных аварий и планирование мероприятий на случай аварийных ситуаций. В настоящее время выявлены основные закономерности, рассмотрены и решены многие проблемы, вызванные промышленными авариями на различных видах опасных производственных объектов, предложены средства и методы их решения [12, 13]. Анализируя их, следует указать различия, которые имеют промышленные аварии на производственных объектах, расположенных на компактных территориях (промышленных площадках), и на протяжённых (линейных) производственных объектах, какими, в частности, являются МНП. Специфика, которая присуща МНП как опасным производственным объектам, создаёт характерные отличительные признаки аварий на МНП:

1. Возможность сбора опасного вещества после разлива. Физические свойства нефти, как жидкости, обуславливают её достаточно слабое перемешивание и растворение в воде. Обладая при этом положительной плавучестью, нефть собирается на поверхности воды в виде тонкого слоя или плёнки. Эти свойства нефти и являются физической основой, позволяющей осуществлять её извлечение из воды после залпового сброса, в отличие от большинства других опасных веществ, которые после аварийной эмиссии разрушаются (преобразуются) или рассеиваются (растворяются) в окружающей среде, не давая возможности их извлечения.

Извлечение разлившейся нефти из воды уменьшает экологический ущерб от залпового сброса. Степень экологического ущерба, а, следовательно, и величина убытков прямо пропорциональны количеству нефти, попавшей в ВО [14]. При извлечении в ходе аварийных работ из ВО части разлившейся нефти уменьшается экологический ущерб и соответственно величина убытков. Анализ нормативов, по которым осуществляется определение величины снижения убытков, показал [15], что основными факторами, определяющими величину снижения убытков, являются количество собранной нефти и время, за которое это количество было извлечено из ВО.

2. Определяющее влияние геоландшафтных факторов. При аварии на МНП, как правило, действует один основной поражающий фактор – разлившаяся нефть. Действие этого фактора главным образом направлено на объекты природного комплекса. Наиболее тяжёлые последствия наступают при загрязнении разлившейся нефтью ВО, особенно водотоков.

В связи с тем, что основными объектами поражения при авариях на МНП являются компоненты природного комплекса, то из большого числа факторов разной природы, оказывающих влияние на характер, развитие и последствия аварий, влияние геоландшафтных факторов является приоритетным, что составляет характерную особенность аварий на МНП.

3. *Разнообразие геоландшафтных условий аварий.* МНП являются линейными протяжёнными объектами. На различных участках трассы аварии могут происходить в различных геогидроландшафтных условиях. В связи с большим влиянием этих условий характер, развитие и последствия аварий на одном нефтепроводе будут различными для разных участков трассы. Вариативный ряд сценариев возможных аварий на нефтепроводе по условиям их развития и последствиям может быть, в отличие от площадочных производственных объектов, чрезвычайно разнообразным, что соответственно требует готовности к использованию более широкого спектра методов и средств для защиты ВО.

Подробный, с проведением геодезических и рекогносцировочных изысканий и аэронаблюдений геогидроландшафтный анализ белорусских участков трёх трасс нефтепроводов ППГН «Дружба» (Новополоцк): Унеча – Полоцк; Сургут – Полоцк и Полоцк – Вентспилс и картографический анализ трёх трасс нефтепроводов ППГН «Дружба» (Гомель): Унеча – Мозырь; Мозырь – Брест и Мозырь – Броды показали большое разнообразие геогидроландшафтных характеристик различных территорий, по которым проходят трассы каждого трубопровода.

4. *Опасность попадания нефти в главную реку при аварии на любом отрезке трассы МНП.* Как показывает опыт, аварии, происходящие на различных участках этих нефтепроводов, создают серьёзную опасность загрязнения главных рек, в бассейнах которых они расположены. Существование опасности связано с тем, что попадание нефти в большие реки может происходить не только тогда, когда трубопровод проходит в непосредственной близости от русла главной реки или пересекает его, но и в случаях, когда трасса трубопровода удалена от него. В этих случаях нефть может попасть в главные реки по водотокам (малым рекам, ручьям, пересохшим руслам), которые пересекают или расположены рядом с трассой трубопровода и впадают в главную реку. Перемещение разлившейся нефти в направлении ВО может происходить и по поверхности земли, имеющей склон в сторону ВО. Таким образом, вне зависимости от взаимного расположения русла главной реки и трассы МНП, проложенного в пределах её бассейна, авария на линейной части МНП может создать угрозу загрязнения реки нефтью. Ситуация, в которой трасса трубопровода пролегает в водосборном бассейне главной реки, присуща всем нефтепроводам Беларуси.

