

ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 502.2

DOI 10.52928/2070-1683-2023-35-3-81-87

ВЫБОР МЕСТОРАСПОЛОЖЕНИЯ РУБЕЖА ДЛЯ СБОРА НЕФТИ ПРИ ВОЗМОЖНОЙ АВАРИИ НА ПОДВОДНОМ ПЕРЕХОДЕ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА

канд. техн. наук, доц. А.Г. КУЛЬБЕЙ, канд. экон. наук, доц. С.В. БОСЛОВЯК,
канд. техн. наук, доц. В.В. ЯЛТЫХОВ, канд. техн. наук К.И. МАРКОВИЧ
(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой)

Статья посвящена обоснованию технических решений по выбору стационарного рубежа для сбора нефти для подводного перехода оператора магистральных нефтепроводов в Республике Беларусь. Для изучения ландшафтных условий территории, выбранной в качестве предполагаемого стационарного рубежа локализации и сбора нефти на реке, выполнена тахеометрическая съёмка местности. Результатом геодезических и гидрометрических работ явился топографический план местности с нанесёнными линиями высот сечения рельефа, в том числе дна водоёма, и гидроизотах скоростей течения водотока. Выбранный рубеж обеспечивает оптимальные условия для локализации возможного разлива нефти.

Ключевые слова: топографическая съёмка, гидрометрическая съёмка, система координат.

Введение. При возникновении аварии на магистральном нефтепроводе возможно попадание нефти в русло реки, после чего происходит её распространение по течению. При этом могут быть загрязнены достаточно протяженные участки русла и поймы, что представляет огромную экологическую проблему. С целью ограничения распространения нефти устанавливают боновые рубежи её задержания. Однако, в силу гидрологических причин, места для установки бонов не всегда подбираются верно, из-за чего боны могут не реализовать свою функцию по локализации нефтяного загрязнения.

Также необходимо учесть, что аварийно-восстановительная служба оператора магистрального нефтепровода (далее – АВС), которая будет устанавливать боновые ограждения, находится на значительном удалении как от места аварии, так и от того места, до которого успеет распространиться пятно нефти за время сбора АВС, её движения и разворачивания. При возникновении подобных аварий счёт идёт на минуты и нет возможности тратить время на поиск мест установки боновых ограждений.

Учитывая всё вышеизложенное, места для установки боновых ограждений, называемых рубежами для сбора нефти, необходимо определять заранее.

Основная часть. Исследование проведено по заказу организации-оператора магистральных нефтепроводов на территории Республики Беларусь для подводного перехода (далее – ПП) магистрального нефтепровода «Унеча-Полоцк» через реку Сож.

Для достижения поставленной цели необходимо последовательно выполнить следующие этапы:

- 1) расчёт минимальной зоны загрязнения;
- 2) картографический поиск;
- 3) рекогносцировка на местности и определение наилучшего рубежа;
- 4) топографическая и гидрометрическая съёмка;
- 5) анализ полученных данных.

Этап 1. Расчёт минимальной зоны загрязнения

Задача расчёта минимальной зоны загрязнения реки Сож при возможной аварии на ПП сводится к расчёту времени движения возможного нефтяного пятна по реке Сож и расчёту времени прибытия аварийно-восстановительной службы (АВС) для проведения мероприятий локализации нефтяного загрязнения с целью выявления минимального расстояния по руслу реки до точки их встречи.

Согласно СТП 09100.20001.003¹, для решения этой задачи нами была оценена скорость движения пятна нефти по наихудшим условиям. Также для расчёта времени прибытия АВС учитывалось время сбора АВС, время её движения и время разворачивания мероприятий по ликвидации нефтяного разлива, что позволило нам определить минимальную точку готовности АВС к приёму нефти.

Определим расстояние S , которое может пройти пятно нефти после попадания в реку при максимальной скорости течения потока:

$$S = 3,6 \cdot v_{max} \cdot T_{н.п.}, \quad (1)$$

где S – расстояние от места попадания нефти в реку до стационарного рубежа, км;

v_{max} – максимальная скорость течения на свободной поверхности воды, при паводке 1,5 м/с [1];

$T_{н.п.}$ – время движения нефтяного пятна, час. Время движения пятна нефти $T_{н.п.}$ согласно СТП 09100.20001.003 задается от 1 до 5 часов.

¹ СТП 09100.20001.003-2014. Стационарные рубежи локализации и сбора нефти на реках. Правила размещения, обустройства и эксплуатации.

