

5. Андрианов Е. Н. Особенности проектирования приводов грузоподъемных машин / Е. Н. Андрианов, А. Н. Иванов, С. Н. Федотов // Вестник ИНЖЭКОНа. Сер.: Технические науки. — 2007. — Вып. № 6 (19). — С. 102–112.
6. Андрианов Е. Н. Резервы грузоподъемных машин / Е. Н. Андрианов, А. Н. Иванов, С. Н. Федотов. // Тр. Междунар. науч.-техн. конф. — 2006.
7. Курлов Б. А. Расшифровка цилиндрических и конических зубчатых передач / Б. А. Курлов. — М.: Машиностроение, 1972. — 136 с.
8. Андрианов Е. Н. Определение на АВМ нагрузок механизма передвижения портального крана КПП 16-32 / Е. Н. Андрианов // Тр. ЛИВТа. — 1982. — Вып. 174. — С. 83–89.
9. Вейц В. Л., Кочура А. Е., Царев Г. В. Расчет механических систем приводов с зазорами / В. Л. Вейц, А. Е. Кочура, Г. В. Царев. — М.: Машиностроение, 1979. — 183 с.
10. Андрианов Е. Н. Определение эквивалентных нагрузок и надежности элементов портальных кранов / Е. Н. Андрианов, В. И. Брауде // Тр. ЛИВТа. — 1984. — С. 30–34.

УДК 502.1/2:656

А. Е. Пластинин,
канд. техн. наук, доц.

ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ ВЗРЫВАХ НА ТАНКЕРАХ

ASSESSMENT OF MECHANICAL IMPACT ON ENVIRONMENT AT EXPLOSIONS ON TANKERS

Приведены результаты статистических исследований параметров механического воздействия на окружающую среду при взрывах на танкерах как географически ориентированных случайных величин. Разработана матрица выбора типа взрывного процесса на танкерах. Для визуализации матрицы построены регрессионные модели, отражающие зависимость между избыточным давлением, грузоподъемностью судна и дистанцией до объекта поражения.

Предложена классификация нефтепричалов Волжского бассейна по степени опасности для окружающей среды (механическое воздействие). Получено уравнение связи дистанции до объекта поражения и грузоподъемности танкера для оценки границы перехода консервативного типа взрывного процесса от детонации к дефлаграции.

Результаты исследований могут быть полезны при создании документов, разрабатываемых в рамках Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (планов локализации и ликвидации разливов нефти, деклараций промышленной безопасности), при эксплуатации и проектировании объектов транспортного комплекса, а также при проведении тренажерной подготовки персонала.

The results of statistical researches of parameters of mechanical impact on environment at explosions in tankers as geographically focused random variables are presented. The choice matrix like explosive process on tankers is developed. For visualization of a matrix the regression models reflecting dependence between excessive pressure, loading capacity of the vessel and a distance to object of defeat are constructed. Classification of oil moorings of the Volga basin by degree of danger to environment by mechanical influence is offered. The equation of communication of a distance to object of defeat and loading capacity of the tanker for an assessment of border of transition of conservative type of explosive process from a detonation to a deflagration is received. The results of the researches can be useful at creation of the documents developed within the framework of the Uniform state system of the prevention and liquidation of emergencies (plans of localization and liquidation of oil spillages, declarations of industrial safety) during exploitation and designing of objects of the transport complex, and also during personnel training.

Ключевые слова: механическое воздействие, окружающая среда, взрывной процесс, матрица, нефтепричалы, классификация.

Key words: mechanical impact, environment, explosive process, matrix, oil moorings, classification.

О ГРОМНУЮ опасность для окружающей среды (ОС) представляют последствия чрезвычайных ситуаций, связанных с аварийными разливами нефти (РН) и нефтепродуктов (ЧС(Н)), сопровождающиеся пожарами и взрывами, которые по данным Федеральной службы по надзору в сфере транспорта составляют до 10 % от общего числа аварий на водном транспорте в отдельные периоды наблюдения, из них более 50 % — взрывы на танкерах [1].

