PolotskSU

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 622.69

ЭТАЛОННЫЙ МЕТОД КВАНТИФИКАЦИИ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ НА ПОСЛЕДСТВИЯ АВАРИИ НА МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДАХ

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

Представлен эталонный метод квантификации факторов влияния. Для конкретной аварии в качестве обобщённой количественной оценки экологических последствий могут быть использованы стоимостные показатели. Оценка экологических последствий в стоимостных показателях имеет свои достоинства. В качестве примера использованы стоимостные показатели как модели, отображающие взаимодействие нефтепровода с водными объектами при авариях на магистральных нефте- и нефтепродуктопроводах, – алгоритм Методики подсчёта убытков, причинённых государству нарушением водного законодательства.

Использование Методики в качестве идеальной модели дало возможность ввести эталон для «измерения» экологических последствий – осреднённый коэффициент максимально возможного предотвращения убытков. Применение эталонного метода позволило осуществить определение весовых коэффициентов блоков групп факторов не путём использования статистических данных или экспертных оценок, а расчётным путём.

Введение. Магистральные *нефте- и нефтепродуктопроводы* (МНП) являются опасными производственными объектами [1]. Последствия аварий на них обнаруживаются в социальной, экономической и экологической сферах. Основные последствия *аварий на магистральных нефте- и нефтепродуктопроводах* (АМНП) проявляются в экологической сфере. Формы выражения *экологических последствий* (ЭП) очень многообразны, трудно поддаются изучению и ещё более трудно, в отличие от экономических и социальных последствий, описываются количественно в обобщённом виде, хотя для практического использования при планировании и проведении деятельности по минимизации ЭП при АМНП необходима именно количественная обобщённая форма их представления.

Разлившиеся при аварии на МНП *нефть или нефтепродукты* (нефть) могут загрязнять все компоненты природной среды: литосферу, гидросферу, атмосферу и биосферу, но наиболее тяжёлые ЭП связаны с загрязнением водных объектов (ВО) [2].

Нужно отметить, что обобщённые количественные показатели ЭП могут иметь разнообразное методическое и практическое применение. Экологические последствия могут определяться как для реальных, так и для возможных аварий. Оценка ЭП, представленная в количественном выражении, используется двояко. В одних случаях она может выражать оценку последствий аварии как конкретного (реального или возможного) события, связанного с определённой точкой трассы МНП, т.е. оценка ЭП аварии характеризует результаты реальной аварии или реализации сценария возможной аварии. В других случаях оценка ЭП может быть использована как характеристика степени экологической опасности трубопровода (в целом или на конкретном участке трассы), которую потенциально на данной территории создаёт МНП как производственный объект. В этом случае величина количественная обобщённая оценка ЭП является своеобразным количественным выражением экологической характеристики трубопровода, расположенного на данной территории. Эта же величина может трактоваться как оценка экологической уязвимости территории, на которой расположен конкретный трубопровод.

Оценка экологических последствий в стоимостных показателях. Для конкретной аварии (реальной или возможной) в качестве обобщённой количественной оценки экологических последствий могут быть использованы стоимостные показатели. Оценка ЭП в стоимостных показателях имеет ряд достоинств [2, 3].

Конкретным примером использования стоимостных показателей как модели, отображающей взаимодействие нефтепровода с водными объектами при АМНП [2], является алгоритм Методики подсчёта убытков, причинённых государству нарушением водного законодательства (далее – Методика) [4]

$$У = f\,(З\,(f_1(W))K_{кат}\alpha(f_2(V,W))K_{сн}\,(f_3(T))), \qquad (1)$$

где W – масса нефти, поступившая в ВО, т; V – масса нефти, извлечённая из ВО, т; T – время, за которое извлечена нефть, ч; $З = f\,(W)$ – величина убытков от загрязнения водного объекта, млн. руб.; $K_{сн}$ – коэф-

PolotskSU

фициент снижения величины убытка при принятии мер по ликвидации последствий загрязнений; $\alpha = \frac{V \cdot 100\ \%}{W}$ – процент собранной нефти; $K_{кат}$ – коэффициент, учитывающий категорию водного объекта, в который сбрасывается нефть.

В этой Методике *мерой ЭП, связанных с загрязнением ВО* при АМНП, является *величина убытка У*; мерой техногенного воздействия, которое аварийный МНП оказывает на ВО, – количество разлившейся нефти, попавшей в водный объект *W*; экологическая характеристика природного ландшафта определяется категорией ВО – $K_{кат}$, а эффективность мероприятий, проводимых для защиты ВО, – объёмом собранной нефти *V* и временем её сбора *T*.

В зависимости от поставленной цели модель (1) может быть использована различным образом:

1) выступая в роли идеальной схематизированной модели АМНП [3], зависимость (1) даёт возможность определить максимально возможный диапазон предотвращения ЭП от загрязнения ВО при АМНП, выраженных в убытках;

2) зависимость (1) позволяет получить опосредованную количественную оценку эффективности мероприятий по защите ВО, проведенных в ходе ликвидации конкретной аварии.

