

УДК 621.643.053:502.37

**ВЫБОР РУБЕЖЕЙ ЗАДЕРЖАНИЯ ПРИ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВАХ
НА МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОДУКТОПРОВОДАХ**

*д-р техн. наук, проф. В.К. ЛИПСКИЙ; канд. техн. наук, доц. Л.М. СПИРИДЁНОК;
канд. техн. наук, доц. А.Г. КУЛЬБЕЙ; А.Н. ЯНУШОНОК
(Полоцкий государственный университет);
О.В. КИСЕЛЁВ
(Запад-Транснефтепродукт, Мозырь)*

Рассматривается проблема возникновения аварии, когда возможен выход нескольких десятков тысяч тонн нефтепродуктов, которые по водотокам могут распространяться на значительные расстояния, включая территории соседних государств и акватории Балтийского и Чёрного морей. Приведены основные критерии выбора мест установки рубежей задержания для локализации аварийного выхода нефтепродукта на переходах магистральных нефтепродуктопроводов через водные преграды.

Ключевые слова: *магистральный трубопровод, аварийный разлив светлых нефтепродуктов, подводный переход, локализация аварийного разлива, рубежи задержания, боновые заграждения.*

Введение. Транспортирование светлых нефтепродуктов (далее – СНП) по магистральным трубопроводам – наиболее эффективный способ крупнотоннажных поставок этого вида жидких энергоносителей, занимающий ведущее место среди других способов доставки. В то же время при транспортировании светлых нефтепродуктов по магистральным трубопроводам существуют риски аварий, которые могут сопровождаться нарушением герметичности трубопровода и разливами транспортируемого нефтепродукта. Попавшие в окружающую среду светлые нефтепродукты загрязняют все виды природных объектов: водную среду, земли, атмосферу, растительный и животный мир. Наиболее тяжёлые экологические последствия создают аварийные разливы светлых нефтепродуктов, при которых они попадают в водные объекты, особенно в крупные водотоки. Это может происходить разными способами; 1) разлившийся нефтепродукт сначала попадает на землю, а затем, мигрируя по профилю ландшафта, попадает в водный объект; 2) светлый нефтепродукт из аварийного отверстия в разрушенном трубопроводе непосредственно попадает в водный объект. В первом случае в водный объект попадает только часть разлившегося продукта, но по пути миграции его слоя по поверхности земли происходит загрязнение других природных объектов. Во втором случае в водный объект попадает весь разлившийся светлый нефтепродукт, что существенно увеличивает степень загрязнения водного объекта, но при этом другие объекты окружающей среды практически не подвергаются загрязнению.

Учитывая большое разнообразие ландшафтных характеристик территорий, на которых расположены трассы магистральных нефтепродуктопроводов и существование риска аварии в любой точке трассы, поведение разлившегося светлого нефтепродукта и его взаимодействие с природными объектами окружающей среды, то есть процесс развития аварийного разлива, может происходить по бесчисленному количеству вариантов или сценариев его развития. Каждый из возможных сценариев в соответствии с особенностями территории будет иметь свою специфику, которая потребует разработки и применения соответствующих инженерно-технических и организационно-технологических методов ликвидации аварийного разлива и минимизации его последствий.

Необходимо отметить, что определенное влияние на характер развития аварийного разлива оказывают физико-химические свойства транспортируемой жидкости. Поведение разлившихся сырой нефти различной вязкости и светлого нефтепродукта отличаются как по характеру их взаимодействия с природными объектами, так и по условиям их сбора. Так, например, в отличие от нефти светлый нефтепродукт гораздо интенсивнее испаряется с поверхности воды, и его слой на водной поверхности имеет гораздо меньшую толщину, что усложняет процесс локализации и ликвидации.

Таким образом, характер событий аварийного разлива зависит от большого количества разнообразных факторов и в силу этого обладает широкой вариативностью, создает необходимость проведения определенного упорядочения и систематизации всех возможных вариантов развития аварий и их классификации. Для каждого из обобщенных видов сценариев, с учетом условий, при которых происходит аварийный разлив, следует разрабатывать типовые технологии его локализации и ликвидации.