5. *Нединамичное развитие аварии.* В отличие от промышленных аварий, связанных с взрывами, выбросами и сбросами токсичных газов и жидкостей, последствия аварий на МНП имеют не интенсивный, короткотечущий характер, а нарастают постепенно в ходе процесса растекания нефти по поверхности земли или водных объектов. Нединамичный характер развития аварий на МНП и пролонгированное наступление экологических последствий *создают временной интервал для осуществления оперативных организационно-технических мероприятий по локализации распространения нефти, её удержанию и сбору (извлечению из ВО).* Эффективно проведенные в послеварийный период мероприятия по сбору разлившейся нефти могут существенно уменьшить негативные экологические последствия.

Анализ выявленных основных отличительных признаков аварий на МНП, существование которых связано со специфическими физическими свойствами разливаемой нефти и большой протяжённостью нефтепроводов, позволяет отметить, что *геоландшафтные параметры местности оказывают решающее влияние на характер, развитие и последствия аварий на МНП* [16]. Учёт геоландшафтных параметров должен быть положен в основу создания эффективной системы защиты ВО при авариях на МНП.

Анализ основных отличительных признаков аварий на МНП позволяет устанавливать *основной принцип* построения СЗВО, состоящий в том, что *трасса нефтепровода сегментируется на участки по водосборным территориям ВО и каждый участок представляется в качестве отдельного опасного производственного объекта.*

Основные трудности, которые возникают при предотвращении и ликвидации последствий аварий на МНП, обусловлены большой протяжённостью МНП. Они состоят в том, что характер, развитие и последствия аварий на разных участках трассы могут быть весьма многообразными. В условиях значительной отдалённости мест аварий от мест постоянной дислокации аварийных подразделений, отсутствия на местах аварий необходимой инфраструктуры для обеспечения их действия, сложности получения оперативной информации о характере и развитии аварии для решения этой проблемы должно быть обеспечено прогнозирование возможных аварий и их развития для каждой точки трассы. На основе таких прогнозов должна строиться система мероприятий по предотвращению и ликвидации загрязнения нефтью ВО при возможных авариях, включающая *разработку принципов создания СЗВО, методов прогнозирования характера, развития и последствий аварий и планирования работ по локализации и ликвидации загрязнения ВО; создание и апробацию эффективных технологических процессов и технических средств; обеспечение правовой, нормативно-методической и организационно-управленческой поддержки деятельности по защите ВО.*

Таким образом, минимизация ущерба от загрязнения ВО нефтью при авариях на МНП достигается путём разработки научно обоснованной системы защиты водных объектов и создания условий для применения эффективных технологий и оборудования прогнозирования и профилактики загрязнения ВО, локализации и сбора нефти с поверхности воды.

Анализ сценариев развития аварий на магистральных нефтепроводах

Аварии на линейной части МНП – очень сложные явления, которые можно представить в виде совокупности разнообразных физических процессов. Эти процессы протекают под влиянием множества факторов различной природы, находящихся в сложном взаимодействии, которое носит как детерминированный, так и стохастический характер. И сама авария, и любое событие в ходе её развития могут рассматриваться как случайные в смысле времени и места их проявления и как неслучайные в смысле их причинной обусловленности. Этот методологический дуализм в оценке характера, развития и последствий аварий является объективной основой неопределённости, в условиях которой должно разрабатываться научное обоснование методического обеспечения подготовки к защите ВО и практическое проведение аварийных работ. В настоящее время практическая деятельность по обеспечению защиты ВО при авариях на нефтепроводах в значительной мере базируется на качественных оценках ситуации и строится на интуитивной основе.

В связи с этим важно рассмотреть подходы, которые позволили бы формализовать описание этих процессов, введя или их количественные оценки (где это возможно), или классифицируя и ранжируя их. На этой основе должны быть выработаны методы и приёмы деятельности на всех этапах обеспечения защиты ВО (прогноз, планирование, организация проведения аварийных работ) и доведены до стадии отработанных процедур, выполняемых по алгоритмам.

В рамках подсистемы сценариев развития аварии (см. рис. 1) рассмотрим аварию на МНП как событие, развивающееся во времени и пространстве, следствием которого является загрязнение нефти ВО. На рис. 2 приведена схема развития аварии на МНП, на которой указаны все возможные стадии движения нефти от места истечения через отверстие в аварийной трубе до места её извлечения из ВО. Для описания этого события необходимо определить его характер, а также сценарий развития и последствия аварии.