В соответствии с действующим законодательством Российской Федерации в сфере предупреждения и ликвидации разливов нефти оценка механического воздействия на ОС при взрывах выполняется в составе документов, разрабатываемых организациями водного транспорта в рамках Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (планов ликвидации аварийных ситуаций, планов локализации и ликвидации РН, деклараций промышленной безопасности, паспортов безопасности).

Следует отметить, что оценка механического воздействия взрывов на танкерах является обязательным элементом проектной документации для объектов атомной энергетики при учете внешних техногенных воздействий [2]. Она связана со значительными, в том числе объективными, трудностями методического характера:

- отсутствие матриц выбора типа взрывного процесса для судов;
- значительное количество проектов танкеров, обеспечивающих перевозки нефтепродуктов;
- большое разнообразие ситуаций, при которых возникает взрыв нефтепродуктов;
- обширная география местоположения возможных источников ЧС(Н);
- разнообразие типов водных путей (поверхностных водотоков) и гидрометеорологических условий;
- множество сценариев ЧС(Н) и т.п. [3, с. 152–157]; [4, с. 168–174].

Таким образом, существует необходимость оценки параметров механического воздействия на ОС при взрывах на танкерах как географически ориентированных случайных величин и разработки соответствующего методического обеспечения.

Наибольшая вероятность взрывов на судах наблюдается при проведении грузовых операций на нефтяных причалах, и примером подобной угрозы являются ЧС на Сормовской и Кстовской нефтебазе (1977, 1993), на танкере «Виктория» (2003) [1]. Поэтому в данной работе выполнена оценка опасности этих техногенных событий на примере Волжского бассейна, здесь перевозится наибольшее количество нефтеналивных грузов в России.

Чтобы оценить последствия взрывов, были выполнены следующие исследования:

- сбор и обработка статистических данных по характеристикам нефтяных причалов (НП) Волжского бассейна — дислокация НП, расстояние до объекта поражения (поселения), оценка массы взрывааемых нефтепродуктов;
- выбор типа взрывного процесса;
- оценка последствий взрыва нефтепродуктов по степени разрушения;
- разработка классификации НП Волжского бассейна по степени опасности для ОС на базе действующих методик расчета параметров взрыва.

Характеристики НП были получены с использованием электронной картографической системы программно-аппаратного комплекса «Система моделирования и анализа аварий, связанных с загрязнением окружающей среды "PISCES II"» производства компании ТРАНЗАС, установленного на базе учебно-тренажерного центра по управлению кризисными ситуациями природного и техногенного характера Волжской государственной академии водного транспорта [5, с. 65–70], [6, с. 92–97], [7, с. 130–135], [8].

В качестве примера на рис. 1 представлен процесс измерения расстояния от одного из НП Волжского бассейна (814,4 км) до ближайшего населенного пункта.

В результате была построена база данных (БД) по характеристикам нефтяных причалов Волжского бассейна: дислокация, берег (левый, правый), расстояние до объекта поражения (на берегу левом, правом, противоположном, месторасположения НП, минимальное из рассмотрен-

ных), тип и масса нефтепродуктов (грузоподъемность судна) и т.д. Фрагмент базы представлен в табл. 1.