Одними из наиболее опасных и сложных видов аварийного разлива являются те, которые происходят на участках подводных переходов магистральных нефтепродуктопроводов через крупные водотоки. Основная особенность этого вида разлива состоит в том, что при *аварийной разгерметизации трубопровода* в водоток одновременно поступает большое количество транспортируемой жидкости, которая разносится течением на большие расстояния. Основным методом локализации и ликвидации таких ава-

рийных разливов является использование боновых заграждений, которые устанавливаются в русле водотока ниже по течению от подводного перехода. Для установки боновых заграждений и проведения комплекса инженерно-технических и организационно-технологических работ по локализации и ликвидации аварийного разлива на берегу водотока выбираются места, где сооружаются технологические площадки – рубежи задержания разлившегося светлого нефтепродукта.

Основная часть. Выбор местоположения рубежей задержания определяется на основании учета совокупности таких факторов, как [1]:

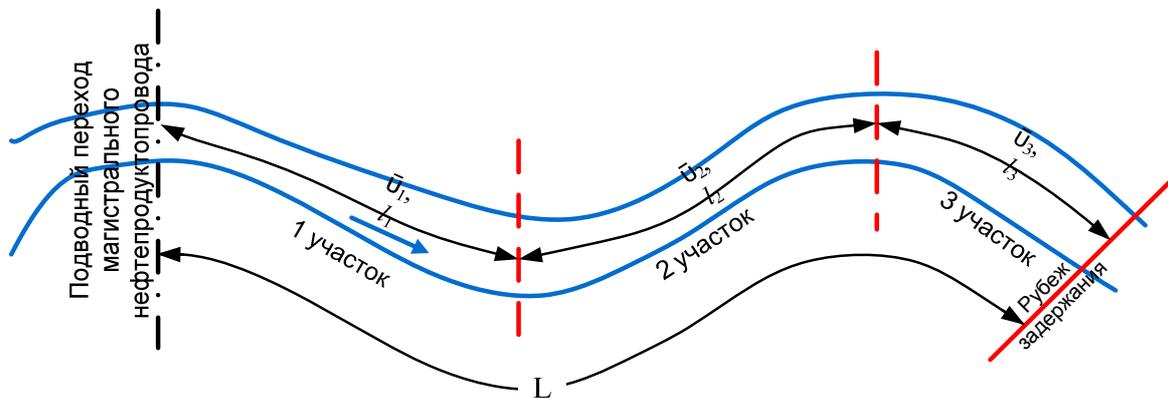
- 1) время движения пятна разлившегося по поверхности реки нефтепродукта от места аварии до рубежей задержания;
- 2) время, которое необходимо аварийной бригаде аварийно-восстановительной службы с момента аварии до полного развертывания боновых заграждений (далее – время реагирования);
- 3) наличие подъездных путей к месту, где будут расположены рубежи задержания;
- 4) состояние подъездных путей по условиям прохождения аварийной техники;
- 5) условия местности для разворачивания аварийной техники на рубеже задержания;
- 6) возможность подхода людей и техники к береговой линии для проведения аварийных работ;

Предварительный выбор возможных мест расположения рубежей задержания осуществляется путем анализа картографического материала и спутниковых фотоснимков с высоким разрешением, которые с достаточной достоверностью отображают ситуацию на местности. На этом этапе учитываются первые три фактора, на основе которых на картографическом материале предварительно намечаются местоположения рубежей задержания.

Окончательно местоположение рубежей задержания, с учётом четвертого, пятого и шестого факторов, уточняется в ходе полевых рекогносцировочных работ.

Первая задача при выборе возможного места расположения рубежа задержания – определение времени движения по поверхности водотока пятна разлившегося светлого нефтепродукта. Время движения его по поверхности воды в водотоке от места подводного перехода магистрального нефтепродуктопровода (место предполагаемой аварии) до рубежа задержания определяется скоростью поверхностного течения и расстоянием.

Скорость поверхностного течения по длине водотока не является постоянной, а зависит от ряда факторов, основными из которых являются: значение расхода воды в водотоке; характер изменения площади живого сечения по длине русла водотока; извилистость русла; скорость и направление ветра; наличие водной растительности. Сочетание этих факторов приводит к тому, что на разных участках водотока наблюдается разная скорость поверхностного течения (рис. 1).