Будем отличать максимально возможный убыток $У_о$, который возникает в случае, если после аварийного разлива нефти мероприятия по её извлечению из ВО не проводятся, и фактический убыток $У_ф$, если такие мероприятия проводятся.

Зависимость (1) позволяет также рассчитать значение минимально возможного значения убытка $У_{min}$, который возникает при максимально эффективном проведении мероприятий по извлечению разлившейся нефти из ВО. Согласно (1) минимально возможный убыток $У_{min}$ соответствует гипотетическому случаю, когда за период, не превышающей 6 ч, из ВО извлекается вся разлившаяся нефть.

Следует уточнить, что 100 %-ный сбор разлившейся нефти принципиально невозможен, так как часть нефти неизбежно растворится в воде, осядет на дно или останется на береговой линии и водных растениях, а часть – испарится в атмосферу. Если оценить, какое количество нефти подвергнется этим процессам в течение первых шести часов $P_{дег}$, которую извлечь (собрать) уже невозможно, то максимальное количество нефти, подлежащее сбору, равно $\Delta P_н^{дег} = P_н - P_н^{дег}$, или, введя коэффициент деградации $\varepsilon = \frac{P_н^{дег}}{P_н}$, максимальное количество нефти, которое можно собрать (остаётся на поверхности воды), определится соотношением:

$$\Delta P_н^{дег} = P_н - \varepsilon P_н = (1-\varepsilon) P_н . \qquad (2)$$

Учёт коэффициента деградации ε уменьшает реальное количество нефти, которое остаётся на поверхности ВО, и тем самым при том же количестве собранной нефти формально повышает эффективность мероприятий по её извлечению, но при этом величина последствий (убыток) не уменьшается. Коэффициент ε целесообразно учитывать только при оценке эффективности СЗВО.

Величина $У_{min}$ является оценкой необратимости воздействия разлившейся нефти на ВО, а разность $У_о - У_{min} = \Delta У_{max}$ представляет собой максимально возможный диапазон значений убытков (т.е. ЭП) от загрязнения ВО при АМНП, который может быть достигнут для определённого количества нефти, попавшей в ВО.

Введём понятие *удельного убытка*, т.е. убытка, приходящегося на тонну нефти, попавшей в ВО $\left(\bar{У} = \frac{У_{ВО}}{P_н}\right)$, а также понятия *удельного максимально возможного убытка* $\left(\bar{У}_0 = \frac{У_0}{P_н}\right)$, *удельного минимально возможного убытка* $\left(\bar{У}_{\min} = \frac{У_{\min}}{P_н}\right)$ и *удельного фактического убытка* $\left(\bar{У}_ф = \frac{У^ф}{P_н}\right)$.

Результаты расчётов значений $\bar{У}_0$ и $\bar{У}_{\min}$ представлены на рисунке 1.

Отношение величины удельного максимально возможного убытка $\bar{У}_0$ к величине минимально возможного удельного убытка $\bar{У}_{\min}$ представляет собой *коэффициент максимально возможного предотвращения убытков* μ:

$$\mu_{\max} = \frac{\bar{У}_0}{\bar{У}_{\min}} = \frac{У_0}{У_{\min}} , \qquad (3)$$

PolotskSU

который соответствует кратности превышения максимально возможного над минимально возможным убытками и характеризует ширину диапазона, в котором в зависимости от эффективности проводимых мероприятий по сбору нефти могут изменяться значения удельных фактических убытков.

Как видно из результатов расчётов, проведенных для диапазона значений параметров: W = 1 ... 5000 *т*; V = 0 … 100 %, *от величины* W (т.е. α = 0 … 100 %); T = 6 … 240 ч и представленных на рисунке 2, коэффициент максимально возможного предотвращения убытков μ_{max} не зависит от W и является постоянной величиной, равной 5. Диапазон изменений параметров W, V и T выбран в соответствии с данными приложений к Методике.