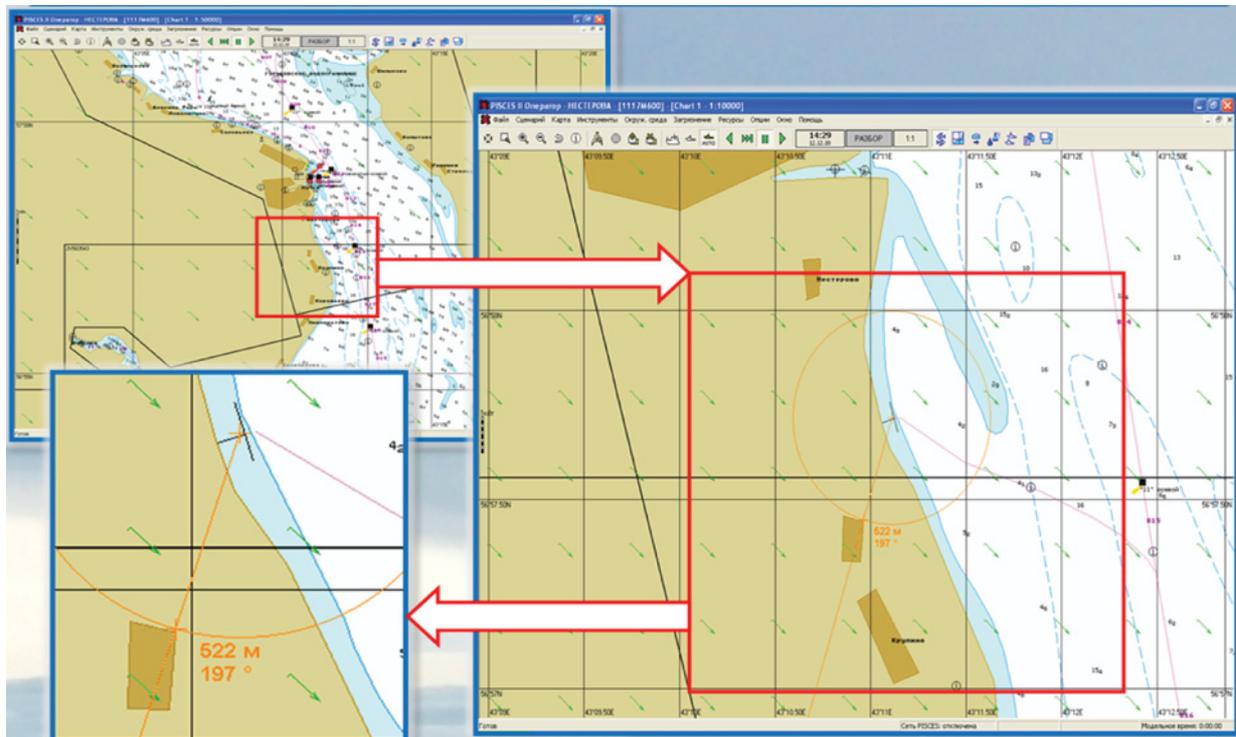


Рис. 1. Сбор статистических данных по характеристикам НП Волжского бассейна (дистанция до объекта поражения)

Таблица 1

Фрагмент базы данных по характеристикам НП Волжского бассейна

№	Дислокация НП, км р. Волги	Берег дислокации (левый, правый)	Наименование населенного пункта	Расстояние до объекта поражения, R, м			Пеленг, град.	Тип нефтепродукта
				л. б.	п. б.	мин.		
1	526,60	ПБ	Ярославль	84,7	1400	84,7	245	Мазут
2	814,40	ПБ	Пучеж	522	4600	522	197	Мазут
3	935,80	ПБ	Кстово	190	5900	190	189	Мазут
4	1282,00	ЛБ	Казань	5000	762	762	257	Сырая нефть
5	1381,00	ПБ	Камское Устье	122	9500	122	235	Сырая нефть

Статистический анализ характеристик НП проводился при помощи программы «Statistika 8.0». Нормальное распределение признаков проверялось с использованием критериев Колмогорова–Смирнова, Шапиро–Уиллиса.

Для оценки интенсивности вариации и для сравнения ее в разных совокупностях были получены относительные показатели вариации. Они вычислялись как отношения абсолютных показателей силы вариации к средней арифметической величине признака.

Результаты статистического анализа представлены в виде $M \pm SD$, $Me[25p; 75p]$, где M — среднее, SD — одно стандартное отклонение, Me — медиана, $25p$ и $75p$ — 25-й и 75-й процентиля соответственно, ρ и ν — коэффициенты осцилляции и вариации (табл. 2 и 3).