$\bar{U}_1, \bar{U}_2, \bar{U}_3$ – поверхностная скорость течения на участке; l_1, l_2, l_3 – длина участка;

L – длина пути от подводного перехода магистрального нефтепродуктопровода до рубежа задержания

Рисунок 1. – К определению времени движения пятна светлого нефтепродукта от подводного перехода магистрального нефтепродуктопровода до рубежа задержания

Время движения пятна разлившегося светлого нефтепродукта от подводного перехода магистрального нефтепродуктопровода до рубежа задержания определяется по формуле:

$$T_{дв.СНП} = \sum_{i=1}^n v_i \cdot l_i = v_{cp} \cdot L, \quad (1)$$

где $T_{дв.СНП}$ – время движения пятна светлого нефтепродукта до рубежа задержания; v_i – скорость поверхностного течения на i -том участке; l_i – длина i -го участка; v_{cp} – средняя скорость движения пятна СНП

по длине русла от подводного перехода магистрального нефтепродуктопровода до рубежа задержания; L – длина пути от подводного перехода магистрального нефтепродуктопровода до рубежа задержания; n – общее количество участков.

Сложность определения $T_{дв.СНП}$ по формуле (1) заключается в отсутствии значений v_i , l_i и $v_{ср}$. Эти значения могут быть получены в ходе многолетних полевых измерений или с использованием программных комплексов, позволяющих создать математическую модель водотока. В то же время данные подходы требуют значительных временных и финансовых затрат на полевые работы по измерению скоростей в различных сечениях водотока и измерению глубин вдоль всего русла для создания адекватной математической модели. С учетом большого количества пересекаемых водотоков, для которых необходимо регулярно пересматривать планы ликвидации возможных аварий, данный подход не всегда возможно осуществить в сжатые сроки. В связи с этим с целью экономии ресурсов задача может быть несколько упрощена, при этом возникающая погрешность результатов будет приемлемой.

В первую очередь упрощается алгоритм определения скорости движения поверхностных вод в водотоке. Скорость движения поверхностных вод является переменной величиной как для разных сечений вдоль движения водотока, так и по ширине сечения водотока. Если при проведении расчетов использовать некую среднюю скорость, постоянную и по поперечному сечению, и вдоль водотока, задача существенно упрощается. При этом известно, что средние поверхностные скорости течения для рек Беларуси изменяются в диапазоне 0,1...2 м/с. Малые значения скоростей характерны для периода летне-осенней межени, а большие значения – для весеннего половодья. Время движения пятна разлившегося светлого нефтепродукта до возможных рубежей задержания определяется для каждого значения средней скорости движения поверхностных вод во всем диапазоне скоростей – от 0,1 до 2 м/с.

Время реагирования аварийной бригады аварийно-восстановительной службы представляет собой период с момента получения оператором сигнала об аварии до момента разворачивания на рубеже задержания минимально необходимого числа линий боновых заграждений, достаточных для задержания перемещения пятна светлого нефтепродукта по руслу водотока.

Время реагирования аварийной бригады аварийно-восстановительной службы состоит из трёх этапов:

- время, которое необходимо для сбора персонала аварийно-восстановительной службы на месте постоянной дислокации и подготовки к отправке;
- время, необходимое на перемещение персонала аварийно-восстановительной службы и оборудования с места постоянной дислокации аварийно-восстановительной службы до рубежа задержания;
- время, которое необходимо для разворачивания боновых заграждений на рубеже задержания.

Таким образом, время реагирования аварийной бригады аварийно-восстановительной службы определяется по формуле:

$$T_{ABC} = T_{СБ} + T_{ДВ} + T_{РАЗВ}, \quad (2)$$

где T_{ABC} – время реагирования аварийной бригады аварийно-восстановительной службы, мин; $T_{СБ}$ – время сбора аварийной бригады аварийно-восстановительной службы, мин; $T_{ДВ}$ – время движения аварийной бригады аварийно-восстановительной службы, мин; $T_{РАЗВ}$ – время разворачивания боновых заграждений, мин.

