

ратурного поля смеси, образовавшейся в траншее, с температурой окружающего воздуха. После намерзания льда на нижней поверхности ледяного покрова, образовавшуюся смесь немедленно откачивают из траншеи любым известным способом для предотвращения протавивания льда. Высота ледяного бона может быть рассчитана с использованием уравнений тепломассобмена.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Способ улавливания нефтяных загрязнений с поверхности водных объектов, покрытых льдом: пат. 2265 С1 ВУ, МПК E02B 15/00 / В.К. Липский, П.В. Коваленко, В.Е. Савенок // Официальный бюллетень Белгоспатента. – 1998. – № 3. – С. 183.
2. Способ улавливания и сбора нефтяных загрязнений с поверхности водотоков, покрытых льдом: пат. 4679, С1 ВУ, МПК E02B 15/04 / В.К. Липский, В.Е. Савенок, П.В. Коваленко. – № a19980517; заявл. 27.05.1998; опубл. 30.12.1999 // Официальный бюллетень Белгоспатента. – 2002. – № 3.
3. Способ улавливания и локализации нефтяных загрязнений под ледяным покровом водоема: заявка на изобр. a20000053, МПК E02B 15/04 / Г.П. Бровка, В.Е. Савенок, П.В. Коваленко, В.С. Саптанов, В.К. Липский; заявл. 18.01.2000; опубл. 30.09.2001 // Официальный бюллетень Белгоспатента. – 2001. – № 3.

**УДК 622.69**

## СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПАСНОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ АВАРИЯХ НА НЕФТЕПРОВОДАХ

**В.К. Липский, Н.Л. Белорусова, А.А. Карпухина**

*УО «Полоцкий государственный университет», г. Новополоцк, Беларусь*

Магистральные нефте- и продуктопроводы (МНП) являются опасными производственными объектами [1]. Основные последствия аварий на магистральных нефте- и нефтепродуктопроводах (АМНП) проявляются в экологической сфере, а наиболее тяжёлые экологические последствия (ЭП) связаны с загрязнением водных объектов (ВО) [1, 2]. Формы выражения экологических последствий многообразны, трудно поддаются изучению и количественному представлению в обобщённом виде, хотя для прогнозирования и планирования деятельности по минимизации ЭП при АМНП необходима именно количественная обобщённая форма их представления.

Для конкретной аварии (реальной или возможной) в качестве обобщённой количественной оценки экологических последствий могут быть использованы стоимостные показатели. Конкретным примером использования стоимостных показателей как модели, отображающей взаимодействие нефтепровода с водными объектами при АМНП [3], является алгоритм Методики подсчёта убытков, причинённых государству нарушением водного законодательства (Методика) [3].

$$Y = f(3(f_1(W)) \cdot K_{кат} \cdot \alpha(f_2(V, W)) \cdot K_{сн}(f_3(T))), \quad (1)$$

где  $W$  – масса нефти, поступившая в ВО, т;  $V$  – масса нефти, извлечённая из ВО, т;  $T$  – время, за которое извлечена нефть, ч;  $3 = f(W)$  – величина убытков от загрязнения водного объекта, млн. руб.;  $K_{сн} = f(T)$  – коэффициент 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.

Введём понятие *удельного убытка*, т.е. убытка, приходящегося на тонну нефти, попавшей в ВО:

$$\bar{Y} = \frac{Y_{ВО}}{W}. \quad (2)$$

На основании (2) вводятся понятия: *удельного максимально возможного убытка* –  $\bar{Y}_0 = \frac{Y_0}{W}$ ; *удельного минимально возможного убытка* –

$$\bar{Y}_{\min} = \frac{Y_{\min}}{W}; \text{ удельного фактического убытка} - \bar{Y}_\phi = \frac{Y_\phi}{W}.$$

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

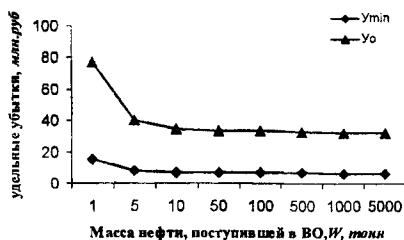


Рис. 1. Зависимость минимально и максимально возможных убытков, выраженных в удельной форме от массы разлитой нефти

Введём в рассмотрение коэффициент максимально возможного снижения убытков  $\mu_{\max}$  как отношение величины удельного максимально возможного убытка  $\bar{Y}_0$  к величине минимально возможного удельного убытка  $\bar{Y}_{\min}$

$$\mu_{\max} = \frac{\bar{Y}_0}{\bar{Y}_{\min}} = \frac{Y_0}{Y_{\min}}, \quad (3)$$

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, представленных на рисунке 2, коэффициент максимального снижения убытков  $\mu_{\max}$  не зависит от  $W$  и является постоянной величиной, равной 5.