Таблица 2

**Статистический анализ расстояний до объекта поражения (населенного пункта)
для НП Волжского бассейна**

Характеристика вариационного ряда	Расстояние до объекта поражения, м				
	мин.	на берегу месторасположения НП	на противоположном берегу	на правом берегу	на левом берегу
Количество наблюдений	58	58	58	58	58
Мин/Макс значение	75,0/3400,0	75,0/3400,0	608,0/12300,0	84,7/11500,0	75,0/12300,0
Размах вариации	3325,0	3325,0	11692,0	11415,30	12225,0
$M \pm SD$ или $Me[25p; 75p]$	674,77±782,45	686,78±785,83	4851,55±3729,02	1931,37±2666,32	3607,83±3847,66
Коэффициент осцилляции/ вариации	4,93/1,16	4,84/1,14	2,41/0,76	5,91/1,38	3,39/1,06
Степень интенсивности вариации	>25% высокая	>25% высокая	>25% высокая	>25% высокая	>25% высокая

Анализ полученных коэффициентов осцилляции и вариации расстояний до объекта поражения позволил сделать вывод о сильной степени интенсивности вариации для всех типов участков (см. табл. 2), которая возникает при неоднородности исследуемой совокупности и обуславливает необходимость группировки первичных статистических данных.

Количество групп и диапазоны исследуемых признаков определялись в соответствии с формулой Стерджесса. Отнесение отдельных значений к выделенным группам проверялась проверкой статистической гипотезы о принадлежности выделяющихся значений с применением критерия Ирвина. Малочисленные группы ($n < 5$) были объединены в соответствии с рекомендациями Йейтса [9]. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Статистический анализ минимальных расстояний до объекта поражения (населенного пункта) для НП Волжского бассейна

Характеристика вариационного ряда	Расстояние до объекта поражения, м		
Количество наблюдений	37	15	6
Диапазон изменения	75...550	550...1975	1975...3400
Мин/Макс значение	75 /522	576/1300	2100/3400
Размах вариации	447	724	1300
$M \pm SD$ или $Me[25p; 75p]$	274,67±148,94	850,0[608, 0;950, 0]	2750,0[2300, 0;3200, 0]
Коэффициент осцилляции/ вариации	1,63/0,54	-/-	-/-
Степень интенсивности вариации	>25% высокая	-/-	-/-

На основании табл. 3 можно предложить следующий порядок ранжирования НП в пределах Волжского бассейна по уровню риска механического воздействия ЧС(Н) на ОС (антропогенные объекты):

1. НП первого класса опасности (чрезвычайно опасные) + УА, для которых расстояние до объекта поражения находится в диапазоне от 75 до 550 м. К таким НП относятся 528,40 км, 899,10 км, 1841,60 км, 2178,00 км, 3055,88 км и др. (всего 37).

2. НП второго класса опасности (умеренно опасные) + УА, для которых дистанция до объекта поражения находится в диапазоне от 550 до 1975 м. Такими НП являются 1173,8 км, 2477,00 км, 3057,10 км, 3059,0 км и др. (всего 15).

3. НП третьего класса опасности (малоопасные) + НП, для которых расстояние до объекта поражения находится в диапазоне от 1975 до 3400 м. Это такие НП, как 2586,40 км, 2585,20 км, 2585,40 км, 2585,60 км, 2585,80 км, 2586,10 км (всего 6).

Математическое ожидание (выборочная средняя) для расстояния до объекта поражения в Волжском бассейне равно 674,77 м, таким образом, усредненный НП может быть отнесен к группе «умеренно опасные НП» по предложенной классификации. При этом доля НП 1-го класса опасности по уровню риска механического воздействия ЧС(Н) на ОС составила 63,79 % от общего количества НП.

На основании табл. 2 и 3 также можно сделать вывод о существовании потенциальной опасности для всех выделенных категорий объектов поражения: на левом берегу, на правом берегу, на берегу месторасположения НП, на противоположном берегу.