Следовательно, чтобы успеть задержать пятно разлившегося светлого нефтепродукта на рубеже задержания, должно выполняться следующее условие:

$$T_{ABC} \leq T_{дв.СНП}. \quad (3)$$

Из этого условия для конкретного рубежа задержания и средней скорости $v_{ср}$ движения пятна разлившегося светлого нефтепродукта можно определить максимально допустимое время реагирования аварийно-восстановительной службы, $T_{ABC}^{макс}$. Время сбора включает время на оповещение и сбор технического персонала аварийно-восстановительной службы и время на подготовку к транспортированию необходимой аварийной техники. На время сбора $T_{СБ}$ оказывает влияние следующее обстоятельство: в рабочее или в нерабочее время проводится сбор, что обусловлено временем суток и наличием выходных и праздничных дней, в которые может произойти аварийных разлив нефтепродукта.

Время сбора аварийно-восстановительной службы в рабочее время не должно превышать 30 минут, в нерабочее время – не более 2 часов [2].

Отдельно должен быть рассмотрен случай, когда персонал аварийно-восстановительной службы в момент аварийного разлива светлого нефтепродукта проводит плановые работы на трассе нефтепродуктопровода. В этом случае время сбора персонала аварийно-восстановительной службы будет определяться обстоятельствами, связанными с местом и характером проведения работ на трассе. Такие

случаи являются достаточно редким явлением, однако полностью исключены быть не могут. В практической деятельности в данной ситуации возможна отправка другого персонала и техники аварийно-восстановительной службы к рубежу задержания, базирующемуся на перекачивающих станциях, расположенных ниже по течению водотока.

Время, связанное с движением аварийной бригады, определяется удаленностью рубежа задержания от места базирования аварийно-восстановительной службы, развитостью дорожной инфраструктуры, типом дорожного покрытия и максимально возможной скоростью движения аварийной техники на каждом участке. При проведении анализа картографического материала определяется маршрут движения таким образом, чтобы время движения от места дислокации аварийной бригады до конкретного рубежа задержания было минимальным.

Время разворачивания боновых заграждений на рубеже задержания определяется с момента приезда аварийной бригады аварийно-восстановительной службы на его площадку до момента установки боновых заграждений. Время разворачивания боновых заграждений зависит от типа заграждений и навыков персонала, участвующего в мероприятиях по локализации и ликвидации аварийного разлива.

Работа по оповещению, сбору персонала аварийно-восстановительной службы, подготовке аварийной техники к перемещению и разворачиванию боновых заграждений должна быть спланирована и организована таким образом, чтобы она проходила в минимально возможные сроки для обеспечения условия, определяемого соотношением (3). Следует учесть, что время реагирования аварийно-восстановительной службы, согласно [1], не должно превышать 4 часов.

Расчеты времени движения пятна разлившейся нефти $T_{ДВ}$, проведенные на основе анализа картографического материала для каждого подводного перехода и времени, необходимого для развертывания боновых заграждений $T_{РАЗВ}$, обобщаются в таблице. Эта таблица позволяет сопоставить время движения пятна от места аварии до предполагаемого рубежа задержания и время реагирования аварийно-восстановительной службы $T_{АВС}$. Возможная форма и пример её заполнения представлен в таблице 1.

Таблица 1. – Пример сопоставления времени реагирования аварийно-восстановительных служб и движения пятна загрязнения до рубежа задержания

№ рубежа задержания	Расстояние до РЗ, км	Время движения АВС до РЗ, мин	Скорости течения водотока, м/с																			
			0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
			Время движения пятна загрязнения от подводного перехода до рубежа задержания, мин																			
1	5,1	10	86,13	43,07	28,71	21,53	17,23	14,36	12,30	10,77	9,57	8,61	7,83	7,18	6,63	6,15	5,74	5,38	5,07	4,79	4,53	4,31
2	3,3	5	291,53	145,77	97,18	72,88	58,31	48,59	41,65	36,44	32,39	29,15	26,50	24,29	22,43	20,82	19,44	18,22	17,15	16,20	15,34	14,58
3	2,1	5	417,81	208,91	139,27	104,45	83,56	69,64	59,69	52,23	46,42	41,78	37,98	34,82	32,14	29,84	27,85	26,11	24,58	23,21	21,99	20,89
4	3,1	7	624,66	312,33	208,2194	156,16	124,93	104,11	89,24	78,08	69,41	62,47	56,79	52,05	48,05	44,62	41,64	39,04	36,74	34,70	32,88	31,23
5	3,8	8	863,29	431,64	287,76	215,82	172,66	143,88	123,33	107,91	95,92	86,33	78,48	71,94	66,41	61,66	57,55	53,96	50,78	47,96	45,44	43,16
6	4,4	9	1017,20	508,60	339,0661	254,30	203,44	169,53	145,31	127,15	113,02	101,72	92,47	84,77	78,25	72,66	67,81	63,57	59,84	56,51	53,54	50,86
Время реагирования АВС*	в рабочее время	100/95/95/97/98/99																				
	в нерабочее время	190/185/185/187/188/189																				