Для расчёта минимальной зоны загрязнения построим график движения пятна нефти (рисунок 1).

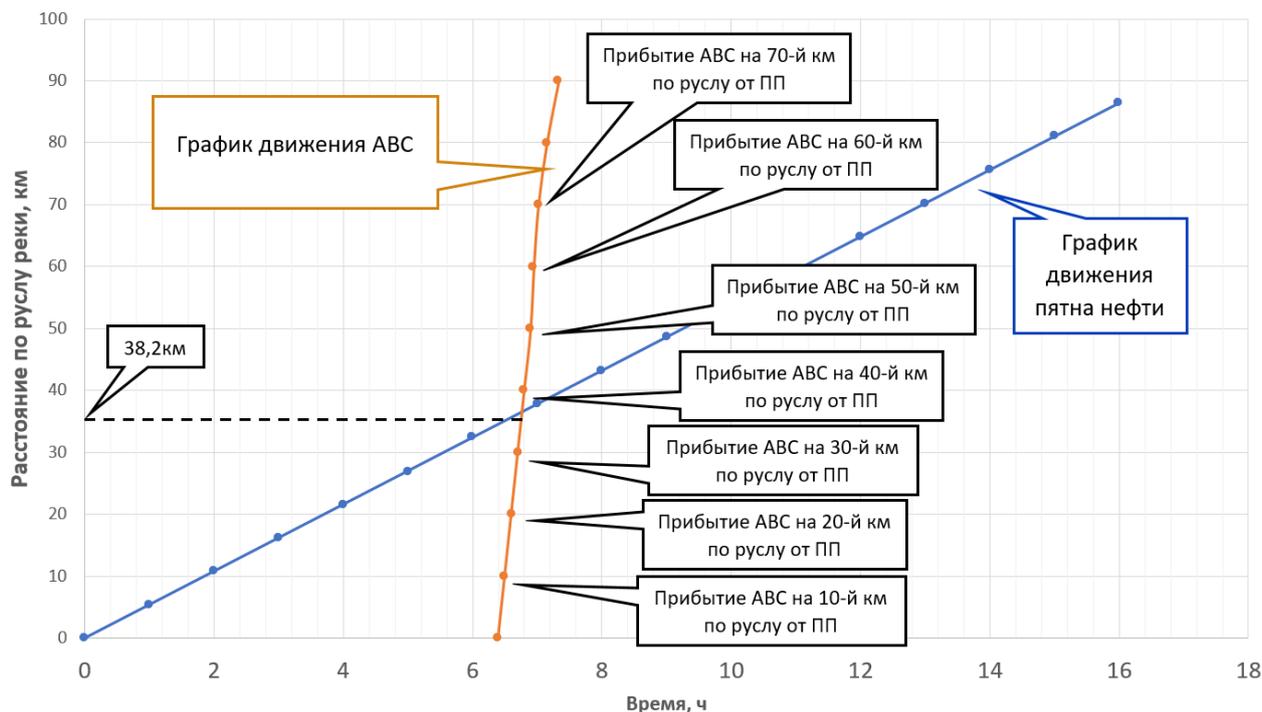


Рисунок 1. – Графики движения пятна нефти и АВС

Затем определяется ближайшая АВС, которая успеет прибыть и развернуться в расчетном месте подхода пятна нефти. При расчете время реагирования АВС находится по формуле:

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

где $T_{АВС}$ – время сбора, движения и разворачивания АВС, час;
 $T_{СБ}$ – время сбора АВС, час (принято 3 часа);
 $T_{ДВ}$ – время движения АВС, час;
 $T_{РАЗВ}$ – время разворачивания АВС, час (принято 1,5 часа).

Время движения АВС $T_{ДВ}$ будет зависеть от расстояния, которое нужно преодолеть бригаде, и от скорости, с которой бригада будет двигаться по дороге. Для этого:

- скорость движения АВС по дороге с асфальтовым покрытием принята 60 км/ч;
- скорость движения АВС по грунтовой (просёлочной) дороге принята 30–40 км/ч.

Так как место прибытия аварийной бригады для сбора нефти пока неизвестно, для построения графика прибытия АВС на место сбора нефти мы предусмотрели точки на берегу реки на расстоянии от ПП в 10 км, 20 км, 30 км и так далее. К каждому участку был выбран наиболее быстрый маршрут (по сайту www.google.com/maps), оценена протяжённость маршрута по дорогам с асфальтовым покрытием и без него и рассчитано время на прибытие АВС. Результаты расчёта представлены на рисунке 1.

