

МАЦЕНКО Сергей Валентинович **МОНОГРАФИЯ**

**МАЦЕНКО**  
**Сергей Валентинович**



**МОНОГРАФИЯ**

Расчётно-аналитические методы определения  
количественного и качественного состава сил и средств  
для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов  
в морских портах и на открытых акваториях



Новороссийск  
2017



Акционерное общество  
*Южный научно-исследовательский  
и проектно-конструкторский  
институт морского флота*

**Расчётно-аналитические методы определения  
количественного и качественного состава сил и средств  
для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов в  
морских портах и на открытых акваториях**

**МАЦЕНКО Сергей Валентинович**

кандидат технических наук,  
генеральный директор АО «ЮжНИИМФ»

*МОНОГРАФИЯ*

Новороссийск  
2017

**ББК 39.49**  
**УДК 628.196: 502.5(26): 349.6**  
**М38**

**Маценко, С.В.**

М38 Расчётно-аналитические методы определения количественного и качественного состава сил и средств для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов в морских портах и на открытых акваториях [Текст] / С.В. Маценко. – Новороссийск: ЮжНИИМФ, 2017. – 476 с.: ил.

ISBN 978-5-6040522-0-4

В книге рассматривается существующая классификация оборудования по ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на морских акваториях, а также классификация и характеристики специализированных судов, применяемых для проведения соответствующих аварийно-спасательных операций. Проводится критический анализ классификационных методов и на основании результатов анализа вводится собственная классификация, учитывающая все особенности аварийно-спасательных средств, применяемых для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на морских акваториях Российской Федерации. Приведены основные характеристики сырой нефти и нефтепродуктов и выполнен анализ существующей международной классификации.

Приводится описание и обоснование оригинального авторского способа классификации разливов нефти и нефтепродуктов, основанного на результатах анализа экологического риска таких разливов. Разработанный способ классификации позволяет привести результаты расчётов необходимых сил и средств в соответствие с прогнозируемыми последствиями разливов нефти и нефтепродуктов.

Приводится описание и основные расчётные алгоритмы для определения количественного и качественного состава сил и средств (персонала аварийно-спасательных формирований и специализированного оборудования) для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на море. Отдельно приводится впервые разработанный расчётный алгоритм определения количественного и качественного состава сил и средств, предназначенных для тушения на морской поверхности разлитой нефти или нефтепродуктов в случаях их возгорания. Пример расчёта сил и средств для оснащения нефтяного терминала приводится в приложении.

Книга предназначена для инженерно-технических работников предприятий и организаций морской отрасли, бункеровочных и судоходных компаний, служащих государственных контрольно-надзорных органов в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, разработчиков планов по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на морских объектах, курсантов и студентов морских образовательных организаций.

ББК 39.49  
УДК 628.196: 502.5(26): 349.6

По вопросам приобретения книги просим обращаться непосредственно в АО «ЮжНИИМФ» по адресу:  
353900, Краснодарский край, г. Новороссийск,  
ул. Революции 1905 г. / Набережная им. адм. Л.М. Серебрякова, д. № 1/5  
тел./факс: (8617) 60-12-14  
E-mail: [institute@ujniimf.ru](mailto:institute@ujniimf.ru) ; [institute@южниимф.рф](mailto:institute@южниимф.рф)

**Исключительные права принадлежат АО «ЮжНИИМФ». Никакая часть данной книги не может быть скопирована или воспроизведена без письменного разрешения АО «ЮжНИИМФ»**