Анализ опасности аварийных взрывов нефтепродуктов на судах и определение параметров, характеризующих их механическое воздействие, выполняется на основании требований федеральных норм и правил в области использования атомной энергии «Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии» [2] и «Руководства по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического воздействия. РБ Г-05-039-96» [10]. В соответствии с этими нормативными документами при расчетах учитываются два сценария ЧС(Н): «Взрыв нефтепродуктов в грузовых танках наливного судна с учетом основного запаса топлива и смазки» и «Взрыв топливной цистерны неналивного судна с учетом запаса смазки». При оценке факторов, связанных с указанными сценариями, рассматриваются объемный детонационный и объемный дефлаграционный взрывы топливно-воздушной смеси (ТВС) в резервуаре [10].

Поскольку тип взрывного процесса в облаке ТВС заранее неизвестен, то для получения консервативных (завышенных) оценок в каждом конкретном случае оцениваются параметры воздушной ударной волны (ВУВ) в зависимости от расстояния между источником взрыва и конструктивными элементами сооружений как при детонационном, так и при дефлаграционном взрывах. В качестве консервативного принимается вариант, соответствующий максимальным значениям указанных параметров.

Оценка последствий взрывов нефтепродуктов на судах обычно производится в соответствии с ФНиП «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств», а также ГОСТ Р 12.3.047-98 «Пожарная безопасность технологических процессов». Подробное описание методики расчета и выбора исходных данных приведено в [10].

Важной характеристикой НП при оценке механического воздействия на ОС является грузоподъемность судов, обеспечивающих транспортировку нефтепродуктов в рассматриваемом бассейне внутренних водных путей (ВВП); данные по некоторым проектам представлены в табл. 4.

Результаты статистического анализа грузоподъемности судов, обеспечивающих перевозки нефтепродуктов в Волжском бассейне показаны в табл. 5.

Таблица 4

Фрагмент перечня нефтеналивных судов, обеспечивающих перевозки нефтепродуктов в Волжском бассейне

№	Тип / Название судна	Проект	Дата постройки	Грузоподъемность, т, в реке
1	ЛУКОЙЛ / АЗОВ МАРИНЕР	00201Л	1999	6620
2	VF TANKER / ВАЛЕНТИН ГРУЗДЕВ	RST27	2014	5378
3	АРМАДА / NAZAR	RST22	2009	7074
4	ВЯТКА / ВЯТКА 13	P-135B	1986	300
5	ВОЛГОНЕФТЬ / МЕХАНИК ЧЕБОТАРЕВ	1577	1974	4849
6	ЛЕНАНЕФТЬ / ЛЕНАНЕФТЬ-2053	621	1984	3652
7	АЛЬКОР / САНАР-1	17103	2005	5404
8	АРМАДА / КАПИТАН НАГДАЛИЕВ	RST22M	2011	4611

Таблица 5

Статистический анализ грузоподъемности судов, обеспечивающих перевозки нефтепродуктов в Волжском бассейне

Характеристика вариационного ряда	Все	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа
Количество наблюдений	31	8	5	12	6
Диапазон изменения	121,5...12368	121,5... 2162,58	2162,58... 4203,67	4203,67... 6244,75	6244,75... 12368
Мин/Макс значение	121,5...12368	121,5/1856	2700/3652	4282/5600	6321/12368
Размах вариации	12246,5	1734,5	952	1318	6047
$M \pm SD$ или $Me[25p;75p]$	4086,95± 2726,87	615,31±550,06	2812 [2700; 3270]	5000 [4730, 0; 5391]	7707,17± 2313,53
Коэффициент осцилляции/ вариации	2,99/0,67	3,15/0,89	-/-	-/-	2,61/0,3
Степень интенсивности вариации	>25% высокая	>25% высокая	-/-	-/-	>25% высокая

Полученные результаты определяют следующий алгоритм построения матриц выбора типа взрывного процесса на НП в границах администрации бассейна (АБ) ВВП:

1. Сбор статистических данных и формирование БД по характеристикам НП — дислокация НП, берег дислокации (левый, правый), расстояние до объекта поражения, тип и масса нефтепродуктов (грузоподъемность судна).

2. Статистический анализ расстояний до объекта поражения, оценка диапазонов их изменения и предварительное ранжирование НП по уровню риска механического воздействия ЧС(Н) на ОС (через косвенный показатель).

