

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПАСНОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ АВАРИЯХ НА НЕФТЕПРОВОДАХ

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

УО «Полоцкий государственный университет», 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 ЭП связаны с загрязнением водных объектов (ВО) [1]. Формы выражения экологических последствий (ЭП) очень 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].

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

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

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

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

Величина Y_{min} является оценкой необратимости воздействия разлившейся нефти на ВО, а разность $Y_o - Y_{min} = \Delta Y_{max}$ представляет собой максимально возможный диапазон минимизации 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:

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

На основании (2) вводятся понятия **удельного максимально возможного убытка** $\bar{Y}_o = \frac{Y_o}{W}$, **удельного минимально возможного убытка**

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

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

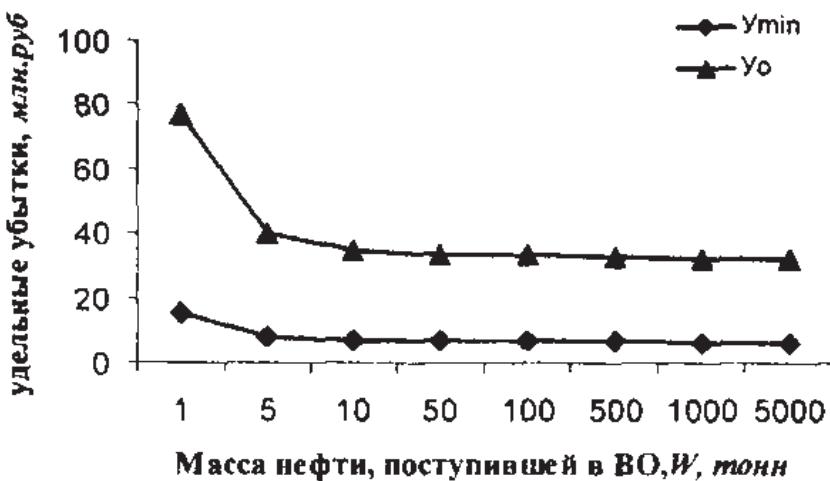


Рис. 1. Зависимость минимально и максимально возможных убытков, выраженных в удельной форме, от массы разлитой нефти

Введём в рассмотрение **коэффициент максимально возможного снижения убытков** μ_{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 μ_{\max} не зависит от W и является постоянной величиной, равной 5.

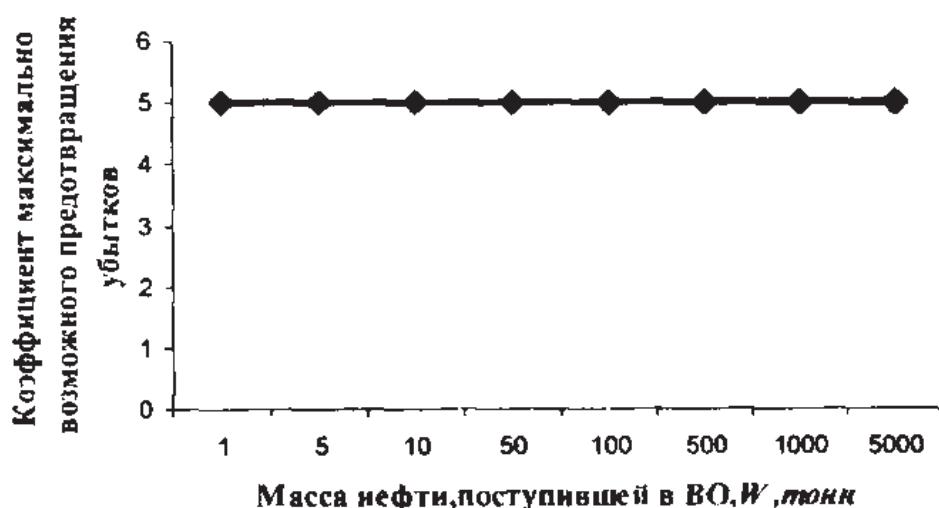


Рис. 2. Зависимость коэффициента максимально возможного предотвращения убытков относительно массы разлитой нефти

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 μ_ϕ 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 μ_{ϕ} характеризует эффективность системы защиты ВО загрязнения нефтью и его можно рассматривать так же как и **коэффициент эффективности системы защиты ВО**.