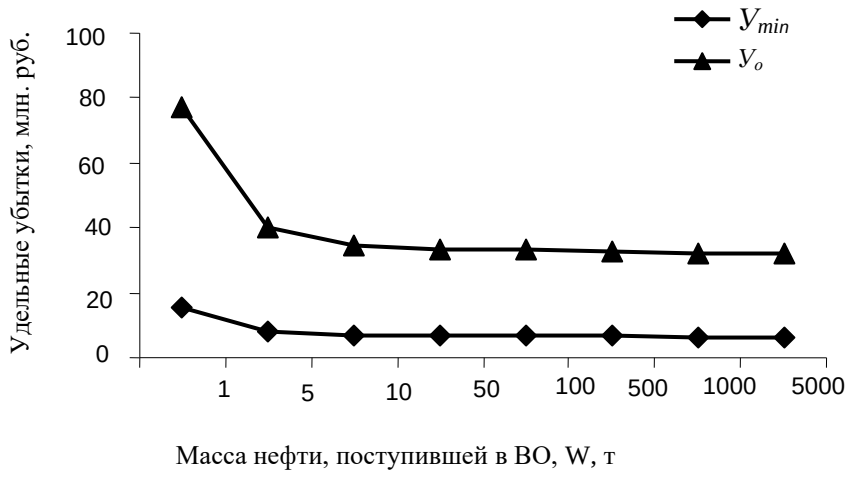

Рис. 1. Зависимость минимально и максимально возможных убытков, выраженных в удельной форме от массы разлитой нефти

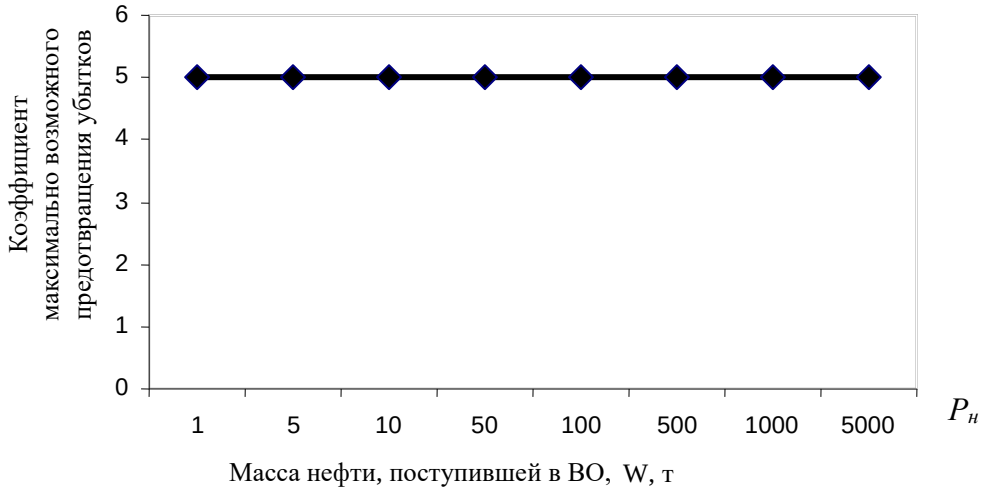

Рис. 2. Зависимость коэффициента максимально возможного предотвращения убытков относительно массы разлитой нефти

Таким образом, во всем диапазоне значений W проведение мероприятий, направленных на снижение количества нефти, поступившей в ВО, максимально может обеспечить пятикратное снижение удельных убытков (т.е. ЭП).

Наряду с соотношением (3) может использоваться соотношение $\lambda = \frac{\bar{Y}_0}{\bar{Y}_\phi} = \frac{Y_0}{Y_\phi}$, где λ является *коэффициентом снижения убытка*, который показывает, по результатам конкретной (реальной или воз-

PolotskSU

можной) аварии, насколько фактические убытки, сформировавшиеся по результатам мероприятий по сбору нефти, меньше максимально возможных убытков. Коэффициент λ характеризует эффективность системы защиты ВО загрязнения нефтью, и его можно рассматривать так же, как и *коэффициент эффективности системы защиты ВО.*

Оценивая методическое и практическое значение, а также возможности модели оценки ЭП в стоимостных показателях, нужно отметить два важных момента: во-первых, методика (1) в полной мере отображает суть нефти, поступившей в водный объект при аварии; увеличении количества собранной нефти и сокращении времени сбора, которые являются *основными параметрами*, определяющими масштаб ЭП аварий, связанных с загрязнением ВО; во-вторых, она стимулирует деятельность потенциальных загрязнителей (владельцев нефтепроводов) по подготовке и проведению максимально эффективных работ по минимизации экологических последствий, которые могут существенно уменьшить его убытки (предотвратить ущерб), связанные с загрязнением ВО.

В то же время эта модель имеет ряд ограничений и недостатков, основные из которых состоят в том, что: а) с её помощью можно оценивать ЭП только конкретной аварии (реальной или возможной) и нельзя получить оценку степени экологической опасности МНП или степени экологической уязвимости территории; б) эта модель указывает только на стратегические направления обеспечения защиты ВО и не указывает на конкретные факторы, целенаправленное воздействие на которые может обеспечивать минимизацию негативных ЭП при АМНП.

Многофакторная оценка экологических последствий. Для решения задачи по оценке *степени экологической опасности трубопровода* требуется создание более совершенной модели.