Под характером аварии будем понимать укрупнённые параметры аварии, которые описываются главным образом количеством разлившейся нефти и общей характеристикой местности, в которой развивается авария (какие компоненты природы будут, в основном, подвержены загрязнению).

Развитие аварии – процесс миграции нефти по компонентам геогидроландшафта, который приводит к их загрязнению. При развитии аварии одновременно с миграцией нефти происходит процесс её деградации (изменения физических свойств).

Последствия аварии – экологические, социальные и экономические последствия, вызванные попаданием разлившейся нефти в компоненты окружающей среды, в частности, в ВО.

Характер, развитие и последствия создают облик аварии, который в самом общем виде характеризует условия, в которых произошла авария, и её масштабы.

Представим аварию как совокупность физических процессов, происходящих при взаимодействии разлившейся нефти с компонентами геогидроландшафта и их элементами. Для характеристики каждого из таких процессов нужно установить определяющие параметры, которые бы позволили давать этим процессам количественные характеристики.

Характер и развитие аварии формируются в ходе сопровождающих её физических процессов, а последствия аварий являются следствием этих процессов:

1. *Истечение нефти из трубопровода.* В процессе истечения нефти из нефтепровода формируются такие параметры, как количество нефти, вытекшее из трубопровода – $V_{сбр.}$, и время, в течение которого происходило истечение нефти из трубопровода – $t_{сбр.}$

Величина $V_{сбр.}$ зависит от времени, прошедшего от момента разгерметизации нефтепровода, до момента останова насосов – $t_{ост. н.}$ и закрытия линейных задвижек – $t_{з. задв.}$, площади отверстия, через который происходит истечение нефти – $S_{ав. отв.}$, и его формы, а также величины давления в трубопроводе – $P_{тр.}$, которое будет меняться в период процесса истечения нефти. В свою очередь, время $t_{ост. н.}$ и $t_{з. задв.}$ зависит от такого технологического параметра, как чувствительность системы обнаружения утечек.

На величину $V_{сбр.}$, кроме этого, влияют ещё объём нефти – $V_{труб.}$, находящийся в нефтепроводе между двумя задвижками, отсекающими аварийный участок, и высотное положение участков нефтепровода, примыкающих к месту разгерметизации нефтепровода – Δz_r .

Собственно процесс истечения нефти из трубопровода описывается хорошо известными гидравлическими соотношениями, в которых должны быть корректно учтены при выборе значений коэффициентов расхода форма отверстия в трубе и вязкость нефти [17].

2. *Перемещение разлившейся нефти по поверхности земли.* При аварии на подземном участке нефтепровода разлившаяся нефть, мигрируя по поверхности земли, может достичь ВО. На этой стадии развития аварии происходят такие физические процессы:

- растекание по горизонтальной или течению слоя (плёнки) нефти по плоской наклонной шероховатой поверхности;
- фильтрация нефти в грунт;
- адгезия нефти на растительности;
- процесс деградации нефти и изменение её физических свойств.

В случае, если разлившаяся нефть после миграции по поверхности земли достигает ВО, то её количество, поступившее в ВО, определяется соотношением

$$V_{вод.} = V_{сбр.} - V_{земл.} - V_{испар.},$$

где $V_{земл.}$ – объём нефти, впитавшейся в грунт и оставшейся на поверхности земли, на растительности или на снегу; $V_{испар.}$ – объём нефти, испарившейся за время $t_{земл.}$; $t_{земл.}$ – время, за которое нефть, мигрируя по поверхности земли, достигает ВО.

Время $t_{земл.}$ зависит от впитывающей способности грунта; свойств нефти при данной температуре; характера грунта и флоры (условно: шероховатость грунта); характера рельефа (углы уклонов склонов, наличие замкнутых котловин, ложбин и пересохших русел).

Величины $V_{вод.}$ и $V_{земл.}$ являются важными параметрами, определяющими характер аварии и влияющими на тяжесть её последствий. Величина $t_{земл.}$ определяет время, которым располагают аварийные бригады с момента разгерметизации нефтепровода до момента поступления нефти в ВО для проведения мероприятий по перехвату потока нефти на пути к ВО.

На стадии течения нефти по поверхности земли происходит загрязнение нефтью земель, что является одним из серьёзных экологических последствий аварий на МНП.