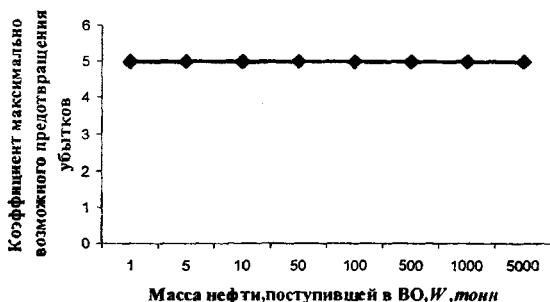


Рис. 2. Зависимость коэффициента максимально возможного предотвращения убытков относительно массы разлитой нефти

Таким образом, для всего диапазона 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:

$$\mu_{\phi} = \frac{\bar{Y}_0}{\bar{Y}_{\phi}} = \frac{Y_0}{Y_{\phi}}, \quad (4)$$

где  $\mu_{\phi}$  является коэффициентом снижения убытка, который показывает, по результатам конкретной (реальной или возможной) аварии, насколько

фактические убытки, сформировавшиеся после завершения мероприятий по сбору нефти, меньше максимально возможных убытков. Коэффициент  $\mu_{\phi}$  характеризует эффективность системы защиты ВО загрязнения нефтью и его можно рассматривать также и как коэффициент эффективности системы защиты ВО.

Однако эта модель имеет ряд ограничений и недостатков, основные из которых состоят в следующем:

- 1) с помощью модели можно оценивать ЭП только конкретной (реальной или возможной) аварии и нельзя давать оценку степени экологической опасности МНП или степени экологической уязвимости территории;
- 2) эта модель указывает только стратегические направления обеспечения защиты ВО и не указывает на конкретные факторы, целенаправленное воздействие на которые обеспечивает минимизацию негативных ЭП при АМНП.

Для решения задачи по оценке степени экологической опасности трубопровода требуется создание более совершенной модели, которая в полной мере учитывала бы разносторонность и множественность факторов влияния на экологические последствия аварий.

В основу таксономического анализа факторов влияния положено использование модели (1) и структурно-логической схемы проблемы загрязнения ВО при АМНП [1, 2, 5]. В качестве первого признака, по которому были систематизированы факторы влияния, был выбран такой, как их способность влиять на значения трёх основных параметров:  $W$ ,  $V$  и  $T$ , определяющих величину ЭП, представленных в стоимостных показателях (убытки от загрязнения ВО). В соответствии с основными параметрами, учитываемыми в модели (1), группы факторов, влияющие на величину возможных последствий АМНП, разбиты на три блока: блок  $W$ , блок  $V$  и блок  $T$ .

В каждом из трёх блоков выделены группы факторов, действия которых проявляется при функционировании подсистем разных уровней (элементов) структурно-логической схемы модели проблемы [5, 6].

Так как величина убытка, согласно рассматриваемой модели (1), зависит от  $W, V$  и  $T$  то и  $\mu_{\max} = f(W, V, T)$ .

Для определения значений  $\mu$  были проведены расчёты в диапазоне параметров  $W = 1..5000$  т;  $V = 0...100$  % от величины  $W$  ( $\alpha = 0...100$  %);  $T = 6...240$  ч.

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.

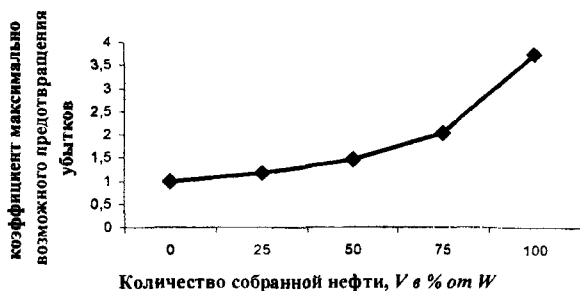


Рис. 3. Зависимость коэффициента максимально возможного предотвращения убытков относительно массы собранной нефти

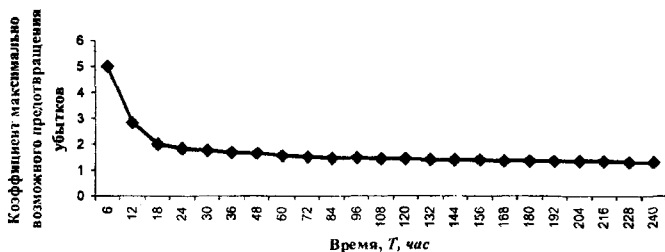


Рис. 4. Зависимость коэффициента максимально возможного предотвращения убытков относительно время сбора нефти

Зависимости, представленные на рисунках 2, 3 и 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  $\mu_{\max}$  остаётся постоянной, а при изменении  $V$  и  $T$  величина  $\mu_{\max}$  изменяется в определённых пределах.