Для этой цели может быть использован комплексный показатель, в качестве которого принят показатель потенциальной экологической опасности (ПЭО) – η, для определения значений которого должна быть создана модель многофакторной оценки экологических последствий. Показатель потенциальной экологической опасности, являющийся количественной оценкой ЭП для территории, на которой могут происходить АМНП, может быть получен для случаев, когда система защиты ВО (СЗВО) введена в действие (управляемое развитие аварии – $\eta_{уп}$) и когда СЗВО не задействована (не управляемое развитие аварии – η_0). Показатель потенциальной экологической опасности η_0 позволяет оценить уровень экологической уязвимости территории на участке трассы или трубопровода в целом в условиях АМНП, а величина $\eta_{уп}$ – оценить потенциальную экологическую опасность, которую может создать МНП как опасный производственный объект с учётом возможностей созданной на данном МНП СЗВО.

Показатель потенциальной экологической опасности η рассматривается как интегральный квантифицированный результат взаимодействия аварийного нефтепровода с окружающей средой. Модель, целью которой является определение η, должна представлять собой функционал, описывающий взаимодействие системы аварийного нефтепровода, представленного моделью нефтепровода и системы территории, примыкающей к трассе, которая должна быть представлена моделью территории.

Модель каждой из этих систем может быть построена на основе учёта действия факторов влияния (ФВ), которые определяют те стороны функционирования этих систем, которые связаны с поставленными целями. Это факторы, связанные с характеристиками техногенного воздействия $T(\tau_1, \tau_2, ...\tau_i, \ldots, \tau_n)$ и признаками геоландшафта $G(\gamma_1, \gamma_2, ... \gamma_i, \ldots, \gamma_n)$.

Модель трубопровода в данном случае должна отображать возможность возникновения аварии на нефтепроводе и оценивать технологические характеристики аварий. Для построения модели можно использовать такое представление: в каждой точке трубопровода существует вероятность разгерметизации. Функция, характеризующая вероятность разгерметизации, будет представлять собой модель трубопровода, характеризующую способность трубопровода создавать аварии.

Масштаб воздействия определяется размером аварийного отверстия и количеством разлившейся нефти. В данной постановке наиболее обоснованным является использование в качестве модели нефтепровода известных моделей оценки значений технологического риска $R_{тех.}$ [8, 9]. Модель трубопровода, представленная в виде зависимости для расчёта значений технологического риска, достаточно полно характеризует нефтепровод как линейно распределённый источник аварийных эмиссий нефти. Технологический риск имеет «размерность» вероятности разлива определённого количества нефти.

В качестве конкретного примера такой модели можно указать алгоритм для расчёта значения риска разлива максимальных объёмов нефти («технологического риска») [8]

$$R_W^{max} = \lambda_n L_n W_{раз}, \qquad (4)$$

где R_W^{max} – показатель риска для оценки ожидаемого (максимального) объема потерь нефти при аварийных разливах нефти, м^3/год; λ_n – удельная частота (вероятность) аварий на участке МН, аварий/км год; L_n – протяженность участка нефтепровода, заключенного между двумя НПС, км; $W_{раз}$ – максимальный объем вытекшей нефти, м^3.

PolotskSU

Зависимость (4) является моделью аварийного трубопровода (системы техногенного воздействия).

На характер развития аварии наряду с технологическими факторами (объём разлившейся нефти, её свойства) значительное, а чаще всего определяющее влияние оказывают геоландшафтные факторы: состав и состояние компонентов геоландшафта (профиль местности, характер водных объектов, земель и т.п.) и их взаимное расположение на территории, примыкающей к трассе нефтепровода [1].

В данном случае в качестве геоландшафтных факторов выступают свойства, присущие элементам геоландшафта, которые могут влиять на степень экологической опасности МНП. Их можно формализовать в виде признаков геоландшафта, совокупность которых создаёт отображение (модель) территории.

Поскольку значение η формируется в результате взаимодействия подсистем, входящих в структурную модель системы проблемы [1], то модель для определения значения η должна строиться как функционал, учитывающий взаимодействия семейства моделей подсистем разных уровней, влияющих на формирование значения η.

Показатель экологической опасности как величины, в которой должны быть учтено воздействие всех ФВ, может быть представлен в формате экологического риска:

$$\eta = R_W^{max} Q, \tag{5}$$

где $R_W^{\max}$ – «технологический» риск; Q – обобщённая (многофакторная) оценка возможных экологических последствий аварий, учитывающая воздействие элементов (подсистем) структурно-логической схемы проблемы [1].

Влияние каждого из элементов структурно-логической схемы проблемы на ЭП при АМНП осуществляется путём учёта ФВ на размеры ЭП, которые связаны с функционированием каждого элемента (подсистемы).