3. Статистический анализ грузоподъемности танкеров, обеспечивающих перевозки нефтепродуктов в рассматриваемой АБ ВВП и группировка судов по этому признаку. Определение минимальных и максимальных значений в группе.

4. Формирование исходных данных для построения матрицы (диапазоны или конкретные значения независимых факторов).

5. Оценка параметров детонационного взрыва.

6. Оценка параметров дефлаграционного взрыва.

7. Определение консервативного типа взрывного процесса.

8. Оценка последствий взрыва нефтепродуктов по степени разрушений.

9. Построение предварительной матрицы.

10. Оценка границы перехода консервативного типа взрывного процесса от детонации к дефлаграции.

11. Уточненная оценка последствий взрыва нефтепродуктов по степени разрушений.

12. Построение уточненной матрицы.

13. Визуализация матрицы путем построения регрессионных моделей, отражающих зависимость между избыточным давлением, грузоподъемностью судна и дистанцией до объекта поражения.

14. Получение уравнения связи для оценки границы перехода консервативного типа взрывного процесса от детонации к дефлаграции.

15. Разработка классификации НП в границах АБ ВВП по степени опасности для ОС.

В табл. 6 представлена разработанная матрица выбора типа взрывного процесса для судов внутреннего и смешанного (река–море) плавания, обеспечивающих перевозки нефти и нефтепродуктов в Волжском бассейне.

Таблица 6

Матрица выбора типа взрывного процесса для судов внутреннего и смешанного (река–море) плавания Волжского бассейна (фрагмент)

Грузоподъемность судна, т	Расстояние до объекта, м	$\Delta P_{дет}$, кПа	$\Delta P_{деф}$, кПа	$\frac{\Delta P_{дет}}{\Delta P_{деф}}$, кПа / кПа	Тип взрывного процесса	Степень разрушений для промышленных зданий
12368	405	197,30	46,36	4,26	Дет.	Полное
12368	550	117,27	40,49	2,90	Дет.	Сильное
12368	1975	14,84	14,54	1,02	Дет.	Слабое
12368	2078	13,82	13,83	1,00	Деф.	Слабое
12368	3400	7,24	8,32	0,87	Деф.	Отсутствует
7334	341	196,57	46,34	4,24	Дет.	Полное
7334	550	87,21	36,53	2,39	Дет.	Сильное
7334	1747	13,80	13,82	1,00	Деф.	Слабое
7334	1975	11,67	12,22	0,96	Деф.	Слабое
7334	3400	5,86	6,91	0,85	Деф.	Отсутствует
...						
121,5	87	196,29	46,33	4,24	Дет.	Полное
121,5	445	13,82	13,83	1,00	Деф.	Слабое
121,5	550	10,37	11,16	0,93	Деф.	Слабое
121,5	1975	2,30	2,78	0,83	Деф.	Отсутствует
121,5	3400	1,29	1,51	0,85	Деф.	Отсутствует

Для визуализации матрицы были построены регрессионные модели, отражающие зависимость между избыточным давлением, грузоподъемностью судна и дистанцией до объекта поражения:

$$\Delta P_{\text{дет}} = 109,171 + 0,0036P - 0,0453R \quad (1)$$

$$\Delta P_{\text{деф}} = 33,1442 + 0,0011P - 0,0116R \quad (2)$$

где $\Delta P_{\text{дет}}$ — избыточное давление при детонации, кПа; $\Delta P_{\text{деф}}$ — избыточное давление при дефлаграции, кПа; P — грузоподъемность судна, т; R — расстояние (дистанция) до объекта поражения, м.

При этом коэффициенты детерминации $R^2 \geq 0,7$, что говорит о высокой степени адекватности полученных уравнений моделируемому процессу.

Графическое изображение связей показано на рис. 2 и 3.