Диапазон, в котором меняются значения коэффициентов максимально возможного предотвращения убытков  $\mu_{\max}$ , является *признаком*, по которому можно оценить степень влияния основных параметров  $W$ ,  $V$  и  $T$  на величину ЭП. Используя значение убытка как *эталон* для измерения обобщённой величины экологических последствий, можно по соотношению диапазонов максимально возможного предотвращения убытков  $\mu_{\max}$  установить значения весовых коэффициентов для блоков групп факторов  $W$ ,  $V$  и  $T$ .

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

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

Расчёты, проведенные по этим соотношениям, показали, что

$$\mu_{\max}^{cp(V)} = 1,9, \quad \mu_{\max}^{cp(T)} = 1,7, \quad \text{а} \quad \mu_{\max}^{cp(W)} = 5.$$

Таким образом, диапазоны, в которых меняются значения коэффициентов максимально возможного предотвращения убытков, связанные с изменениями значений основных параметров  $W$ ,  $V$  и  $T$  и представленные осреднёнными значениями  $\mu^{cp}$ , характеризуются соотношением:

$$\mu_{\max}^{cp(W)} : \mu_{\max}^{cp(V)} : \mu_{\max}^{cp(T)} = 5 : 1,9 : 1,7,$$

следовательно, весовые коэффициенты блоков групп факторов  $W$ ,  $V$  и  $T$ , соотносятся между собой, как  $10 : 3,8 : 3,4$ .

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.

Применение этого 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.

## ЛИТЕРАТУРА

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 // Вестн. Полоцк. гос. ун-та. Сер. В. Прикладные науки. – 2004. – № 1. – С. 16 – 24.

3. Методика подсчёта убытков, причинённых государству нарушением водного законодательства: утв. Мин-вом природных ресурсов и охраны окруж. среды Респ. Беларусь 6 янв. 1995 г.
4. Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах. Сер. 27, вып. 1 / Колл. авт. – М.: Гос. предприятие Науч.-техн. центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2000. – 96 с.
5. Липский, В.К. Балльная оценка возможных последствий аварий на нефтепроводах / В.К. Липский // Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта: сб науч. тр. Вып. 3. – Новополоцк: ПГУ, 2003. – С. 148–160.
6. Липский, В.К. Оценка эффективности системы защиты окружающей среды при авариях на магистральных нефтепроводах / В.К. Липский // Вестн. Полоцк. гос. ун-та. Сер. В. Прикладные науки. – 2006. – № 3. – С. 155 – 162.

УДК 502.51

## ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ АВАРИИ НА НЕФТЕПРОДУКТОПРОВОДЕ В ПЕРИОД ПОЛОВОДЬЯ

В.К. Липский<sup>1</sup>, Л.М. Спиридёнок<sup>1</sup>, Д.Н. Комаровский<sup>1</sup>,  
А.И. Сераков<sup>2</sup>, О.В. Киселёв<sup>2</sup>

<sup>1</sup>УО «Полоцкий государственный университет», Новополоцк, Беларусь,

<sup>2</sup>ЧУП «Запад-Транснефтепродукт, Мозырь, Беларусь

В марте 2007 года в Бешенковичском районе Витебской области на нефтепродуктопроводе Унеча – Полоцк, принадлежащему ЧУП «Запад-Транснефтепродукт», в результате аварийной разгерметизации трубопровода  $D_y = 377$  мм, произошёл разлив 224 тонн дизельного топлива.

Авария произошла на территории пашни, имеющей склон в сторону расположенной в 250 м от места аварии мелиоративной канавы. Разлившийся нефтепродукт по поверхности земли поступил в мелиоративную канаву, заполненную водой.

Ниже по течению от места поступления нефтепродуктов в канаву имеется шиберное устройство, однако оно оказалось в неисправном состоянии и не смогло предотвратить перемещение нефтепродукта вдоль канавы. Далее слой нефтепродукта распространился по ручью, к которому примыкает мелиоративная канава (приток второго порядка реки Зап. Двина), реке Улле