Точка пересечения графиков и будет минимальным расстоянием по руслу реки от подводного перехода, где возможно остановить «голову» нефтяного пятна. По результатам проведенных расчётов это расстояние составило 38,2 км. Таким образом было определено минимальное расстояние, на котором АВС будет готова поймать пятно нефти.

Этап 2. Картографический поиск

Этап заключается в анализе спутниковой съёмки изучаемых участков и предварительном назначении возможных мест улавливания нефти. Нами была проанализирована ситуация по спутниковой съёмке и выбрано 12 предполагаемых площадок для аварийного сбора нефти. Все площадки проверены на соответствие требованиям ГОСТ 34881-2022².

Было оценено время выдвигания АВС на каждую из этих площадок и подготовлены краткие описания каждого из рубежей.

Например, для предполагаемого размещения рубежа при анализе спутниковой съёмки найдена площадка № 1 на расстоянии 39,3 км по руслу от подводного перехода. Для неё рассчитано время движения нефти в паводок (7 часов 16 минут) и в межень (18 часов). Расчётное время подъезда АВС составило 6 часов 48 минут.

² ГОСТ 34881-2022. Заграждения боновые стационарные для локализации разлива нефти и нефтепродуктов. – М.: Рос. ин-т стандартизации, 2022. – 26 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Index/78/78793.htm>.

Этап 3. Рекогносцировка на местности

Проведена рекогносцировка – выезд на местность для проверки данных картографических изысканий. В результате проверки рубежей выявлено следующее.

К рубежу № 1 отсутствует подъезд. Рубеж находится на расстоянии 39,3 км от подводного перехода по руслу реки.

В ходе анализа рубежа № 2 было установлено, что он является наиболее удобным для подъезда и разворачивания аварийных бригад. На основании характеризующих данных этого рубежа, в дальнейшем проводились топографическая съёмка, гидрометрические измерения, измерения скорости воды по имеющемуся уровню воды и измерения глубин реки. Площадка № 2 имеет ровную территорию, удобную для расположения оборудования и разворота техники, несколько спусков к воде. Имеется повышение в сторону деревни, которое, предположительно, не затопливается в паводок.

Территория возле площадки № 3 является курганным могильником IX–XII века. Во время паводка подъезд к площадке № 3 будет затоплен. С гидрологической точки зрения месторасположение рубежа подобрано верно.

Подъезд к площадке № 4 затруднен, на дороге наблюдаются эрозионные процессы. Берега крутые, подмываемые. Затруднена установка якорей на противоположном берегу.

Площадка № 5 при рекогносцировке исключена из рассмотрения ввиду того, что рубеж будет находиться на противоположном берегу реки Сож по отношению к избранному для движения аварийной колонны маршруту, а в данный момент идет реконструкция моста через реку Сож в городе Чериков. Проезд возможен только через понтонную переправу.

Площадку № 6 можно использовать как резервную. Она приемлема по всем критериям. На рубеже находится брод, вследствие чего малые глубины позволяют в межень перемещаться на противоположный берег. Рядом находится деревня. Уступает площадке № 2 только по расстоянию от подводного перехода.

Подъезд к площадке № 7 тянется по пойме реки и затопливается в паводок. Крутые берега затрудняют спуск плавсредств и установку бонов. Берег подмывается, обнаружены следы незавершённого меандрирования реки.

Подъезд к площадке № 8 также тянется по пойме реки и затопливается в паводок. Крутые берега затрудняют спуск плавсредств и установку бонов. Берег подмывается, обнаружены следы незавершённого меандрирования реки.

На площадки №№ 9–12 принято решение не выезжать в связи с обнаружением заведомо лучших вариантов, а также высокой удаленности данных рубежей от подводного перехода.

Этап 4. Топографическая и гидрометрическая съёмка

4.1. Проведение топографической съёмки

Основной целью геодезических работ являлось создание топографического плана для наиболее перспективного рубежа № 2 масштаба 1:500 с высотой сечения рельефа 0,5 метров территории, выбранной в качестве предполагаемого стационарного рубежа локализации и сбора нефти на реке. Местоположение объекта – площадка на реке Сож, расположенная рядом с деревней Мирогощ (рисунок 2). Топографический план создан на основании результатов тахеометрической съёмки. Объём выполненных работ составил 10,6 га.