# Оглавление

<b>Введение .....</b>	<b>8</b>
Цели и задачи работы.....	8
Нормативно-правовая основа для разработки.....	11
Международные соглашения, стороной которых является Российская Федерация .....	11
Федеральные законы и нормативные акты Правительства РФ .....	11
Ведомственные нормативные акты, приказы министерств и ведомств РФ .....	12
Нормативно-техническая документация .....	13
Основные термины и определения .....	14
Принятая терминология .....	14
Список использованных сокращений .....	19
Список принятых буквенных обозначений и единиц измерения.....	22
<b>1 Принятая классификация и её обоснование .....</b>	<b>27</b>
<b>1.1 Морские районы .....</b>	<b>28</b>
1.1.1 Обоснование классификации морских районов.....	28
1.1.1.1 Виды морских районов применительно к операциям по ЛРН.....	28
1.1.1.2 Понятие портовой и другой ограниченной акватории .....	29
1.1.1.3 Понятие прибрежных вод в пределах границ внутренних морских вод и территориального моря Российской Федерации.....	31
1.1.1.4 Понятие открытого моря в пределах прилегающей зоны и континентального шельфа РФ, а также в пределах района ответственности РФ, установленных в соответствии с МК БЗНС-90.....	33
1.1.2 Портовые и другие ограниченные акватории .....	35
1.1.2.1 Основные характеристики разливов нефти в портовых и ограниченных акваториях .....	35
1.1.2.2 Применяемые методы ликвидации разливов нефтяных загрязнений .....	39
1.1.3 Прибрежные воды в пределах границ внутренних морских вод и территориального моря РФ .....	45
1.1.3.1 Основные характеристики разливов нефти в прибрежных водах .....	45
1.1.3.2 Применяемые методы ликвидации разливов нефтяных загрязнений .....	52
1.1.3.3 Восстановительные мероприятия.....	55
1.1.4 Открытое море в пределах прилегающей зоны и континентального шельфа РФ, а также в пределах района ответственности РФ, установленных в соответствии с МК БЗНС-90 .....	56
1.1.4.1 Основные характеристики разливов нефти на открытых морских акваториях .....	56
1.1.4.2 Применяемые методы ликвидации разливов нефтяных загрязнений .....	57
<b>1.2 Аварийно-спасательные средства .....</b>	<b>61</b>
1.2.1 Классификация боновых заграждений .....	61
1.2.1.1 Руководство ИМО по ликвидации нефтяного загрязнения. Часть IV – Борьба с разливами нефти (Manual on oil pollution. Section IV – Combating oil spills).....	61
1.2.1.2 РД 31.4.01-99 «Средства ликвидации разливов нефти в море» .....	62
1.2.1.3 Классификация боновых заграждений по версии Международной федерации владельцев танкеров ИТОРФ .....	63
1.2.1.4 Результаты анализа и обобщения различных видов классификаций .....	63
1.2.2 Классификация нефтесборных систем (скиммеров).....	72
1.2.2.1 Руководство ИМО по ликвидации нефтяного загрязнения. Часть IV – Борьба с разливами нефти (Manual on oil pollution. Section IV – Combating oil spills).....	72
1.2.2.2 РД 31.4.01-99 «Средства ликвидации разливов нефти в море» .....	73
1.2.2.3 Классификация нефтесборных устройств по версии Международной федерации владельцев танкеров ИТОРФ .....	75
1.2.2.4 Другие виды классификаций .....	76
1.2.2.5 Результаты анализа и обобщения различных видов классификаций .....	76
1.2.3 Классификация судов и плавсредств для локализации и ликвидации ЧС(Н).....	82
1.2.4 Классификация ёмкостей для сбора образующихся отходов .....	90
1.2.4.1 По версии Международной федерации ИТОРФ .....	90
1.2.4.2 По версии ООО «Лессорб» .....	95
1.2.4.3 По версии компании DESMI.....	99
1.2.4.4 По версии компании GRINTEC .....	103
1.2.4.5 По версии компании NEW NAVAL .....	105
1.2.4.6 По версии компании VIKOMA.....	107
1.2.4.7 Плавающие ёмкости повышенной вместимости компании EXPANDI .....	110
1.2.4.8 По версии Международной морской организации ИМО .....	113
1.2.4.9 Результаты анализа и обобщения различных видов классификаций .....	114
1.2.5 Состав и классификация оборудования для защиты и очистки береговой полосы.....	117
1.2.5.1 Ликвидация нефти на береговой полосе по версии Международной ассоциации представителей нефтяной промышленности по охране окружающей среды (IPIECA) .....	117