Диапазон изменения и вклад каждого ФВ в обобщенную балльную оценку учитывается путем суммирования балльных оценок каждого ФВ с учётом «весовых коэффициентов»:

$$Q_n = \sum_{k=1}^{K} \sum_{i=1}^{I(k))} \sum_{j=1}^{J(k,i)} \delta_k \rho_{k,i} q_{k,i,j} Q_{k,i,j}, \tag{6}$$

где $Q_{i,j}$ – балльная оценка ФВ на возможные последствия от аварии; K – количество блоков групп ФВ; $I(k)$ – количество групп ФВ; $J(к,i)$ – количество ФВ в i-той группе; δ_k – весовой коэффициент блока ФВ; $\rho_{k,i}$ – весовой коэффициент группы ФВ; $q_{k,i,j}$ – весовой коэффициент ФВ; n – участок трассы МНП.

Формирование перечня факторов влияния. В известных работах [8 – 14] формирование групп и перечня ФВ производится экспертными методами. При определении групп ФВ влияния необходимо руководствоваться рядом различных соображений [10]. Выделяются ФВ, влияющие на возникновение аварий, и ФВ, влияющие на последствия аварий. Первые используется для определения значений «технологических» рисков, т.е. рисков, которые характеризуют опасность образования в определённой точке нефтепровода аварийного отверстия определённого размера [8, 11, 12]; второй – для определения значений «экологических», «экономических» и «социальных» рисков, т.е. оценки последствий аварий [13, 14]. На основе экспертного подхода перечень факторов, влияющих на возникновение аварий, разработан в НТЦ «Промышленная безопасность» [8, 11], а перечень факторов, влияющих на последствия АМНП, – в фирме «Диаскан» [13, 14].

В данной работе перечень ФВ, предназначенных для оценки ЭП при АМНП, обоснован на основе системного анализа проблемы защиты ВО при АМНП. Для обеспечения полноты учёта всех ФВ на ЭП необходимо исходить из глобального представления о том, что экологические последствия проявляются вследствие взаимодействия результатов разноплановой деятельности человека, в первую очередь созданных им опасных производственных объектов с окружающей их природной средой (естественными и техногенными ландшафтами). Разноплановая деятельность человека в этом случае включает не только обеспечение функционирования опасного производственного объекта, но и сопряжённые с этим инфраструктурные разделы деятельности, такие как создание нормативно-правовой базы, использование эффективных организационно-управленческих схем, обеспечение квалификации персонала и т.п.

Структурно-логическая схема проблемы загрязнения ВО при АМНП представлена в работе [1]. Для обеспечения полноты перечня ФВ на ЭП при АМНП нужно исходить из того, что вся совокупность этих факторов проявляется в процессе функционирования подсистем этой структурно-логической схемы.

Полный учёт и всесторонний анализ всех факторов, оказывающих влияние на величину ЭП возможных аварий необходим как для оценки последствий аварий, так и для разработки системы мероприя-

PolotskSU

тий по повышению безопасности нефтепроводов в послеаварийный период. Общий подход к определению последствий АМНП во всех сферах изложен в работе [10].

В данном исследовании рассматриваются только ФВ, влияющие на последствия аварий в экологической сфере, связанные с загрязнением водных объектов.

Количественное выражение влияния всех факторов представлено величиной *Q*, являющейся обобщённой балльной оценкой возможных последствий аварии. Величина *Q* зависит от ФВ и, для определения численного значения величины *Q*, эти ФВ необходимо таксономировать, т.е. систематизировать или классифицировать (разделить на группы) по соответствующим признакам, а затем квантифицировать.

В первую очередь необходимо сформировать группы ФВ (*этап* **А**), во вторую – выявить факторы, входящие в эти группы (*этап* **В**), и в третью – определить диапазоны изменения этих факторов и назначить им балльные оценки (*этап* **С**). Эта работа выполнялась в такой последовательности.

Этап **А.** Осуществляется распределение групп ФВ по такому признаку, как их способность влиять на значения трёх основных параметров (*W*, *V* и *T*), определяющих величину экологических последствий, представленных в стоимостных показателях (убытки от загрязнения ВО). В соответствии с основными параметрами, учитываемыми в модели (1), группы факторов, влияющих на величину возможных ЭП при АМНП, разбиты на три блока.

Блок *W*. В этом блоке объединены группы факторов, влияющих на объём нефти, поступившей в водный объект – *W*. От основного параметра – объёма нефти, поступившей в водный объект, в значительной мере зависит значение убытка при аварии (величина экологических последствий), но этот параметр не может быть изменён в ходе проведения послеаварийных работ, следовательно, нет ФВ, которые воздействуют на него после аварии.

В то же время, когда АМНП происходит на подземном участке нефтепровода, разлившаяся нефть из аварийного отверстия сначала поступает на землю, и только в результате её перемещения по поверхности земли, может попасть в водный объект. В таких случаях объём нефти, попавший в ВО (*W*), может быть меньше, чем объём нефти, который вылился из трубопровода ($W_{раз.}$), на то количество нефти, которое осталось на поверхности земли при перемещении нефти ($W_{уд}$) и было удержано от попадания в ВО существующими стационарными защитными сооружениями или в результате проведения послеаварийных работ, направленных на предотвращение попадания нефти в ВО. Количество нефти, попавшей в ВО, определяется разностью: $W = W_{раз} - W_{уд}$, т.е. величина *W* зависит не только от $W_{раз}$, но и от $W_{уд}$, которая формируется под воздействием ряда ФВ, связанных как с геоландшафтными характеристиками территории на месте аварии, так и с условиями и эффективностью проведения послеаварийных работ.

