

## 4. Модель оценки экономической эффективности реализации "виртуального" контроля состояния магистральных нефтегазопроводов

### 4.1. Постановка задачи

В процессе эксплуатации магистральных нефтегазопроводов, срок службы которых превысил 20-летний порог, встает вопрос о надежности работы трубопроводов, вероятности аварии, срочности ремонтных работ на тех или иных участках. Для решения вопроса необходима выбрать стратегию управления системой трубопроводов.

Нам неизвестно, когда точно произойдет авария. Если не проводить ремонтных работ, что неизбежно приведет к аварии, то управление магистральными трубопроводами несет убытки от потерь нефти или газа, остановки перекачки, необходимости проводить меры по восстановлению окружающей среды и от штрафных санкций за нанесение ущерба в результате аварии. С другой стороны, если перестраховываться и заменять потенциально опасные участки раньше на несколько лет, то организация выигрывает в том, что не теряет перекачиваемое сырье, не платит штрафов, но несет потери в виде недобора амортизационных средств, направленных на то, чтобы за весь период эксплуатации до наступления предельного срока службы (33 года) успеть "накопить" средства на полную замену отслужившего участка.

В результате необходимо найти способ определения времени проведения ремонтных работ на трубопроводе с минимально возможными издержками, а также найти способ оценки экономической эффективности использования "виртуального" контроля состояния ЛЧ МТ. Другими словами нужен способ определения интервала времени, в течение которого можно успеть починить трубопровод, не доводя его до аварийного состояния, и не потерять средства от недоиспользования трубы. Разработке такого способа посвящен настоящий раздел.

#### 4.2. Разработка модели оценки эффективности "виртуального" контроля состояния ЛЧМТ

Для решения поставленной задачи обратимся к идее оптимизации издержек, описанной в работе Балацкого О.Ф. и др. [6]. Авторы работы приводят схему, позволяющую определить "оптимум" по вложению средств в экологические мероприятия (см. рис. 4.1).

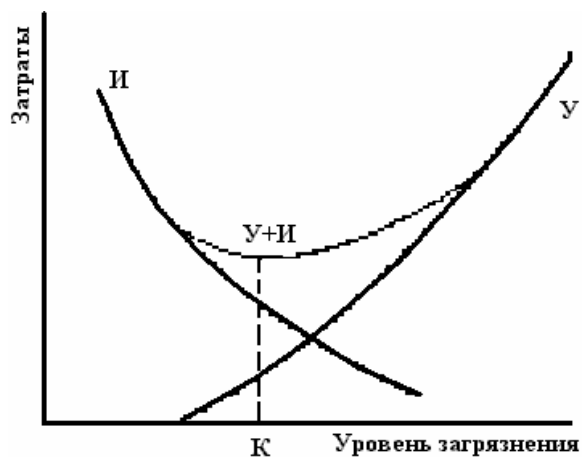


Рис. 4.1. Взаимосвязь издержек и качества окружающей среды.

Кривая И отражает издержки предотвращения загрязнения, кривая У - экономический ущерб. График не является математически точным. Функциональная зависимость имеет место только для кривой У, а кривая И на графике как бы перевернута, так как обычно изменение уровня загрязнения является следствием "противозагрязняющих" мероприятий.

На графике кривые совмещены для наглядности. Каждому значению издержек соответствует определенный уровень загрязнения, который, в свою очередь, вызывает определенный экономический ущерб. Когда издержки предотвращения загрязнения отсутствуют (затраты равны нулю), экономический ущерб максимален. При низких уровнях загрязнения ущерб близок к нулю, издержки для поддержания благоприятной среды наибольшие. Кривая издержек в этом месте растет очень круто, что означает сложность абсолютной очистки среды при использовании имеющихся средств.

С экономической точки зрения оптимальные затраты будут тогда, когда сумма издержек минимальна (кривая И+У). Это будет соответствовать уровню загрязнения  $K$ .

В нашем случае нужно найти зависимости, которые в процессе эксплуатации МТ будут характеризовать ущерб от недоиспользования трубы в случае ее "преждевременного" ремонта или замены и издержки в случае аварии.