Оценивая возможности модели оценки ЭП в стоимостных показателях, нужно отметить два важных момента:

1) методика [3] в полной мере отображает суть взаимодействия техногенной сферы и геосфера и, следовательно, она может использоваться для формулирования стратегических направлений повышения эффективности СЗВО, состоящих в уменьшении количества нефти, поступившей в водный объект при АМНП, увеличении количества собранной нефти и сокращении времени её сбора, которые являются *основными параметрами*, определяющими масштаб ЭП аварий, связанных с загрязнением ВО;

2) создаёт мотивации для деятельности потенциальных загрязнителей (владельцев нефтепроводов) по проведению максимально эффективных работ по минимизации ЭП, направленные на существенное уменьшение его убытков (предотвращение ущерба), связанных с загрязнением ВО.

В то же время эта модель имеет ряд ограничений и недостатков, основные из которых состоят в следующем:

1) её помощью 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. Для оценки степени экологической опасности нефтепровода может быть использован комплексный показатель, в качестве которого принят **показатель потенциальной экологической опасности (ПЭО)** – η , для определения значений которого должна быть создана более совершенная модель многофакторной оценки экологических последствий.

Показатель потенциальной экологической опасности как величина, являющаяся количественной оценкой ЭП для территории, на которой могут происходить АМНП, вводится в развитие показателя убытков Y_{BO} ; может быть получен для случаев, когда система защиты ВО (СЗВО) введена в действие (управляемое развитие аварии – η_{up}), и когда СЗВО не задействована (не управляемое развитие аварии – η_0). Показатель потенциальной экологической опасности η_0 позволяет также оценивать уровень экологической уязвимости территории на участке трассы или трубопровода в це-

лом в условиях АМНП, а величина $\eta_{\text{шн}}$ – оценивать потенциальную экологическую опасность, которую может создать МНП, как опасный производственный объект.

Показатель потенциальной экологической опасности рассматривается как интегральный квантифицированный результат взаимодействия аварийного нефтепровода с окружающей средой. Модель, целью которой является определение η , представляет 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, которые определяют те стороны функционирования этих систем, которые связаны с поставленными целями. Это факторы, связанные с характеристиками техногенного воздействия $T(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n, \dots, \tau_n)$ и признаками геоландшафта $G(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n, \dots, \gamma_n)$.

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.

В данной постановке наиболее обоснованным является использование в качестве модели нефтепровода известных моделей оценки значений технологического риска [4, 5]. Модель трубопровода, представленная в виде зависимости для расчёта значений технологического риска, достаточно полно характеризует нефтепровод как источник аварийных эмиссий нефти.

Технологический риск имеет «размерность» вероятности разлива определённого количества нефти.

Алгоритм для его вычисления представляет собой зависимость для расчёта значения риска разлива ожидаемых объёмов нефти («технологического риска»):

$$R_r^{\max} = \lambda_n L_n V_{\max}, \quad (5)$$

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

Зависимость (5) является моделью аварийного трубопровода (системы техногенного воздействия).

Показатель экологической опасности как величины, в которой должно быть учтено воздействие всех факторов влияния, может быть представлен в формате экологического риска:

$$\eta = R_v^{\max} Q, \quad (6)$$

где R_v^{\max} – «технологический» риск, см. формулу (5); Q – обобщённая (многофакторная) оценка возможных экологических последствий аварий, учитывающая воздействие элементов (подсистем) системы проблемы.

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

$$Q_n = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J(i)} p_i q_{i,j} Q_{i,j}, \quad (7)$$

$Q_{i,j}$ – балльная оценка фактора возможных последствий от аварии; I – количество групп факторов; $J(i)$ – количество факторов в i -той группе; p_i – весовой коэффициент группы факторов; $q_{i,j}$ – весовой коэффициент фактора; n – участок трассы МНП.

На характер развития аварии, наряду с технологическими факторами (объем 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.