Блок *V* и ***блок*** *T*. В этих блоках объединены группы факторов, влияющих на основные параметры, соответственно – количество собранной нефти *V* и величина промежутка времени *T*, в течение которого была собрана нефть.

Этап **В**. В каждом из трёх блоков выделены группы ФВ, действия которых проявляется при функционировании подсистем разных уровней (элементов) структурно-логической схемы проблемы.

Этап **С. Метод определения весовых коэффициентов для блоков групп факторов влияния.** Для практического применения моделей, основанных на использовании ФВ, необходимо осуществить квантификацию этих факторов.

Известны два основных метода квантификации ФВ: путём присвоения им балльных оценок на основе статистических данных и путём экспертных оценок.

Так как АМНП происходят довольно редко, то это не позволяет осуществлять репрезентативное накопление необходимых статистических материалов, что для данной задачи делает статистический метод практически не реализуемым.

Назначение балльных оценок ФВ для таких событий, как АМНП, осуществляется путём экспертных оценок. Однако использование этого метода сопряжено не только с неизбежным субъективизмом при назначении балльных оценок, но и с принципиально невысокой обоснованностью оценок, так как экспертные оценки, в конечном счёте, основываются на предыдущем опыте экспертов, который из-за сравнительно низкой частоты аварий не может быть значительным. Это делает необходимым совершенствование существующих методов присвоения балльных оценок ФВ.

Новый метод назначения балльных оценок факторов влияния, используемых в модели (5), основан на применении модели (1), которая, выступая в роли идеальной схематизированной модели АМНП, позволяет рассчитывать значения ЭП, выраженные в убытках. Определённые по зависимости (1) для различных схем (сценариев) АМНП значения ЭП, выраженные в убытках, соответствуют различным значениям факторов влияния. В данном случае убытки, полученные с применением зависимости (1), высту-

PolotskSU

пают в роли эталонов, с помощью которых измеряются значения ЭП, а модель (1) выступает в роли *эталонной модели.* Таким образом, с помощью этого метода можно получать интервалы изменения ЭП в убытках, соответствующие диапазонам изменений значений факторов влияния. Зная соотношения между интервалами значений ЭП, соответствующих диапазонам значений факторов влияния, выраженных в эталонах (убытках) можно выражать интервалы изменений ЭП и в других величинах, в том числе и в баллах. Этот *эталонный метод назначения балльных оценок факторов влияния* в ряде случаев может быть использован самостоятельно или в комбинации с экспертным методом.

Использование *эталонного метода* может быть распространено также для получения весовых коэффициентов блоков групп ФВ и групп ФВ.

Рассмотрим в качестве примера вычисление значений весовых коэффициентов для групп факторов влияния. Так как величина убытка, согласно рассматриваемой модели (1), зависит от W, V и T то и $\mu_{max} = f(W, V, T)$.

Для определения значения μ_{max} были проведены расчёты также в диапазоне параметров, соответствующих данным приложений к Методике (W = 1…5000 т; α = 0…100 %; T = 6… 240ч).

Зависимость $\mu_{max} = f(W)$ представлена на рисунке 2; зависимость $\mu_{max} = f(V)$ – на рисунке 3; зависимость $\mu_{max} = f(T)$ – на рисунке 4.

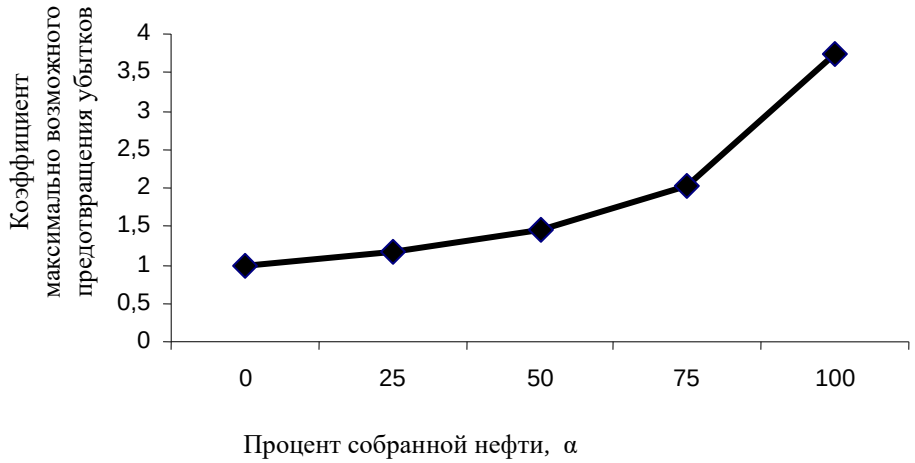

Рис. 3. Зависимость коэффициента максимально возможного предотвращения убытков относительно массы собранной нефти