1.2.5.2	Защита и очистка береговой полосы по версии Международной федерации владельцев танкеров ITOPF 125	
1.2.5.3	Результаты анализа и обобщения различных видов классификаций	147
1.2.6	Классификация средств обнаружения разливов нефти и нефтепродуктов, наблюдения и прогнозирования их перемещения и характеристик состояния	150
1.2.6.1	Контактные методы обнаружения нефтеразливов	151
1.2.6.2	Неконтактные методы обнаружения нефтеразливов	152
1.2.6.3	Анализ современных технических средств обнаружения нефтеразливов	168
<b>1.3</b>	<b>Уровни разлива нефти и нефтепродуктов</b>	<b>177</b>
1.3.1	Оценка и анализ экологического риска	177
1.3.1.1	Классификация по количеству разлитой нефти	177
1.3.1.2	Вероятность возникновения аварии	178
1.3.1.3	Время начала реагирования на разлив нефти и нефтепродуктов	179
1.3.1.4	Назначенное время наращивания сил и средств в зоне проведения работ	180
1.3.1.5	Назначенное время ликвидации разлива нефти и нефтепродуктов	180
1.3.1.6	Гидрометеорологические условия, предельные по условиям эксплуатации аварийного объекта	181
1.3.1.7	Определение уровня разлива нефти и нефтепродуктов с учётом различных факторов риска	181
1.3.2	Первый уровень разлива	186
1.3.2.1	Объектовый (локальный) уровень действия РСЧС	186
1.3.2.2	Объектовый (портовый) уровень действия РСЧС	186
1.3.3	Второй уровень разлива	187
1.3.3.1	Региональный уровень действия РСЧС	187
1.3.3.2	Межрегиональный уровень действия РСЧС	188
1.3.4	Третий уровень разлива	189
1.3.4.1	Федеральный уровень действия РСЧС	189
1.3.4.2	Международное взаимодействие	190
<b>1.4</b>	<b>Классификация нефти и нефтепродуктов</b>	<b>191</b>
1.4.1	Основные химические свойства нефти	192
1.4.1.1	Углеводородная часть	192
1.4.1.2	Асфальто-смолистая часть	195
1.4.1.3	Порфириновая часть	196
1.4.1.4	Сернистая часть	196
1.4.1.5	Зольная часть	197
1.4.2	Основные физические свойства нефти	198
1.4.2.1	Плотность нефти	198
1.4.2.2	Вязкость нефти	199
1.4.2.3	Температура кипения отдельных фракций	200
1.4.2.4	Давление насыщенных паров	201
1.4.2.5	Температуры вспышки, воспламенения и самовоспламенения	201
1.4.2.6	Температура застывания, помутнения и начала кристаллизации	202
1.4.2.7	Диэлектрические свойства	203
1.4.2.8	Оптические свойства	203
1.4.2.9	Растворимость и растворяющая способность	204
1.4.3	Применяемая в МР классификация	205
<b>2</b>	<b>Математическое моделирование разливов нефти и нефтепродуктов</b>	<b>209</b>
<b>2.1</b>	<b>Обобщённые сведения о поведении нефти в море</b>	<b>210</b>
2.1.1	Основные процессы, происходящие с нефтью при попадании на поверхность воды	210
2.1.1.1	Растекание	210
2.1.1.2	Испарение	211
2.1.1.3	Растворимость нефти в воде	212
2.1.1.4	Эмульгирование	213
2.1.1.5	Растворение	215
2.1.1.6	Воздействие на донную среду	215
2.1.1.7	Осаждение	216
2.1.2	Влияние внешних факторов на скорость разлива нефти с учётом величины разлива	219
2.1.2.1	Влияние скорости ветра на характеристики нефтяного пятна	219
2.1.2.2	Влияние скорости течения	222
2.1.2.3	Влияние высоты волны на изменение основных параметров пятна нефти	224
2.1.2.4	Влияние температуры воды, воздуха, радиационного облучения и скорости ветра на структурное изменение разлитой нефти и испарение	224
<b>2.2</b>	<b>Физические принципы моделирования жидкой идеальной среды</b>	<b>225</b>
2.2.1	Применяемые методы изучения движения жидкой среды	225