3. *Движение нефти в воде при аварии на подводном переходе (пересечение трассы нефтепровода с руслом реки).* Аварии МНП на подводных переходах влекут за собой самые тяжёлые экологические последствия. Они развиваются стремительно, нефть начинает поступать непосредственно в водоток с момента разгерметизации нефтепровода. Поэтому при авариях на подводных переходах задача предотвращения попадания нефти в ВО не стоит и рассматривается только задача локализации и сбора нефти, находящейся на свободной поверхности водотока. При авариях на подводных переходах происходят такие физические процессы:

- всплытие нефти и формирование слоя нефти на поверхности водотока;
- движение слоя нефти на поверхности водотока;
- процессы деградации нефти и изменение её физических свойств;
- взаимодействие слоя нефти с берегами водотока и береговой растительностью.

В процессах всплытия нефти и движения слоя нефти по поверхности формируются такие важные параметры, как расстояние вдоль течения реки от подводного перехода до места всплытия струи нефти, вытекающей из отверстия в трубе на свободную поверхность водотока – L , скорость перемещения слоя нефти на поверхности водотока – v_n , форма нефтяного пятна в плане и толщина слоя нефти на свободной поверхности – δ_n . В процессе деградации нефти при её нахождении в воде за счёт испарения, эмульгирования, адгезии, растворения и потопления уменьшается её количество, которое может быть извлечено из воды, и изменяются физические свойства (вязкость, плотность).

4. *Движение по поверхности водотоков и водоёмов нефти, поступившей в водные объекты по притокам или с поверхности земли.* Процессы движения нефти по поверхности водотока в случаях, когда нефть в него поступает по притокам или с берега, протекают, в основном, так же, как и при авариях на подводных переходах:

- движение слоя нефти на поверхности водотока;
- процессы деградации нефти и изменение её физических свойств;
- взаимодействие слоя нефти с берегами водотока и береговой растительностью.

5. *Движение нефти по водотокам, имеющим ледяной покров, и по снежному покрытию.* Аварии на МНП, которые происходят в зимних условиях, отличаются рядом особенностей. При авариях на подземных нефтепроводах эти особенности вызваны наличием снежного покрытия, а при авариях на подводных переходах и попадании нефти в водоток по притокам или с берега – наличием на водотоках ле-

дяного покрова. Низкие температуры значительно снижают текучесть нефти, особенно при её движении по поверхности земли. При авариях в зимних условиях происходят такие физические процессы:

- формирование слоя нефти под ледяным покровом;
- течение слоя нефти под ледяным покровом;
- взаимодействие нефти с колотым льдом и «шугой»;
- течение нефти по снежному покрытию на суше.

Наличие ледяного покрова приводит к уменьшению скорости движения нефтяного пятна и уменьшению количества нефти, которое может быть извлечено из воды из-за адгезии нефти со льдом. Физические процессы, происходящие при авариях в зимних условиях, достаточно сложны, и их влияние на облик аварий изучены ещё недостаточно.

Рассмотрение физических процессов, имеющих место при авариях на МНП, позволило выявить основные факторы, влияющие на их облик. Эти факторы имеют различную природу и могут быть разделены на несколько групп:

А. Технологические факторы, связанные с параметрами трубопровода и оборудования и свойствами разлившейся нефти. К технологическим факторам относится количество разлившейся нефти – $V_{сбр.}$

Другим технологическим фактором являются свойства разлившейся нефти (вязкость, летучесть, поверхностное натяжение и т. п.), которые зависят от вида перекачиваемого продукта, температуры и времени нахождения продукта в окружающей среде.

В. Факторы, связанные с видом ВО, взаимным расположением места аварии и ВО и характером местности. В эту группу факторов входят *гидрологические факторы*, зависящие от вида ВО. К водным объектам единого государственного водного фонда Республики Беларусь относятся водотоки, водоёмы и подземные воды (см. ГОСТ 17.1.1.02-77). Классификация ВО, регламентируемая этим стандартом, не учитывает ряда важных обстоятельств, связанных с особенностями загрязнения ВО нефтью, и должна быть дополнена.

Фактор взаимного расположения места аварии и ВО оказывает сильное влияние на развитие и последствия аварий на МНП. Укажем несколько типичных ситуаций.

При аварии на подводном переходе нефть непосредственно поступает в реку и загрязнение происходит стремительно, с распространением нефти по течению. Такие аварии вызывают наиболее тяжёлые экологические последствия и минимизировать их очень сложно [18, 19]. При близком расположении места аварии относительно русла главной реки разлившаяся нефть по притокам первого порядка [5] или по склону ледяного покрова попадает в главную реку.

При отдалённом расположении места аварии от русла главной реки разлившаяся нефть может мигрировать по рельефу, затем попадать в различные ВО (проточные озёра или болота, притоки третьего или второго порядка) и по ним – в главную реку. В этом случае на облик аварии, а также на условия, в которых нужно будет проводить мероприятия по защите ВО, большое влияние оказывают рельеф местности, а также характер флоры.