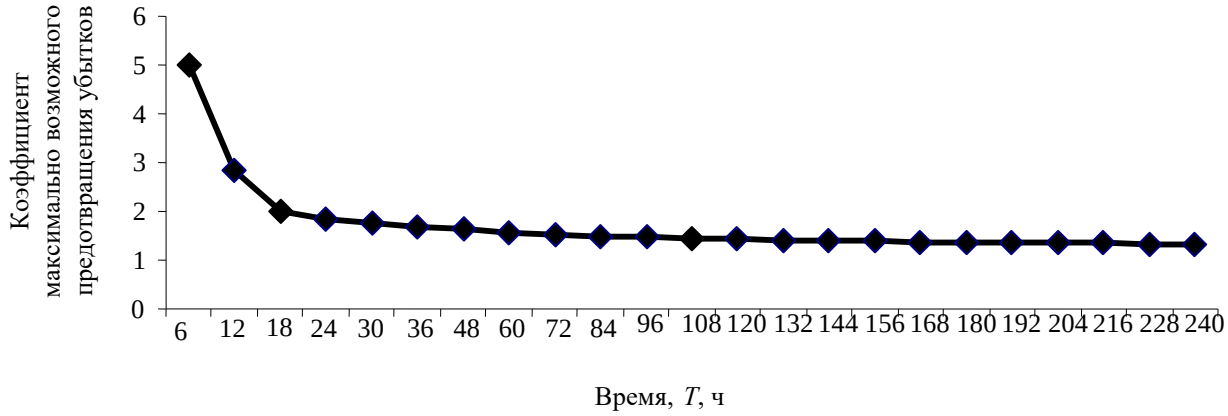

Рис. 4. Зависимость коэффициента максимально возможного предотвращения убытков

PolotskSU

относительно времени сбора нефти

Зависимости, представленные на рисунках 2…4, позволяют оценить влияние основных факторов *W*, *V* и *T* на величину ЭП при загрязнении ВО нефтью.

Как видно на представленных графиках, при изменении *W* величина μ_{max} остаётся постоянной, а при изменении *V* и *T* величина μ_{max} изменяется в определённых пределах.

Диапазон, в котором меняются значения коэффициентов максимально возможного предотвращения убытков μ_{max}, является *признаком*, по которому можно оценить степень влияния основных параметров *W*, *V* и *T* на величину ЭП. Используя значение убытка как *эталона* для измерения обобщённой величины ЭП, можно по соотношению диапазонов максимально возможного предотвращения убытков μ_{max} судить о степени влияния каждого из основных параметров на размеры ЭП, и в соответствии с этим влиянием установить соотношения весовых коэффициентов для блоков групп факторов *W*, *V* и *T*.

Для оценки диапазона значений коэффициента максимально возможного предотвращения убытков используются осреднённые значения μ, которые определяются по соотношениям:

$$\mu_{\max}^{cp(V)} = \frac{\int_0^{100} \mu_{\max} d\alpha}{\Delta\alpha} \text{ для } V \text{ и } \mu_{\max}^{cp(T)} = \frac{\int_6^{240} \mu_{\max} dT}{\Delta T} \text{ для } T.$$

Расчёты, проведенные по этим соотношениям, показали, что $\mu_{\max}^{cp(V)} = 1{,}9$, $\mu_{\max}^{cp(T)} = 1{,}7$, а $\mu_{\max}^{cp(W)}$, как было указано ранее (см. рис. 2), равно 5.

Таким образом, диапазоны, в которых меняются значения коэффициентов μ_{max}, связанные с изменениями значений основных параметров *W*, *V* и *T*, представленные осреднёнными значениями μ^{cp}, характеризуются соотношением: $\mu_{\max}^{cp(W)} : \mu_{\max}^{cp(V)} : \mu_{\max}^{cp(T)} = 5 : 1{,}9 : 1{,}7$. Следовательно, весовые коэффициенты блоков групп ФВ *W*, *V* и *T* соотносятся между собой, как 5 : 1,9 : 1,7, и соответственно коэффициент δ_k в формуле (11) принимает следующие значения: $\delta_W = 5$; $\delta_V = 1{,}9$; $\delta_T = 1{,}7$.

Полученные значения весового коэффициента δ_k, предназначенные для использования при вычислениях по формуле (6), указывают также на наиболее эффективное направление деятельности при проведении послеаварийных мероприятий, обеспечивающих минимизацию ЭП, связанных с загрязнением разлившейся нефтью ВО.