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

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 мероприятий по повышению безопасности нефтепроводов в послеаварийный период.

Количественное выражение влияния всех учитываемых факторов представлено величиной Q , являющейся обобщённой балльной оценкой возможных последствий аварии. Величина Q зависит от факторов влияния, и для определения численного значения величины Q эти факторы влияния

необходимо таксономировать, т.е. систематизировать и классифицировать (разделить на группы) по ряду признаков, а затем квантифицировать.

В основу таксономического анализа факторов влияния положено использование модели (1) и структурно-логической схемы проблемы загрязнения ВО при АМНП [1]. 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, учтываемыми 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 проявляются при функционировании подсистем разных уровней (элементов) структурно-логической схемы модели проблемы [7].

В блоке W объединены группы факторов, влияющих на объём нефти, поступившей в водный объект. Когда АМНП происходит на подземном участке трубопровода, разлившаяся нефть из аварийного отверстия сначала поступает на землю, и только в результате её перемещения по поверхности земли нефть 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_z) и былодержано 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 $W = W_{раз} - W_z$, т.е. величина W зависит не только от $W_{раз}$, но и от W_z , которая формируется под воздействием ряда факторов влияния, связанных как с геоландшафтными характеристиками территории на месте аварии, так и с условиями и эффективностью проведением послеаварийных работ.

В блоках V и T объединены группы факторов, влияющих на основные параметры соответственно: количество собранной нефти V и величину промежутка времени T , в течение которого была собрана нефть.

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 μ были проведены расчёты в диапазоне параметров $W = 1\dots 5000$ т; $V = 0\dots 100$ % от величины W ($\alpha = 0\dots 100$ %); $T = 6\dots 240$ ч. Зависимости $\mu_{max} = f(W)$, $\mu_{max} = f(V)$ и $\mu_{max} = f(T)$ представлены соответственно на рисунках 2, 3 и 4.

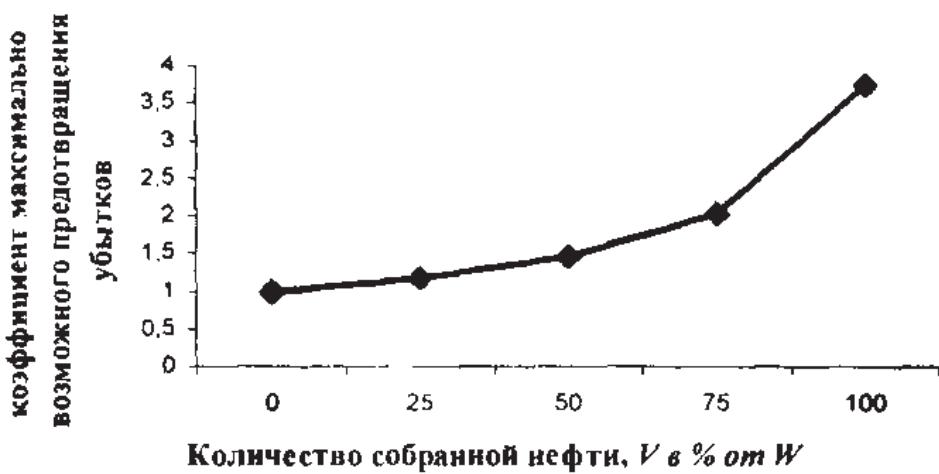


Рис. 3. Зависимость коэффициента максимально возможного предотвращения убытков относительно массы собранной нефти