Геоландшафтный фактор может оказывать существенное влияние на развитие и последствия аварии. Роль этого фактора особенно сильно проявляется при авариях, которые произошли на отдалении от ВО. Здесь наибольшее влияние оказывает рельеф местности. От характеристики рельефа, т.е. наличия склонов, мелких ручьёв, канав, пересыхающих русел, ложбин и тому подобных элементов поверхности земли, по которым нефть движется в сторону понижения, зависит интенсивность её поступления в ВО.

Существенным с точки зрения использования технических средств и методов для локализации, удержания и сбора нефти является рельеф местности, по которому протекает ручей. Необходимо отдельно рассматривать ручьи, протекающие в оврагах, и ручьи, протекающие в равнинной местности. То же самое можно сказать о пересыхающих руслах, которые могут проходить, например, по оврагу или по равнине.

К геоландшафтным факторам относится также характер почвы и грунта на траектории миграции нефти по поверхности земли. Впитывающая способность земли влияет на количество нефти, которое достигнет ВО.

Действие геоландшафтного фактора «характер флоры» влияет как на трудоёмкость и эффективность мероприятий, проводимых по защите ВО (кустарник и деревья), так и на количество нефти, удерживаемой на растениях (в основном, травяной покров).

Весьма актуальной является проблема защиты болот (болотных ландшафтов) от загрязнения нефтью при авариях на МНП. Несмотря на то, что болота не являются водными объектами, развитие аварий на болотных ландшафтах имеет некоторые общие черты с авариями, угрожающими загрязнением ВО, и поэтому для организации системы защиты болот могут быть использованы подходы, разработанные для защиты ВО.

С. Факторы, связанные с состоянием природной среды. К этой группе относятся факторы метеорологической природы. Это температура воздуха и воды, сила и направление ветра, наличие снежного покрытия на земле и ледяного покрова на ВО. К метеорологическим факторам можно отнести также сезонные половодья. Все эти факторы, действие которых носит случайный характер, могут оказывать заметное влияние на развитие и последствия аварии. Они в некоторых случаях определяют выбор технических средств и методов для локализации и сбора нефти, а также условия работы персонала аварийных подразделений.

Выявленные факторы в разной мере влияют на характер, развитие и последствия аварии. В то же время можно указать ряд параметров, характеризующих физические процессы, протекающие при авариях, и геоландшафтных факторов, которые оказывают особенно сильное влияние на облик аварии и должны быть в первую очередь учтены при создании СЗВО.

Основным интегральным индикатором экологических последствий загрязнения ВО нефтью является величина убытков, причинённых государству в результате залпового сброса нефти. Экологический ущерб от залпового загрязнения нефтью ВО, выраженный в виде убытков государства [14], может быть снижен путём уменьшения количества нефти, попавшей в ВО – $V_{вод}$, увеличения количества собранной нефти (извлечения из ВО части разлившейся нефти) – $V_{собр}$ и уменьшения интервала времени, в течение которого произведён сбор разлившейся нефти – $t_{собр}$. Следовательно, при анализе факторов, в той или иной мере определяющих облик аварии, необходимо оценивать их с позиции учёта влияния на величины $V_{вод}$, $V_{собр}$ и $t_{собр}$ и возможности управления ими в рамках системы защиты ВО с целью достижения наиболее благоприятных с точки зрения уменьшения экологического ущерба (убытков государства) значений. Следует заметить, что величины $V_{вод}$, $V_{собр}$ и $t_{собр}$ могут быть использованы в роли критериев эффективности СЗВО (основной критерий – убытки от ущерба).

Учёт влияния этих факторов на величины $V_{вод}$, $V_{собр}$ и $t_{собр}$ и разработка методов управления ими составляет основу научного обоснования деятельности по защите ВО при авариях на МНП.

Система защиты водных объектов при авариях на магистральных нефтепроводах

Вся совокупность многогранных и комплексных действий по защите ВО при авариях на МНП должна быть интегрирована системой защиты ВО. В рамках СЗВО должны выполняться следующие функции:

1. Прогнозирование характера, развития и последствий возможных аварий по всей трассе МНП.
2. Планирование организационно-технических мероприятий по предотвращению и ликвидации загрязнения ВО при авариях на МНП.
3. Оперативный мониторинг герметичности нефтепровода и оповещение о разгерметизации трубопровода.
4. Обеспечение оперативного проведения аварийно-восстановительных работ по предотвращению и ликвидации загрязнения нефтью ВО.
5. Правовое и нормативно-методическое обеспечение деятельности ПТТН по защите ВО.
6. Методическое обеспечение эколого-экономического анализа деятельности ПТТН по защите ВО.