Точку "оптимума", которая покажет момент времени, когда ремонт или замена трубы уже целесообразна по экономическим мотивам, можно получить на пересечении двух кривых:

1. Ущерб от недоиспользования трубы;
2. Издержки в случае отказа трубы.

Ущерб от недоиспользования трубы в виду преждевременной замены будем определять по следующей зависимости:

$$\begin{aligned}
 Y &= \frac{C_{\text{замены}}}{t_n} \cdot (t_n - t), && \text{при } t_n \geq t_{\text{аварии}}, \\
 &&& 0 \leq t \leq t_{\text{аварии}}; && (4.1) \\
 \left\{ \begin{array}{l} Y = \frac{C_{\text{замены}}}{t_n} \cdot (t_n - t), \text{ при } t \leq t_n \\ Y = 0, \quad \text{при } t > t_n \end{array} \right. &&& \text{при } t_n < t_{\text{аварии}}, \\
 &&& 0 \leq t \leq t_{\text{аварии}},
 \end{aligned}$$

где  $Y$  - ущерб от недоиспользования участка трубопровода, у.е.;  $C_{\text{замены}}$  - стоимость полной замены участка трубопровода, у.е.;  $t_n$  - заданный (нормативный) срок службы, лет;  $t_{\text{аварии}}$  - время с момента ввода МТ в эксплуатацию до аварии, лет;  $t$  - время, лет  $0 \leq t \leq t_{\text{аварии}}$ .

Мы не включаем в расчет стоимость сырья, которое могло бы быть перекачено по трубе, так как оно в любом случае будет перекачено, а не безвозвратно потеряно в случае аварии.

*Рассмотрим способ определения издержек в случае отказа.*

По теории надежности интенсивность отказов  $I(t)$  любого изделия за период времени  $(0; t_1)$  падает от некоторого значения  $\lambda_1$  до значения  $I_0$  ( $\lambda_1 > \lambda_0$ ),

этот период называют приработкой. Основной период эксплуатации изделия  $(t_1; t_2)$  интенсивность отказов сохраняется постоянной и равной  $I_0$ , и с момента времени  $t > t_2$  интенсивность отказов начинает расти, этот период называют старением [20, 107].

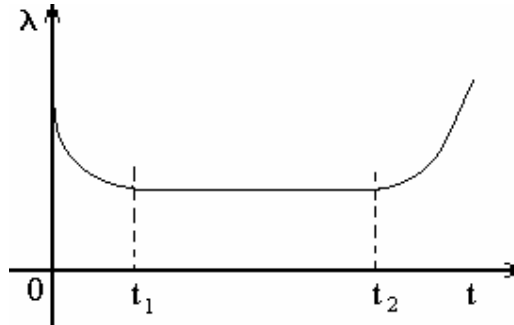


Рис. 4.2. Интенсивность отказов изделий.

В случае с эксплуатацией трубопроводов также существует период времени (обычно от 0 до 5 лет), характеризующийся приработкой, отказы обычно происходят из-за нарушений строительно-монтажных работ, скрытого производственного брака, мы не рассматриваем данный период, так как отказы по причине механохимической коррозии обычно проявляются после 20 лет эксплуатации. Также нас интересует только момент первого отказа (аварии), так как после порыва трубопровода, аварийный участок подлежит замене на новый, что приводит нас к независимости появления отказов или отсутствию последствия, а это позволяет использовать экспоненциальную зависимость для оценки вероятности аварии, приведенной к денежному эквиваленту.

Величина возможных издержек в случае отказа:

$$И = e^{-\lambda_y \cdot t} - 1 \quad (4.2)$$

где  $\lambda_y = -\frac{\ln(Y_{\text{окр.ср.}} + 1)}{t_{\text{аварии}}}$  - интенсивность отказов, лет<sup>-1</sup>;  $Y_{\text{окр.ср.}}$  - ущерб окружающей среде, подлежащий компенсации, у.е.;  $t_{\text{аварии}}$  - количество лет с момента ввода в эксплуатацию до аварии, лет;  $t$  - время, лет  $0 \leq t \leq t_{\text{аварии}}$ .