Рисунок 2. – Территория, на которой выполнялась топографическая съёмка

В связи с отсутствием как на территории выбранного стационарного рубежа, так и поблизости исходной геодезической основы было принято решение определить GNSS-методами пункты, впоследствии являющиеся исходными для развития съемочного обоснования. Для определения исходных пунктов съемочного обоснования использовалась спутниковая сеть точного позиционирования Республики Беларусь (ССТП)³. Определение исходных пунктов съемочного обоснования выполнено с использованием спутникового двухчастотного GNSS-оборудования Trimble R8 в режиме RTK (Real Time Kinematic), что допускается согласно СН 1.02.09-2019 «Инженерные изыскания для строительства»⁴. Для пересчета геодезических высот в нормальные использовалась модель геоида EGM2008.

Пункты, являющиеся исходными для развития съемочного обоснования, представлены на территории стационарного рубежа в виде 2-х заложённых на глубину 60–70 сантиметров временных реперов, вокруг которых выполнена окопка (рисунок 3). Координаты данных пунктов определены в системе геодезических координат ITRF2005 (таблица 1), а также в проективной системе координат СК-63, отметки пунктов представлены в Балтийской системе высот 1977-го года (см. таблицу 1).

Таблица 1. – Геодезические координаты исходных пунктов съемочного обоснования

№ репера	ITRF2005		
	B°	L°	H, м
Рп № 1	53,5340392694	31,3439037306	154,943
Рп № 2	53,5352983667	31,3457196056	154,798



а



б

а – окопка репера; *б* – репер

Рисунок 3. – Временный пункт, являющийся исходным для развития съемочного обоснования

Съемочная геодезическая сеть создана путем проложения теодолитного хода. Отметки пунктов съемочной геодезической сети определены методом тригонометрического нивелирования в прямом и обратном направлениях, что допускается согласно п.5.6.30 СН 1.02.09-2019⁵.

Угловые и линейные измерения произведены высокоточным электронным тахеометром Leica TCR1201 1'' № 217577, прошедшим в установленном порядке государственную поверку средств измерений. Метрологическое обеспечение средств измерений соответствует требованиям технических нормативных правовых актов. В качестве системы координат использована СК-63. Отметки пунктов определены в Балтийской системе высот 1977 г.

Съемка всей территории производилась высокоточным электронным тахеометром Leica TCR1201 1'' № 217577 полярным способом с точек съемочной геодезической сети.

Вычерчивание инженерно-топографического плана произведено согласно ТКП 45-1.02-293-2015 (02250) «Инженерные изыскания для строительства. Условные обозначения для инженерно-топографических планов

³ Технологическая инструкция по использованию глобальных навигационных спутниковых систем при выполнении работ по технической инвентаризации и проверке характеристик недвижимого имущества / ГУП «Национальное кадастровое агентство». – Минск, 2018.

⁴ СН 1.02.09-2019. Инженерные изыскания для строительства. – Минск, 2020. URL: <https://stroostandart.info/index.php?name=files&op=view&id=5350>.

⁵ См. сноску 4.

масштабов 1:1000, 1:500, 1:200»⁶. Инженерно-геодезические работы выполнены в соответствии с требованиями «Строительных норм Республики Беларусь» (СН 1.02.09-2019).

Схема съёмочной геодезической сети представлена на рисунке 4, а технические характеристики – в таблицах 2, 3.

Таблица 2. – Технические характеристики плановой съёмочной геодезической сети

Теодолитный ход					
Точки хода от.....до	Длина, км	Кол-во углов	Невязка угловая, мин.	Допустимая угловая невязка, мин.	S/Fs
Рп №1...Рп №2	0,501	6	0,4	2,4	4175

Примечание.

– Допустимая угловая невязка вычислена по формуле (согласно СН 1.02.09-2019)

$$f_B = 1' \cdot \sqrt{n}, \quad (3)$$

где n – число углов в ходе.

– Обработка плановых измерений выполнена в программном комплексе Credo-DAT.