В соответствии с основным принципом, положенным в основу построения СЗВО, осуществляется секционирование трассы нефтепровода по всей её длине. Методология секционирования состоит в следующем:

- идентифицируются ВО, которые расположены на территории, прилегающей к трассе МНП, и могут быть подвергнуты воздействию нефти, разлившейся при авариях;
- определяются линии границ водосборных бассейнов каждого из идентифицированных ВО;
- определяются точки пересечения трассы МНП с линиями границ водосборных бассейнов ВО – «водораздельные» точки.

«Водораздельные» точки являются границами автономных участков трассы, на которые делится нефтепровод. Так как поверхности ВО обладают минимальными высотами отметок на данном участке, то нефть в результате её течения по элементам геогидроландшафта будет поступать в ВО. Таким образом, каждый участок представляет собой локальный геотехнический комплекс, включающий в себя опасный производственный объект с известными технологическими характеристиками и прогнозируемыми параметрами залповой эмиссии и территорию, ограниченную водораздельной линией, характеризующуюся конкретными геогидроландшафтными параметрами. Участки с точки зрения облика аварий на них и экологических последствий являются автономными. Вся трасса МНП может быть представлена в виде совокупности таких автономных участков.

Деление трассы МНП на автономные участки

Для деления трассы на автономные участки могут применяться различные процедуры [20, 21]. Деление трассы на автономные участки может осуществляться с использованием проектной и технической документации с последующим проведением полевой геодезической съёмки, путём проведения картографического анализа и с использованием геоинформационных технологий (ГИС-технологий). Для построения СЗВО принципиально не имеет значения, какой используется метод деления трассы на автономные участки.

Первые работы по обеспечению защиты ВО при авариях на МНП с использованием сегментирования трассы проводились в начале 80-х годов на нефте- и продуктопроводах, проложенных в техническом коридоре по трассе Полоцк – Вентспилс¹. Деление трассы, которая на этом отрезке проходит параллельно руслу Западной Двины, на автономные участки проводилось между г.г. Полоцком и Даугавпилсом. Разбиение трассы на участки проводилось с использованием проектной и технической документации на нефтепровод в три этапа. На первом этапе путём рассмотрения профиля трассы и ситуационного плана выявлялись поперечные водотоки (притоки) и водораздельные точки трассы. На втором этапе в ходе рекогносцировки осуществлялось подробное ознакомление с характером водотоков и характеристикой примыкающих рельефов. Для некоторых участков осмотр и обследование местности даёт исчерпывающую информацию. На третьем, заключительном этапе анализа трассы трубопровода проводилась полевая геодезическая съёмка прилегающей к трубопроводу территории, и собирались данные о гидрологическом режиме ВО.

При проведении дальнейших работ по обеспечению защиты ВО на трассах Унеча – Полоцк и Сургут – Полоцк геодезическая съёмка не проводилась, а осуществлялся картографический анализ территорий на топографических картах масштаба 1: 10000 с последующим уточнением обстановки путём рекогносцировки некоторых участков местности (в основном, болотных ландшафтов) и авиавизуальных наблюдений². Картографический метод анализа трассы для деления её на автономные участки является более производительным.

Новые возможности для проведения анализа трассы нефтепровода и прогнозирования развития аварии возникли с появлением ГИС-технологии [22, 23], которые позволяют автоматизировать значительную часть работы по прогнозированию последствий аварийных разливов нефти и делению трассы на автономные участки. Применение ГИС-технологий создаёт принципиально новые возможности автоматического управления магистральными нефтепроводами, в том числе и в области защиты окружающей среды. Однако создание геоинформационных систем объектов трубопроводного транспорта на ПТТН в силу их широкомасштабности, необходимости сбора и систематизации большого объёма картографической и атрибутивной информации, создания геоинформационных и математических моделей объектов, необходимости использования космической информации, требует привлечения значительных финансовых и интеллектуальных ресурсов. На ПТТН Беларуси процесс освоения ГИС-технологий только начинается.

Деление трассы на автономные участки и представление их в виде локальных геотехнических систем создаёт методологические основы для разработки всех элементов СЗВО. Важнейшую роль в СЗВО играет прогнозирование характера, развития и последствий возможных аварий в любой точке трассы. На основе прогноза должны разрабатываться планы деятельности ПТТН по обеспечению защиты ВО при авариях на нефтепроводах.