2.2.1.1	Эйлеров и Лагранжев подход .....	225
2.2.1.2	Метод частиц в ячейках .....	225
2.2.2	Основные уравнения гидродинамики .....	227
2.2.2.1	Закон сохранения массы (уравнение неразрывности) .....	227
2.2.2.2	Закон сохранения импульса (уравнение Эйлера) .....	231
<b>2.3</b>	<b>Распространение нефти .....</b>	<b>232</b>
2.3.1	Траекторная модель .....	232
2.3.1.1	Описание модели .....	232
2.3.1.2	Описание алгоритма .....	237
2.3.1.3	Настройка модели .....	241
2.3.2	Изменение свойств нефти .....	244
2.3.2.1	Расчёт испарения .....	244
2.3.2.2	Расчёт изменения вязкости нефти .....	247
<b>2.4</b>	<b>Взаимодействие нефти с морской средой .....</b>	<b>249</b>
2.4.1	Диспергирование .....	249
2.4.1.1	Естественное диспергирование .....	249
2.4.1.2	Обратное диспергирование .....	251
2.4.1.3	Химическое диспергирование .....	256
2.4.2	Эмульсификация .....	258
2.4.2.1	Описание модели .....	258
2.4.2.2	Описание алгоритма .....	258
2.4.3	Истечение нефти из подводных источников .....	260
2.4.3.1	Подводный разлив .....	260
2.4.3.2	Математическая модель всплывания нефти .....	262
2.4.3.3	Алгоритм расчёта .....	266
2.4.3.4	Горизонтальное перемещение нефти .....	268
2.4.3.5	Растекание всплывшей нефти по поверхности воды .....	270
2.4.4	Взаимодействие со льдом .....	273
2.4.4.1	Распространение в условиях битого льда .....	273
2.4.4.2	Распространение нефти под ледовым покрытием .....	275
2.4.4.3	Модель поведения нефти в присутствии льда .....	276
2.4.4.4	Особенности реализации модели .....	278
2.4.5	Проверка адекватности математической модели .....	281
2.4.5.1	Тестовые задачи для настройки модели .....	281
2.4.5.2	Задача о масштабировании пятна .....	283
<b>2.5</b>	<b>Взаимодействие нефти с внешними факторами .....</b>	<b>287</b>
2.5.1	Горение нефти на поверхности воды .....	287
2.5.1.1	Скорость горения .....	287
2.5.1.2	Описание алгоритма .....	288
2.5.1.3	Суррогатный алгоритм .....	289
2.5.2	Использование оборудования по локализации и сбору нефти .....	291
2.5.2.1	Использование бонов .....	291
2.5.2.2	Использование скиммеров и сорбентных материалов .....	292
<b>2.6</b>	<b>Определение расчётных характеристик нефтяных полей, полученных с помощью математического моделирования .....</b>	<b>294</b>
2.6.1	Определение условий наибольшего растекания для нефтепродуктов .....	296
2.6.1.1	Первая группа .....	296
2.6.1.2	Вторая группа .....	297
2.6.1.3	Третья группа .....	299
2.6.1.4	Четвертая группа .....	300
2.6.2	Определение условий наибольшего растекания для сырой нефти .....	302
2.6.2.1	Первая группа .....	302
2.6.2.2	Вторая группа .....	303
2.6.2.3	Третья группа .....	305
2.6.2.4	Четвертая группа .....	307
2.6.3	Выводы по результатам моделирования .....	309
<b>3</b>	<b>Порядок расчёта достаточного состава сил и средств для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на морских акваториях .....</b>	<b>311</b>
<b>3.1</b>	<b>Базовые принципы проведения расчётов .....</b>	<b>312</b>
<b>3.2</b>	<b>Портовые и другие ограниченные акватории .....</b>	<b>315</b>
3.2.1	Перечень исходных данных, необходимых для расчёта .....	315