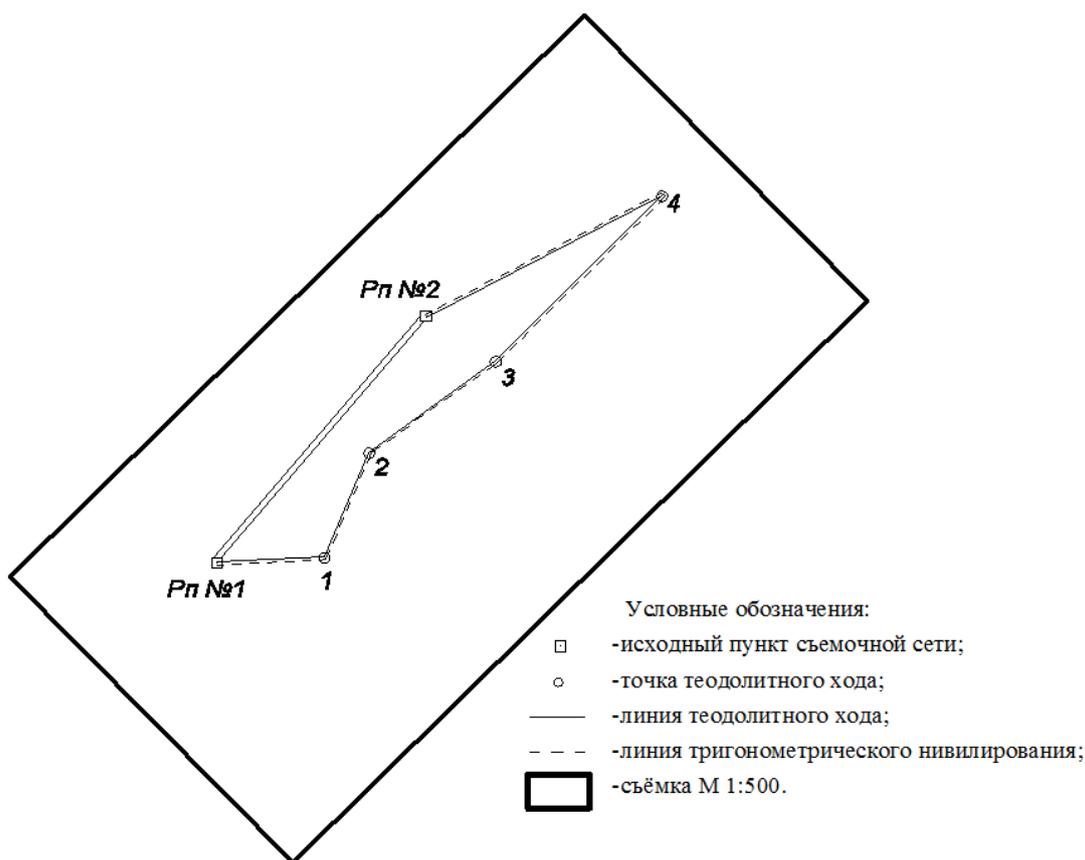


Рисунок 4. – Схема съёмочной геодезической сети

Таблица 3. – Технические характеристики высотной съёмочной геодезической сети

Ход тригонометрического нивелирования			
№ начальной и конечной точки хода	Длина хода, км	Высотные невязки	
		Фактическая, мм	Допустимая, мм
Рп №1...Рп №2	0,501	39	±91

Примечание.

– Допустимая невязка хода тригонометрического нивелирования вычислена по формуле (согласно СН 1.02.09-2019)

$$f_h = 0,04 \cdot S / 100 \cdot \sqrt{n}, \quad (4)$$

⁶ ТКП 45-1.02-293-2015 (02250). Инженерные изыскания для строительства. Условные обозначения для инженерно-топографических планов масштабов 1:1000, 1:500, 1:200. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2014. – 137 с.

где S – длина хода;
 n – число сторон хода.
 – Обработка высотных измерений выполнена в программном комплексе Credo-DAT.

4.2. Проведение гидрометрической съёмки

Проведение гидрометрической съёмки осуществлялось с поверхности воды. Для промеров поверхностной скорости течения использовалась гидрометрическая вертушка ГМЦМ-1, для промера глубин – телескопически раскладывающиеся гидрометрические рейки. Промерные работы были выполнены по 4 створам.

С поверхности воды промерные работы осуществлялись при помощи плавательного средства – надувного туристического катамарана модели «Кубань (Кулик-2)» (рисунок 5).



a

б

a – катамаран, оснащённый якорем; *б* – проведение измерений

Рисунок 5. – Проведение гидрометрических работ

Графическое представление результатов геодезических и гидрометрических работ приведено на рисунке 6.