Прогноз для каждого автономного участка должен включать определение характера возможных аварий, сценарии развития и их последствия. Важнейшей функцией прогностического элемента СЗВО является оценка экологических рисков для каждого участка и ранжирование их по этому критерию.

¹Разработка и исследование технических средств, предназначенных для сбора нефти с поверхности водоёмов при аварийных разливах: Отчёт о НИР (заключ.) Новополоцкий политех. ин-т, Науч. рук. В.К. Липский: ГР 0182.4036579. – Новополоцк, 1983. – 76 с.

²Разработка, исследование и научное обоснование технологических и организационно-экономических аспектов применения оборудования для защиты водных объектов от нефтяных загрязнений: Отчёт о НИР/ Полоцкий гос. ун-т, Науч. рук. В.К. Липский: ГР 0291. – Новополоцк, 1993. – С. 53; План локализации и ликвидации аварийных ситуаций магистрального трубопровода Унеча – Полоцк (Белорусский участок): Отчёт о НИР/ Полоцкий гос. ун-т, Науч. рук. В.К. Липский: ГР 0182.4036578. – Новополоцк, 1983. – 76 с.

Каждый автономный участок МНП можно представить как своеобразный опасный производственный объект, возможная авария на котором будет проходить в присущих ему геоландшафтных условиях. Для такого объекта необходимо осуществлять прогноз характера и развития возможных аварий (вести разработку сценариев аварий) и в плановом порядке разрабатывать в соответствии со сценариями мероприятия по защите ВО.

Для прогнозирования характера, развития и последствий аварий, планирования и проведения мероприятий по защите ВО автономные участки трассы необходимо систематизировать и ранжировать. Признаков, по которым должны проводиться систематизация и ранжирование, может быть несколько. Наиболее важным из них с точки зрения обеспечения защиты ВО является систематизация участков трассы, связанная с возможностью типизации и унификации технологических процессов и технических средств для ликвидации загрязнения ВО. В качестве основного классификационного признака использован характер ВО, которому угрожают аварии на рассматриваемом автономном участке МНП.

Для идентификации ВО, расположенных в районе прохождения трассы, осуществляется сбор данных о них, по которым составляется предметно-ориентированный водный кадастр (ПОВК) [24]. Целью создания ПОВК являются выявление водных объектов, потенциально подверженных негативному воздействию при авариях, и разработка мероприятий по их защите с целью минимизации экологических последствий.

Основываясь на стандартной классификации для водных объектов (см. ГОСТ 17.1.1.02-77), включаемых в ПОВК, разработана дополнительная классификация. Она наряду с общепринятыми учитывает такие признаки, как условия попадания в нефти в ВО, характер распространения нефти по ВО и условия проведения работ на них по удержанию и сбору нефти. При этом наряду с крупными реками особое внимание уделяется их притокам, которые имеют собственные водосборные бассейны; ручьям, а также пересыхающим руслам и лощинам, по которым возможно перемещение разлившейся нефти к ВО.

Существенным с точки зрения использования технических средств является рельеф местности, по которому протекают ручьи. Необходимо отдельно рассматривать ручьи, протекающие в оврагах, и ручьи, протекающие в равнинной местности. То же самое можно сказать о пересыхающих руслах, которые могут проходить или по дну оврага, или по равнине.

Важно учитывать такой признак, как трансграничный характер водотока, т. е. выделить реки и ручьи, русла которых пересекают государственную границу и далее проходят по территории соседних государств.

Выводы

Проведенный системный анализ выявил структуру проблемы защиты ВО при авариях на МНП и установил её основные элементы и связи. Это открывает возможность для последовательного рассмотрения и решения научных и практических задач, обеспечивающих эффективное функционирование системы защиты ВО.

Предложена методология проведения исследования проблем, связанных с загрязнением объектов природной среды нефтью при авариях на нефтепроводах, в которой развитие аварии с позиций системного подхода рассматривается как совокупность физических процессов при взаимодействии разлившейся нефти с компонентами природной среды.

Показаны основные физические процессы, сопровождающие развитие аварии, и основные факторы, влияющие на характер, развитие и последствия аварии.

Отмечено решающее влияние геоландшафтных параметров местности на характер, развитие и последствия аварии.