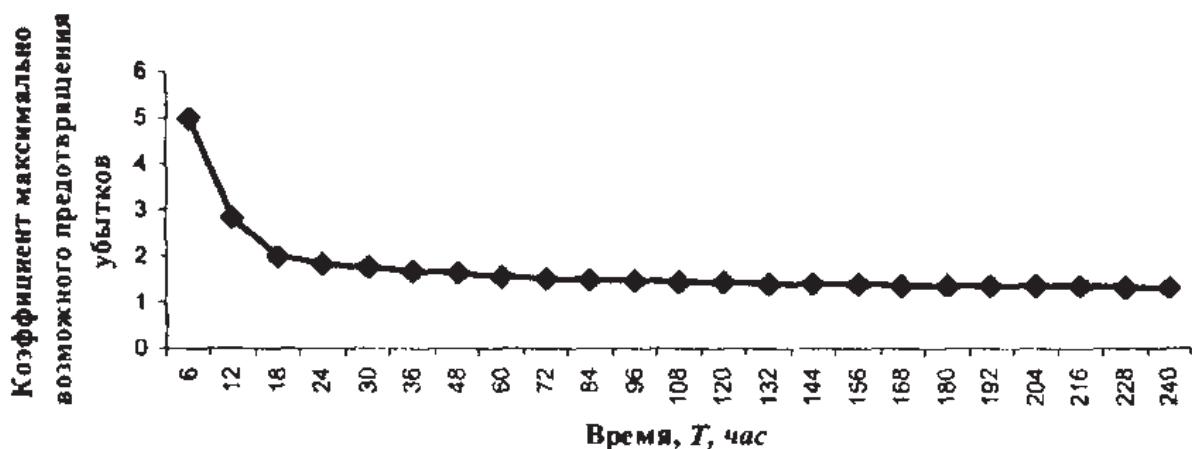


Рис. 4. Зависимость коэффициента максимально возможного предотвращения убытков относительно времени сбора нефти

Зависимости (см. рис. 2, 3 и 4) позволяют оценить влияние основных факторов W , V и T на величину ЭП при загрязнении ВО нефтью. Как видно из представленных графиков, при изменении W величина μ_{\max} остаётся постоянной, а при изменении V и T – 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 эталон для измерения обобщённой величины экологических последствий, можно по соотношению диапазонов

максимально возможного предотвращения убытков μ_{\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 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:

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

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

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

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 μ_{\max}^{cp} .

Заключение. 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

- Липский, В.К. Система защиты водных объектов от загрязнения при авариях на магистральных нефтепроводах Беларуси / В.К. Липский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Прикладные науки. – 2002. – Т. 1, № 2. – С. 3 – 16.
- 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. Методика подсчёта убытков, причинённых государству нарушением водного законодательства: утв. Мин-вом природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь 6 января 1995 г.
4. Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах. Сер. 27, вып. 1 / колл. авт. – М.: Гос. предпр. науч.-техн. центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2000. – 96 с.
5. Балльная оценка возможных последствий аварий на нефтепроводах / В.К. Липский [и др.] // Надежность и безопасность трубопроводного транспорта: сб. науч. тр. Вып. 3. – Новополоцк: ПГУ, 2003. – С. 148 – 160.
6. 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.

УДК 519.673

ВОПРОСЫ РЕАЛИЗАЦИИ ВОЛНОВОГО МЕТОДА ЛОКАЛИЗАЦИИ УТЕЧЕК

Ю.Г. Кузьминский¹, В.И. Вьюн²

¹*ГНУ «Институт механики металлокомпозитных систем им. В.А. Белого
НАН Беларусь», Гомель, Беларусь*

²*УО «Гомельский государственный
технологический университет им. П.О. Сухого», Гомель, Беларусь*

*Рассмотрены вопросы сбора данных, методов расчетов и повышения
точности при реализации волнового метода локализации утечек.*

Введение. Стоимость нефти в 20-кубовой автоцистерне достигает 10 000 USD и будет возрастать. Данный факт является мотивом несанкционированных отборов нефти из магистральных трубопроводов. Объем отдельного отбора находится в пределах погрешности суточного баланса нефти (0,04 %) и вычисляемые объемы отборов не могут быть вычтены из баланса по отсутствию юридических основ. Для избежания ответственности правонарушители предпринимают маскирующие действия – максимальное снижение скорости отбора, придание отбирамому потоку нестационарного характера и т.д. Отборы характеризуются краткостью периода, ограниченностью мест по подъездным дорогам, фиксированным количеством точек, малой амплитудой волн давления, маскировочной нестабильностью скачков давления. Технических средств предотвращения отборов не существует. Предотвращение отборов возможно только правоохранитель-