Из трёх основных стратегических направлений, по которым можно осуществлять минимизацию ЭП (снижение значений *W* и *T*; увеличение значения *V*), наиболее эффективным, как это следует из сравнения значений $\mu_{\max}^{cp(W)}, \mu_{\max}^{cp(V)}, \mu_{\max}^{cp(T)}$, является снижение значения *W*, т.е. предотвращение попадания разлившейся из аварийного трубопровода нефти в ВО, поскольку уменьшение путём проведения послеаварийных работ значения *W* более чем в 2,5 раза эффективнее с точки зрения уменьшения ЭП, чем повышение значения *V* или уменьшение значения *T*.

Использование Методики [3] в качестве идеальной модели АМНП дало возможность ввести эталон для «измерения» ЭП, в роли которого выступил осреднённый коэффициент максимально возможного предотвращения убытков $\mu_{\max}^{cp}$.

Применение эталонного метода позволило осуществить определение весовых коэффициентов блоков групп факторов не путём использования статистических данных или экспертных оценок, а расчётным путём, что является примером использования нового эталонного метода для квантификации факторов влияния.

Использование эталонного метода для определения значений весовых коэффициентов для групп ФВ и квантификации самих ФВ путём присвоения им балльных оценок может осуществляться в комбинации с экспертным методом.

Комбинированный метод должен быть связан с разработкой сценариев АМНП, построенных на использовании различных ФВ и их признаков, которые будут выступать в роли схематизированной модели возможной АМНП [3], и расчёте значений убытков от ожидаемых аварий для разных вариантов сценариев. Из анализа значений этих убытков и будут получены диапазоны изменений ЭП под действием того или иного ФВ, их признаков и степени их влияния на основные параметры.

ЛИТЕРАТУРА

PolotskSU

1. Липский, В.К. Система защиты водных объектов от загрязнения при авариях на магистральных нефтепроводах Беларуси / В.К. Липский // Вестн. Полоцк. гос. ун-та. Сер. В. Прикладные науки. – 2002. – Т. 1, № 2. – С. 3 – 16.
2. Липский, В.К. Методы оценки параметров системы защиты водных объектов при авариях на нефтепроводах / В.К. Липский // Вестн. Полоцк. гос. ун-та. Сер. В. Прикладные науки. – 2004. – № 1. – С. 16 – 24.
3. Липский, В.К. Концепция моделирования воздействия нефтепроводов на окружающую среду при авариях / В.К. Липский // Вестн. Полоцк. гос. ун-та. Сер. В. Прикладные науки. – 2005. – С. 23 – 35.
4. Методика подсчёта убытков, причинённых государству нарушением водного законодательства: утв. Мин-вом природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь 6 января 1995 г.
5. Временная методика определения размера экономического ущерба, причинённого загрязнением, деградацией и нарушением земель: утв. Мин-вом природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь 20 мая 1997 г.
6. Инструкция по расчету размера возмещения вреда, причиненного окружающей среде сверхнормативными выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух: утв. Мин-вом природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь 31.12.2004 г. № 50.
7. Методика подсчёта убытков, причинённых государству нарушением водного законодательства: утв. Мин-вом природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь 6 января 1995 г.
8. Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах: Сер. 27. Вып. 1 / Гос. предпр. Науч.-техн. центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России. – М., 2000. – 96 с.
9. Липский, В.К. Балльная оценка возможных последствий аварий на нефтепроводах / В.К. Липский [и др.] // Сб. науч. тр. Вып. 3. – Новополоцк: ПГУ, 2003. – С. 148 –160.
10. Липский, В.К. Оценка эффективности системы защиты окружающей среды при авариях на магистральных нефтепроводах / В.К. Липский [и др.] // Вестн. Полоцк. гос. ун-та. Сер. В. Прикладные науки. – 2006. – № 3. – С. 155 – 162.
11. Лисин, Ю.В. Концепция методического руководства по оценке степени риска магистральных трубопроводов / Ю.В. Лисин [и др.] // Трубопроводный транспорт нефти. – 1997. – № 12. – С. 8 – 14.
12. Лисанов, М.В. Анализ риска и декларирование безопасности объектов нефтяной и газовой промышленности / М.В. Лисанов, А.С. Печёркин, В.И. Сидоров // Надёжность, сертификация и безопасность оборудования для нефти и газа. – 1998. – № 1. – С. 37 – 41.
13. Черняев, К.В. Концепция методического руководства по определению периодичности внутритрубной диагностики магистральных нефтепроводов / К.В. Черняев [и др.] // Трубопроводный транспорт нефти. – 1997. – № 4. – С. 16 – 19.
14. Нормы периодичности обследования магистральных трубопроводов внутритрубными инспекционными снарядами: метод. рук. РД153-39-029-98 / Мин-во топлива и энергетики России. – М., 1998.

Поступила 29.06.2007