Рекомендованы принцип построения системы защиты водных объектов при авариях на МНП, состоящий в том, что трасса нефтепровода сегментируется на участки по водосборным территориям ВО, методы сегментирования трассы МНП на автономные участки и приемы их систематизации путём ведения предметно-ориентированного водного кадастра с целью прогнозирования развития аварий на автономных участках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Концепция национальной безопасности Республики Беларусь. Указ Президента Республики Беларусь от 17.07.2001 № 390.
2. Концепция национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь // Национальная комиссия по устойчивому развитию Республики Беларусь. – Минск: ООО «Белэкс», 1997. – 48 с.
3. Власак П., Липский В.К. Экологические аспекты трубопроводного транспорта. // Охрана окружающей среды. – 1982. – Вып. 1. – С. 59 – 62.

4. Мазур И.И., Иванцов О.М., Молдованов О.И. Конструктивная надёжность и экологическая безопасность трубопроводов. – М.: Недра, 1990. – 264 с.
5. Чеботарёв А.И. Общая гидрология (воды суши). – Л.: Гидрометеониздат, 1975. – 544 с.
6. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. – М.: Высш. шк., 1989. – 367 с.
7. Спициадель В.Н. Основы системного анализа. – СПб.: Изд. дом «Бизнес-пресса», 2000. – 326 с.
8. Пэнгл Р. Методы системного анализа окружающей среды. – М.: Мир, 1979. – 213 с.
9. Методические рекомендации по разработке отраслевых регламентов схем защиты и систем организационно-технических мероприятий на водных объектах и болотных ландшафтах при залповых сбросах нефти и нефтепродуктов на территории водосборных бассейнов. Утв. М-вом природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь 19 ноября 1999 г. Приказ № 331.
10. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Безопасность трубопроводного транспорта. – М.: МГФ «Знание», 2002. – 752с.
11. Council Directive of 27 June 1982 on the Major-Accident Hazards of Certain Activities (82/501/ГТС). // Official Journal of the European Communities (OJ), N L 23D, 5.08.82. – P. 1.
12. Маршалл В. Основные опасности химических производств. – М.: Мир, 1989. – 672 с.
13. Lees Frank P. Loss prevention in the process industries: hazard identification, assessment and control. – Reed Educational and Professional Publishing Ltd. – Vol. 1, 2, 3. – 1996.
14. Методика подсчёта убытков, причинённых государству нарушением водного законодательства. Утв. М-вом природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь 6 января 1995 г.
15. Учёт затрат и оценка эффективности мероприятий по минимизации экологических последствий аварий на нефтепроводах / Н.Л. Белорусова, В.К. Липский., В.Н. Журавлёв, А.М. Бордовский // Безопасность и надёжность трубопроводного транспорта: Сб. науч. тр. Вып. 1. / Под ред. В.К. Липского. – Новополоцк: ПГУ, 2000. – С. 127 – 132.
16. Липский В.К. Генезис, структура и методологические аспекты проблемы защиты водных объектов при авариях на нефтепроводах. // Безопасность и надёжность трубопроводного транспорта: Сб. науч. тр. Вып. 2. / Под ред. В.К. Липского. – Новополоцк: ПГУ, 2002. – С. 136 – 146.
17. Методика определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах. Утв. Минтопэнерго РФ 1 ноября 1995 г.
18. Черняев В.Д., Забела К.А. Ликвидация аварий на подводных переходах. //Трубопроводный транспорт нефти. – 1995. – № 3, 4, 6, 7.
19. Забела К.А., Красков В.А., Москвич В.М., Сощенко А.Е. Безопасность пересечений трубопроводами водных преград. / Под. общ. ред. К.А. Забелы. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001. – 195 с.
20. Липский В.К. Троицкий И.Н., Дмитриевский П.А. Планирование комплексных мероприятий по ликвидации загрязнений водных объектов при авариях трубопроводов // Охрана окружающей среды и рациональное использование ресурсов: Тез. докл. науч.-техн. конф. – Новополоцк: НПИ, 1989. – С. 70.
21. Липский В.К. Основные принципы организации защиты крупной реки от нефтяных загрязнений при аварии на нефтепроводе, пролегающем в её бассейне. // Тез. докл. респ. науч.-техн. конф. – Минск: 1993. – С. 84 – 85.
22. Кутуков С.Е. Информационно-аналитические системы магистральных трубопроводов. – М.: СИП РИА, 2002. – 324 с.
23. Набиев Р.Р. Перспективы применения геоинформационных систем в трубопроводном транспорте. – Уфа: Лето, 2000. – 49 с.
24. Кадастр использования водных ресурсов (методы и практика ведения) / Под общ. ред. А.Н. Колобаева. – Минск: Белфорт, 1997. – 209 с.