Схема модели оценки целесообразности замены участка трубы и экономической эффективности использования "виртуального" контроля состояния МТ представлена на рис. 4.3.

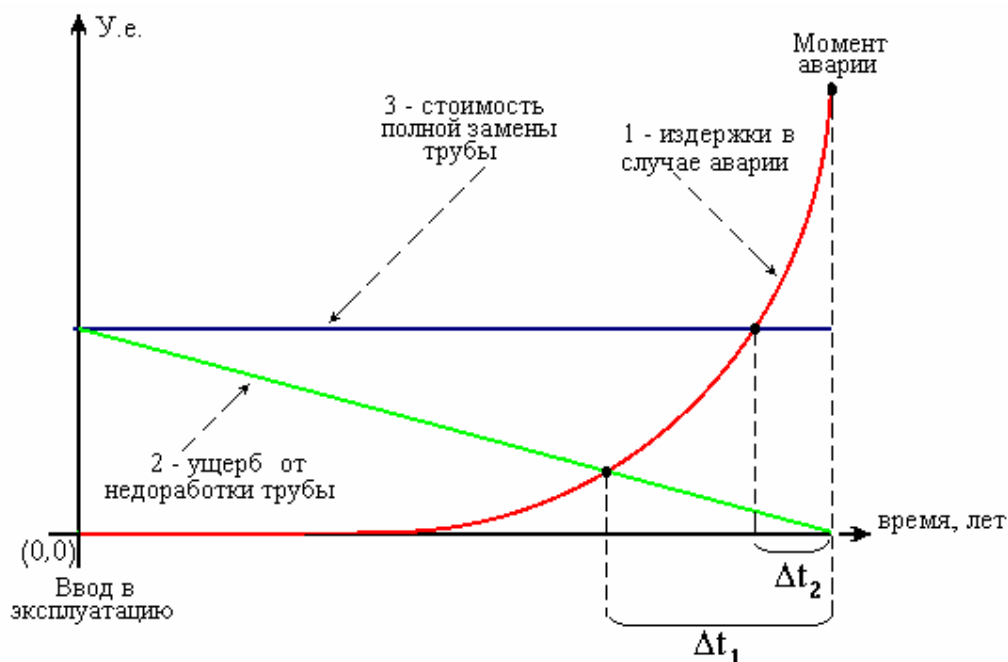


Рис. 4.3. Схема модели оценки экономической эффективности использования "виртуального" контроля состояния МТ, где кривая 1 определяется по (4.2), кривая 2 – по (4.1) для случая  $t_n = t_{\text{аварии}}$ .

Кроме кривых издержек и ущерба на рис. 4.3 представлена третья прямая, характеризующая стоимость полной замены участка трубопровода в у.е. Имеются две критические точки на пересечении кривых:

$\Delta t_1$  - первая точка показывает, что в случае преждевременного предсказания аварии на  $\Delta t_1$  лет и менее от реальной аварии, проведение ремонтных работ, а также замена исследуемого участка трубы целесообразна с экономической точки зрения, так как потери от недоиспользования трубы в случае преждевременного предсказания аварии меньше возможных потерь при аварии.

$\Delta t_2$  - вторая точка показывает, что за  $\Delta t_2$  лет до аварии и менее при замене участка трубы, затраты на замену аварийного участка меньше, чем затраты,

которые понесет управление магистральными трубопроводами в виде компенсации ущерба, нанесенного окружающей среде в результате аварии.

Таким образом получен вариант оценки целесообразности замены участка трубопровода за лет до реальной аварии. Для использования данных моделей выполним расчет экономического ущерба в случае аварии и утечки одной тонны нефти в водоем, в почву.

### 4.3. Расчет экономического ущерба в случае аварии

Анализу вариантов расчета ущерба посвящена работа [37]. В качестве базовых методик расчета издержек в случае аварии на трубопроводе будем использовать:

- временную методику определения предотвращенного экологического ущерба, одобренную на секции НТС Госкомэкологии России 18.12.1998 г. и утвержденную 09.03.1999 г.) [13];
- методику определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах, утвержденную Минтопэнерго РФ 01.11.1995 г. и согласованную с департаментом Государственного экологического контроля Минприроды РФ) [53].