3.2.2	Определение типа и расчёт количества боновых заграждений.....	317
3.2.3	Определение типа и количества нефтесборных систем.....	320
3.2.3.1	Расчёт суммарной производительности сбора разлитой нефти.....	320
3.2.3.2	Расчёт количества и производительности нефтесборных систем.....	321
3.2.4	Определение количества и вместимости ёмкостей для размещения отходов.....	326
3.2.4.1	Расчёт количества образующихся отходов.....	326
3.2.4.2	Расчёт количества и вместимости ёмкостей для размещения образующихся отходов.....	327
3.2.5	Определение количества транспортных средств.....	331
3.2.5.1	Расчёт количества привлекаемых плавсредств (судов).....	331
3.2.5.2	Расчёт количества привлекаемых автотранспортных средств.....	332
<b>3.3</b>	<b>Прибрежные воды в пределах границ внутренних морских вод и территориального моря РФ</b>	<b>333</b>
3.3.1	Перечень исходных данных, необходимых для расчёта.....	333
3.3.2	Определение типа и расчёт количества боновых заграждений.....	335
3.3.2.1	Каскадная постановка боновых заграждений.....	335
3.3.2.2	Расчёт количества рубежей локализации и подбор типа применяемых боновых заграждений.....	339
3.3.3	Определение типа и расчёт количества нефтесборных систем.....	345
3.3.3.1	Расчёт суммарной производительности сбора разлитой нефти.....	345
3.3.3.2	Расчёт количества и производительности нефтесборных систем.....	345
3.3.4	Определение количества и вместимости ёмкостей для размещения отходов.....	347
3.3.4.1	Расчёт количества образующихся отходов.....	347
3.3.4.2	Расчёт количества и вместимости ёмкостей для размещения образующихся отходов.....	347
3.3.5	Определение состава и количества оборудования для очистки загрязнённой береговой полосы.....	350
3.3.5.1	Нормативно-правовые требования к эффективности мероприятий по очистке загрязнённой береговой полосы	350
3.3.5.2	Расчёт количества оборудования для защиты и очистки берега.....	352
3.3.5.3	Расчёт необходимого количества сорбентов.....	352
3.3.6	Определение количества транспортных средств.....	357
3.3.6.1	Расчёт количества привлекаемых плавсредств (судов) и якорных систем для удержания бонов.....	357
3.3.6.2	Расчёт количества привлекаемых автотранспортных средств.....	360
<b>3.4</b>	<b>Открытое море в пределах прилегающей зоны и континентального шельфа РФ, а также в пределах района ответственности РФ, установленных в МК БЗНС-90.....</b>	<b>361</b>
3.4.1	Перечень исходных данных, необходимых для расчёта.....	361
3.4.2	Определение типа и расчёт количества боновых заграждений.....	363
3.4.2.1	Расчёт количества рубежей локализации и подбор типа применяемых боновых заграждений.....	363
3.4.2.2	Боновые заграждения в составе систем траления нефти.....	365
3.4.3	Определение типа и расчёт количества нефтесборных систем.....	367
3.4.3.1	Расчёт суммарной производительности сбора разлитой нефти.....	367
3.4.3.2	Расчёт количества и производительности нефтесборных систем.....	367
3.4.4	Определение количества и вместимости ёмкостей для размещения отходов.....	371
3.4.4.1	Расчёт количества образующихся отходов.....	371
3.4.4.2	Расчёт количества и вместимости ёмкостей для размещения образующихся отходов.....	371
3.4.5	Определение состава и количества оборудования для очистки загрязнённой береговой полосы.....	374
3.4.5.1	Расчёт количества средств для очистки береговой полосы.....	374
3.4.5.2	Расчёт необходимого количества сорбентов.....	374
3.4.6	Определение количества транспортных средств.....	375
3.4.6.1	Расчёт количества привлекаемых плавсредств (судов).....	375
3.4.6.2	Расчёт количества привлекаемых автотранспортных средств.....	375
<b>3.5</b>	<b>Расчёт оборудования для тушения пожара на морской акватории.....</b>	<b>376</b>
3.5.1	Общие указания по тушению разлитой нефти на поверхности моря.....	376
3.5.1.1	Процесс горения нефти на морской поверхности.....	376
3.5.1.2	Огнетушащие вещества.....	379
3.5.1.3	Способы тушения.....	387
3.5.1.4	Действия судна, оказавшегося в районе горения нефти и нефтепродуктов.....	388
3.5.2	Порядок расчёта достаточности сил и средств для пожаротушения.....	390
3.5.2.1	Применяемые средства пожаротушения.....	390
3.5.2.2	Расчёт характеристик системы пенотушения.....	391
3.5.2.3	Расчёт характеристик системы порошкового пожаротушения.....	393
3.5.2.4	Расчёт характеристик системы водотушения.....	394
3.5.2.5	Сведение результатов расчёта достаточности сил и средств для пожаротушения.....	396
<b>3.6</b>	<b>Расчёт количества численности личного состава, средств защиты и снаряжения.....</b>	<b>398</b>
3.6.1	Условия расчёта численности спасателей.....	398
3.6.2	Комплектация средствами защиты и рабочим снаряжением.....	400