* – Время реагирования АВС рассчитано по формуле (2) при следующих условиях: время сбора в рабочее время – 30 мин; время сбора в нерабочее время – 120 мин; время разворачивания аварийной техники – 60 мин.

При проведении анализа данных, представленных в таблице, исключаются из рассмотрения те рубежи задержания, на которых задержание разлива нефтепродукта невозможно, и даются рекомендации по предварительному выбору рубежей задержания.

Так, например, исходя из таблицы 1 аварийно-восстановительная служба:

- на рубеже задержания № 1 не может локализовать пятно ни в рабочее, ни в нерабочее время. Таким образом, он исключается из рассмотрения при использовании гибких боновых заграждений. В то же время при использовании стационарных боновых заграждений время разворачивания может быть существенно сокращено, и данный рубеж задержания может быть использован;

- на рубеже задержания № 2 аварийно-восстановительная служба способна локализовать пятно в рабочее время при скорости течения 0,3 м/с, в нерабочее время при скорости течения 0,1 м/с;

- на рубеже задержания № 3 – в рабочее время при скорости течения 0,4 м/с, в нерабочее время при скорости 0,2 м/с;

- на рубеже задержания № 4 – в рабочее время при скорости течения 0,6 м/с, в нерабочее время 0,3 м/с.

- на рубеже задержания № 5 – в рабочее время при скорости течения 0,8 м/с, в нерабочее время при скорости 0,4 м/с;

- на рубеже задержания № 6 – в рабочее время при скорости течения 1,0 м/с, в нерабочее время при скорости 0,5 м/с.

На основании типичных скоростей движения поверхностных вод даются предварительные рекомендации по выбору рубежа задержания в характерные периоды: межень, половодье и др.

Далее в ходе полевых рекогносцировочных работ выполняется поиск других возможных рубежей задержания, которые при исследовании картографического материала могли пропустить, производится осмотр уже намеченных рубежей, проводится оценка возможности доставки и разворачивания техники и персонала аварийной бригады. Осматривается русло реки на наличие растительности, камней, возможности использования плавсредств для установки боновых заграждений и др. По результатам проведенных полевых рекогносцировочных работ производится корректировка предварительно выбранных рубежей задержания нефтепродукта [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Спириденко, Л.М. Методика определения местоположения стационарных рубежей локализации и сбора нефти на реках / Л.М. Спириденко // Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта : сб. тез. VIII междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 25–28 нояб. 2014 г) ; редкол.: В.К. Липский [и др.]. – Новополоцк : ПГУ, 2014. – С. 134–136.
2. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. План по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов. Требования к содержанию, порядку разработки, согласования и утверждения : РД-13.020.40-КТН-177-13 : утв. 09.01.2014 ОАО «АК «Транснефть».
3. Защита окружающей среды при аварийных разливах нефти и нефтепродуктов. Основные правила и порядок выполнения работ : Стандарт организации : СТП 09100. 20001.004-2014. – Гомель, 2014. – 64 с.

Поступила 01.12.2016

THE CHOICE OF LINES OF DETENTION DURING EMERGENCY SPILLS ON THE TRUNK OIL PRODUCT PIPELINES

V. LIPSKI, L. SPIRIDENOK, A. KULBEI, A. YANUSHONAK, A. KISIALIOY

The problem of occurrence of an accident is considered, when several tens of thousands of tons of petroleum products can be released, which along watercourses can spread over considerable distances, including the territories of neighboring states and waters of the Baltic and Black Seas. The main criteria for choosing locations for the installation of detention lines for localization of the emergency exit of petroleum products at the transitions of the main oil product pipelines through water barriers are given.

Keywords: main pipeline, emergency spill of light oil products, underwater crossing, emergency spill location, detention lines, boom barriers.