За основу расчетов по каждой из методик возьмем сообщение по Омскому телевидению об аварии, произошедшей на реке Обь близ Томска. Сообщено, что 11.05.2001 произошел прорыв трубопровода, что в реку вылилось порядка 15 тонн нефти. Ремонт проводился по 14.05.2001 г.

Обратимся к расчету эколого-экономического эффекта по методике [13].

1. Условия: Необходимо определить величину предотвращенного эколого-экономического ущерба от предсказания аварии на подводном переходе через реку Обь Томской области.

2. Расчет предотвращенного ущерба. Основные исходные данные, необходимые для расчета величины предотвращенного ущерба представлены в табл. 4.1 .

Таблица 4.1

Параметры расчета

Наименование загрязняющих веществ (i-го ингредиента)	$m_{i1}$	$m_i^{нов}$	$m_{i2}$	$\Delta m_i^{нов}$	$m_{iен}$	$m_i^{np.}$	$K_{\text{э}i}$
Нефть	0	15	0	15	0	15	20
Приведенная масса загрязнений, усл. тонн	$M_1$	$M^{нов}$	$M_2$	$\Delta M$	$M^{сп}$	$M^{np}$	
$M = \sum_{i=1}^N m_i \cdot K_{\text{э}i}$	0	300	0	300	0	300	

Где  $m_{i1}$  - объем (масса) сброса загрязняющего вещества по i-му ингредиенту в начале расчетного периода, тонн;  $m_i^{нов}$  - объем (масса) сброса загрязняющего вещества от новых предприятий и производств, введенных в эксплуатацию в течение расчетного периода, тонн;  $m_{i2}$  - объем (масса) сброса загрязняющего вещества по i-му ингредиенту в конце расчетного периода, тонн;  $\Delta m_i^{нов} = (m_{i1} + m_i^{нов} - m_{i2})$  - валовой объем сокращенного сброса загрязняющего вещества по i-му ингредиенту, тонн;  $m_{iен}$  - объем (масса) сокращенного сброса загрязняющего вещества по i-му ингредиенту в результате спада производства в регионе в течение расчетного периода, тонн;  $m_i^{np.} = (\Delta m_i^{нов} - m_{iен})$  - объем (масса) сокращенного (предотвращенного) сброса загрязняющего вещества по i-му ингредиенту в результате проведения комплекса мероприятий по охране вод в регионе в течение расчетного периода, тонн;  $K_{\text{э}i}$  - коэффициент относительной эколого-экономической опасности сброса для i-го загрязняющего вещества.

Оценка величины предотвращенного эколого-экономического ущерба для реки Обь в Томской области за расчетный период времени  $Y_{np}^B$ , руб. за расчетный период:

$$Y_{np}^B = Y_{удг}^6 \cdot (M_1 + M^{нов} - M_2 - M^{сп}) \cdot K_{\text{э}}^B = Y_{удг}^6 \cdot M_{np} \cdot K_{\text{э}}^B, \quad (4.3)$$

где  $Y_{удг}^6$  - базовый показатель удельного ущерба для реки Обь Томской области, руб./усл.тонна;  $M_{np}$  - приведенный объем сокращенного (предотвращенного)

сброса загрязняющего вещества по  $i$ -му ингредиенту в результате проведения комплекса мероприятий по охране вод в регионе в течение расчетного периода, тонн;  $K_{\text{э.в.}}^{\text{в}}$  - коэффициент экологической ситуации и экологической значимости водных ресурсов для Томской области.

В результате по (4.8\*)  $U_{\text{пр}}^{\text{в}} = 1719307,2$  руб в ценах 1998 года или 286551,2 у.е.

$U_{\text{пр}}^{\text{в}}$  в ценах 2002 года составит **8883087,2** рублей.

Обратимся к расчету эколого-экономического ущерба по методике [53].