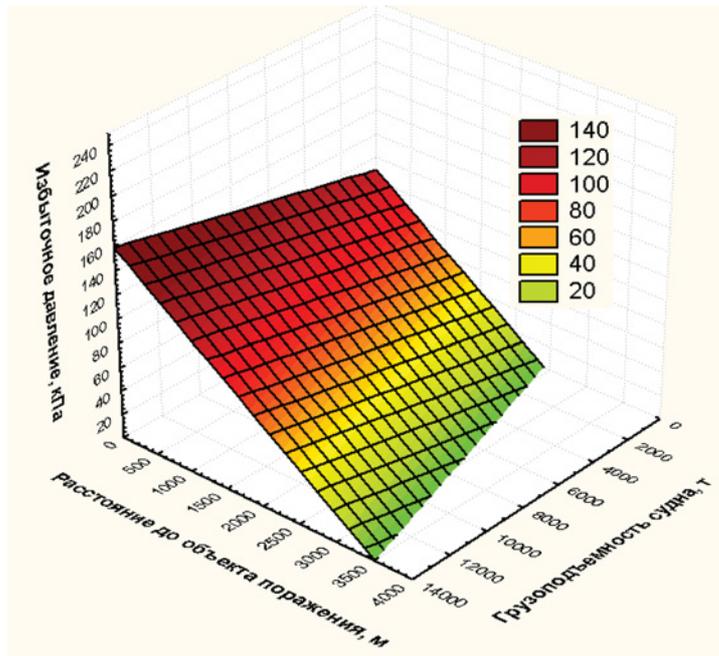


Рис. 2. Зависимость между избыточным давлением, грузоподъемностью судна и дистанцией до объекта поражения при детонационном режиме

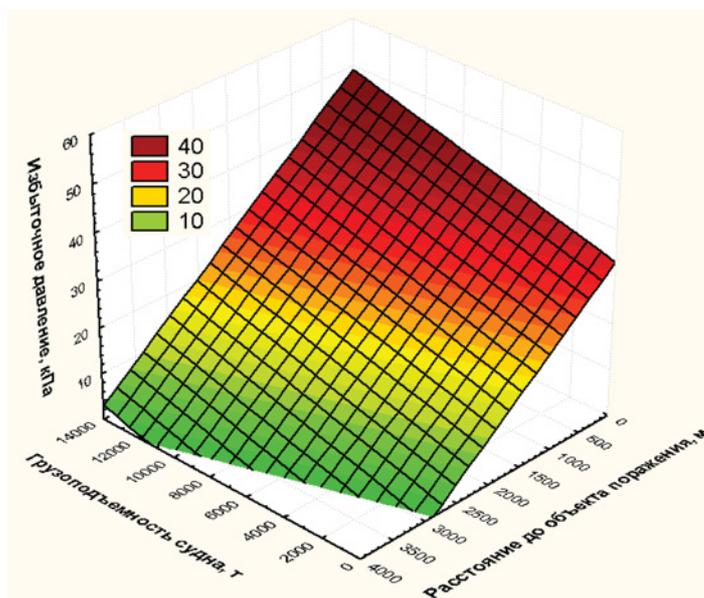


Рис. 3. Зависимость между избыточным давлением, грузоподъемностью судна и дистанцией до объекта поражения при дефлаграционном режиме

На основании данных табл. 6 было получено уравнение связи для оценки границы перехода консервативного типа взрывного процесса от детонации к дефлаграции в виде

$$R = 89,8781P^{0,333285} \quad (3)$$

При этом коэффициент детерминации $R^2 = 1$, что определяет существование функциональной зависимости между исследуемыми величинами, графическое изображение которой представлено на рис. 4.