3.6.3 Средства обнаружения и наблюдения разливов нефти и нефтепродуктов .....	404
3.6.3.1 Применяемые методы и технические средства обнаружения и наблюдения.....	404
3.6.3.2 Система отображения информации и результатов наблюдения .....	404
<b>Выводы.....</b>	<b>406</b>
<b>Приложения .....</b>	<b>407</b>
<b>Приложение 1. Материалы по выполнению исследований разливов нефтепродуктов и сырой нефти с помощью математической модели .....</b>	<b>408</b>
Результаты изучения зависимостей площади растекания нефтяного пятна на морской поверхности от угла между векторами ветра и течения.....	409
Копии паспортов качества нефтепродуктов, показавших наибольшую площадь растекания при моделировании, характеристики которых применялись в исследовании.....	421
Неэтилированный бензин АИ-92-4 .....	421
Дизельное топливо Л-0,2-62 .....	422
Судовое топливо ISO-F-RMG-380.....	423
Топливо судовое маловязкое, вид II .....	424
<b>Приложение 2. Пример расчёта с помощью Методических рекомендаций достаточного состава сил и средств для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на морских акваториях.....</b>	<b>425</b>
Расчёт достаточного количества сил и средств для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на нефтяном терминале .....	426
Оценка и анализ экологического риска .....	426
Перечень исходных данных, необходимых для расчёта.....	427
Определение типа и расчёт количества боновых заграждений.....	429
Определение типа и расчёт количества нефтесборных систем .....	430
Определение количества и вместимости ёмкостей для размещения отходов.....	432
Определение состава и количества оборудования для очистки загрязнённой береговой полосы .....	434
Определение количества транспортных средств .....	435
Расчёт оборудования для тушения пожара на морской акватории .....	436
Расчёт количества личного состава, средств защиты и снаряжения.....	439
Сводные таблицы комплектации персоналом и техническими средствами для ликвидации разлива нефти и нефтепродуктов межрегионального уровня.....	442
Расчётные параметры нефтяных полей для сырой нефти.....	459
Сырая нефть первой группы.....	459
Сырая нефть второй группы.....	462
Сырая нефть третьей группы .....	464
Сырая нефть четвёртой группы .....	466
<b>Приложение 3. Библиография .....</b>	<b>468</b>



Подписано в печать 25.12.2017. Формат 69×90/8. Усл. печ. л. 25,7.

Печать цифровая. Тираж – 250 экз.

Отпечатано в ООО «Новороссийская типография»

353900, г. Новороссийск, ул. Свободы, д. 16

тел. +7 (8617) 64-41-54, +7 989 800-08-80

[www.novorosprint.ru](http://www.novorosprint.ru)