Ущерб окружающей природной среде, подлежащий компенсации,  $U_{\text{к.в.}}$ , рассчитывается как плата за сверхлимитный сброс загрязняющих веществ с применением повышающего коэффициента 5:

$$U_{\text{к.в.}} = 5 \cdot K_{\text{и}} \cdot N_{\text{б.в.}} \cdot K_{\text{э.в.}} \cdot M_{\text{у}}; \quad (4.4)$$

где  $K_{\text{и}}$  - коэффициент инфляции;  $N_{\text{б.в.}}$  - базовый норматив платы за сброс 1 тонны нефти в водный объект в пределах установленного лимита, руб./тонна;  $K_{\text{э.в.}}$  - коэффициент экологической ситуации и экологической значимости состояния водного объекта;  $M_{\text{у}}$  - масса нефти, причинившей ущерб, принимаемая для расчета платы за загрязнение водного объекта при авариях на магистральных нефтепроводах, тонн.

В результате по (4.9\*)  $U_{\text{к.в.}} = 17296500$  руб в ценах от 28.08.1992г. или 107099,1 у.е.

$U_{\text{к.в.}}$  в ценах 2002 года составит **3320071,21** рублей.

Сведем расчеты по двум методикам в табл. 4.2.



Сводная таблица расчетов издержек в случае аварии

Название методики	Отрасль/институт, в котором разработана методика	Величина ущерба при аварии и попадании 15 тонн нефти в водоем (в ценах 2002 года)
Методика определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах.—1996 г. [53]	ИПТЕР	107099,1 у.е. или 3 320 071,21 руб.
Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба.— 1999. [13]	Госкомэкология РФ	286551,2 у.е. или 8 883 087,20 руб.

Возьмем за основу расчетов из двух методик минимальную цифру для определения  $Y_{\text{окр.ср.}}$  в формуле (4.2). Так как в методиках используются линейные зависимости, то можно считать, что в случае попадания 1 тонны нефти в водоем организация по управлению магистральными трубопроводами должна возместить ущерб в размере  $107099,1 \text{ у.е.} / 15 \text{ тонн} = 7140 \text{ у.е.}$  за тонну или  $3\,320\,071,21 \text{ руб.} / 15 \text{ тонн} = 221338 \text{ руб.}$  за тонну.

#### 4.4. Пример оценки эффективности реализации "виртуального" контроля состояния ЛЧМТ

Приведем пример расчета эффективности предсказания аварии. В качестве исходных данных взяты следующие величины: в случае аварии при попадании 1 тонны нефти в водоем (по Омской, Томской областям) ущерб составит 7140 у.е. или 221338 руб. (определено по [53]), прокладка 1 км трубы составляет порядка 100-150 тыс. у.е. или 3100-4650 тыс. руб., в данном случае предсказываем аварию на 10-метровом участке, стоимость замены которого примем равной 2500 у.е. или 77,5 тыс. руб. (цифра взята с запасом, так как в работе [64] приводится цифра капитальных затрат на восстановление 1 км трубы в размере 525 тыс. у.е. или 16275 тыс. руб.), по статистике аварии

происходят через 27-30 лет эксплуатации при рабочем давлении 3-5Мпа (примем  $t_{\text{аварии}} = 30$  лет).