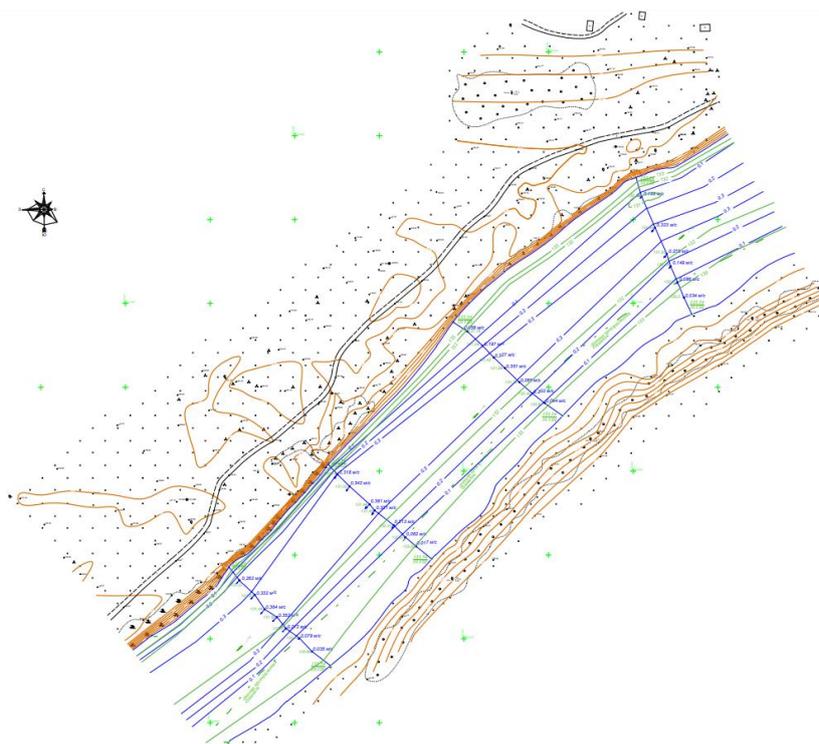


Рисунок 6. – Результаты топографической и гидрологической съёмки

Заключение. Выбранный рубеж возле д. Мирогошь на расстоянии 43,4 км по руслу от подводного перехода магистрального нефтепровода «Унеча-Полоцк» обеспечивает хорошие условия для локализации возможного разлива нефти.

Аварийно-восстановительная служба оператора магистрального нефтепровода будет иметь запас времени на сбор, движение и разворачивание:

- расчётное время готовности АВС к локализации разлива: 6 часов 48 минут;
- расчётное время движения нефти: в паводок: 8 часов, в межень: 20 часов.

Площадка рубежа ровная, открытая. Растительность минимальная. Противоположный берег реки удобен для расположения оттягивающих якорей. Меандрирование реки слабое, что позволит использовать площадку несколько десятилетий. В меженный период площадка имеет два варианта подъезда (при условии ремонта грунтовых дорог).

Немаловажным является и тот факт, что обоснованный в данном исследовании рубеж для сбора нефти расположен выше по течению реки Сож от биологического заказника «Чериковский». Это позволяет создать надежную защиту земель данного заказника при аварийном разливе нефти на подводном переходе магистрального нефтепровода «Унеча-Полоцк».

ЛИТЕРАТУРА

1. Блакітная кніга Беларусі: (водныя аб'екты Беларусі): энцыкл. / Н.А. Дзісько, М.М. Курловіч, Я.В. Малашэвіч і інш. – Мінск: БелЭн, 1994. – 415 с.

REFERENCES

1. Dzis'ko, N.A., Kurlovich, M.M., Malashevich, Ya.V. & Zagarodni, V.G. (1994). *Blakitnaya kniga Belarusi: (vodnaya ab'ekty Belarusi): entsykl.* Minsk: BelEn. (In Belarus.).

Поступила 08.11.2023

SELECTION OF A BOARD LOCATION FOR OIL COLLECTION IN THE EVENT OF A POSSIBLE ACCIDENT AT THE UNDERWATER OIL PIPELINE CROSSING

A. KULBEI, S. BOSLOVYAK, V. YALTYHOV, K. MARKOVICH
(*Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk*)

The article is devoted to the substantiation of technical solutions for choosing a stationary line for collecting oil for an underwater crossing of an operator of main oil pipelines in the Republic of Belarus. To study the landscape conditions of the territory selected as the proposed stationary boundary for the localization and collection of oil on the river, a tacheometric survey of the area was carried out. The result of geodetic and hydrometric works was a topographic plan of the area with plotted elevation lines of the relief section, including the bottom of the river, and hydroisotates of the watercourse flow velocities. The selected boundary provides optimal conditions for localizing a possible oil spill.

Keywords: *topographic survey, hydrometric survey, coordinate system.*