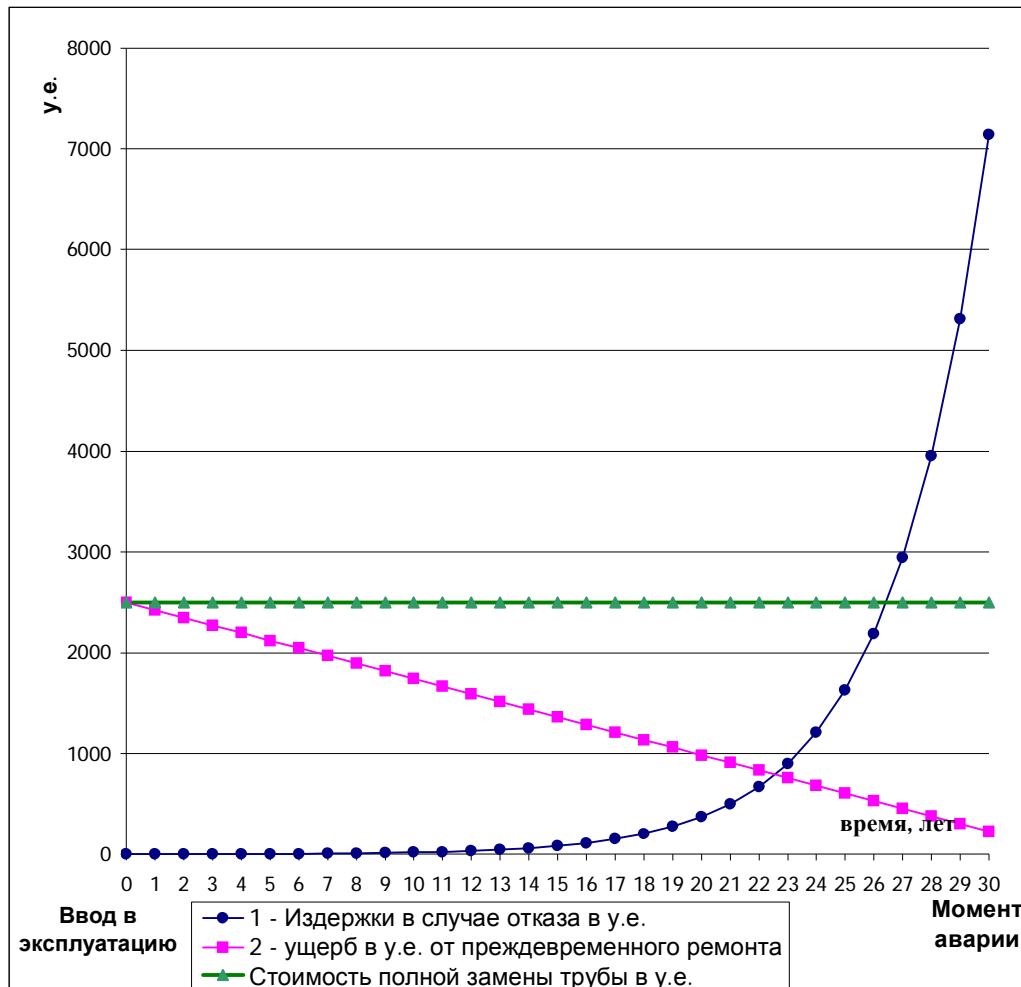


Рис. 4.4. Модель оценки целесообразности замены участка трубы и экономической эффективности использования "виртуального" контроля состояния МТ, где график 1 определен по (4.2), график 2 определен по (4.1).

На рис. 4.4 мы получили две "критические" точки: первая точка – за 7,44 лет до аварии, вторая – за 3,55 лет до аварии.

Первая точка показывает, что в случае предсказания аварии раньше реальной аварии на 7,44 лет (или на 24,8% раньше от реального времени аварии) и менее, проведение ремонтных работ, а также замена исследуемого участка трубы целесообразна с экономической точки зрения, так как потери от

недоиспользования трубы в случае преждевременного предсказания аварии меньше от возможных потерь при аварии.

Вторая точка показывает, что за **3,55** лет (или **11,83%** от реального времени аварии) до аварии и менее даже при полной замене участка трубы, затраты на замену аварийного участка меньше, чем затраты, которые понесет управление магистральными трубопроводами в виде компенсации ущерба, нанесенного окружающей среде в результате аварии.

## **ВЫВОДЫ**

1. Предложен метод для оценки целесообразности замены участка трубы и экономической эффективности использования "виртуального" контроля состояния МТ.
2. На основе предложенного метода получена граничная точка, позволяющая определить промежуток времени до аварии, в течение которого замена трубы целесообразна, другими словами, в случае предсказания времени аварии преждевременно на **24,8%** и менее (процент получен от всего времени эксплуатации до реальной аварии) замена трубы уже экономически целесообразна. Во второй главе определена адекватность разработанной модели, которая предсказывает аварию раньше до **21, 139%** от всего времени эксплуатации до аварии. В результате использование разработанной во второй главе модели целесообразно, так как размер отклонений во времени предсказания аварии укладывается в определенный в главе 4 интервал времени, когда ремонтные работы и замена трубы уже экономически оправданы.