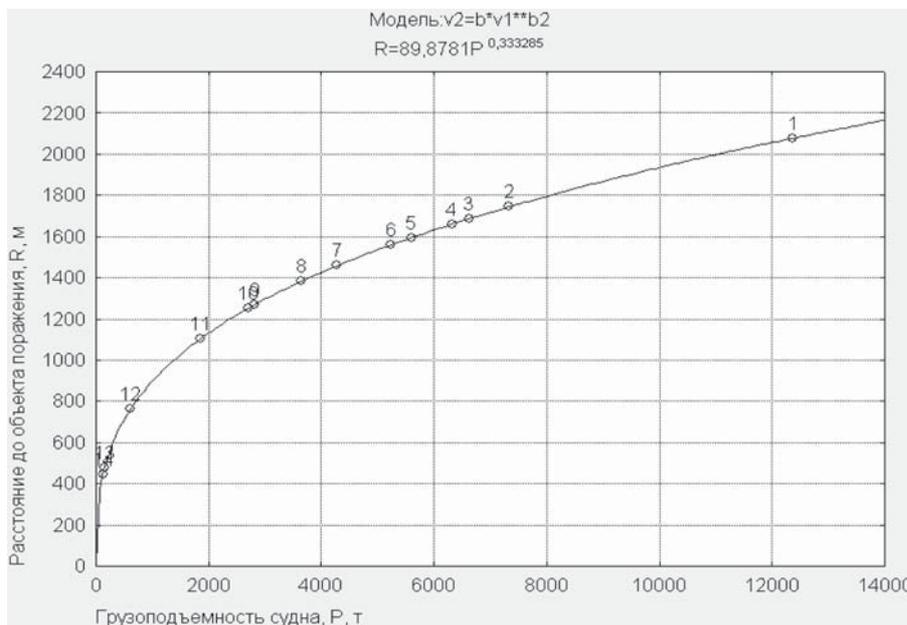


Рис. 4. Уравнение связи для оценки границы перехода консервативного типа взрывного процесса от детонации к дефлаграции

На основе созданных БД по характеристикам НП и матрицы выбора типа взрывного процесса была разработана классификация НП Волжского бассейна по степени опасности для ОС в зависимости от возможной степени разрушений при реализации ЧС(Н), сопряженной с пожарами или взрывами (для среднего значения грузоподъемности 4086,95 т), представленная на рис. 5 и в табл. 7. При этом было установлено, что доля НП 1-го класса опасности превышает 60 % от общего количества НП Волжского бассейна (см. рис. 5).



Рис. 5. Классификация нефтяных причалов Волжского бассейна по степени опасности для окружающей среды

**Ранжирование нефтяных причалов Волжского бассейна
по степени опасности для окружающей среды**

№	Наименование группы НП	Степень разрушений	Избыточное давление, кПа	Расстояние до объекта поражения, м	Количество НП в группе	Доля группы НП, (%)	НП — представители, км р. Волги
1	Чрезвычайно опасные	Полное	55,43–314,4	75–612	36	62,07	528,40; 899,10
2	Особо опасные	Сильное	35,53–40,7	150–795	8	13,8	935,80; 1469,50
3	Высоко опасные	Среднее	26,95–31,7	850–950	5	8,62	1173,80; 2477,00
4	Умеренно опасные	Слабое	16,73–22,21	1075–1300	3	5,17	3057,10; 3059,00
5	Неопасные	Отсутствует	5,8–9,72	2100–3400	6	10,34	2585,20; 2586,10

Выводы

1. В результате выполненных исследований создана БД по характеристикам НП Волжского бассейна (дислокация НП, берег дислокации, расстояние до объекта поражения, тип и масса нефтепродуктов).

2. На основании результатов статистического анализа характеристик НП сделан вывод о существовании в Волжском бассейне потенциальной опасности для всех выделенных категорий объектов поражения и предложен порядок ранжирования НП по уровню риска механического воздействия ЧС(Н) через косвенный показатель (дистанция до объекта поражения) на ОС (антропогенные объекты).

3. Выполнен статистический анализ грузоподъемности судов, обеспечивающих перевозки нефтепродуктов в Волжском бассейне.

4. Разработан порядок построения матрицы выбора типа взрывного процесса на танкерах.

5. Впервые создана матрица выбора типа взрывного процесса для судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания, перевозящих нефть и нефтепродукты в Волжском бассейне.

6. Для визуализации матрицы выбора типа взрывного процесса построены регрессионные модели, отражающие зависимость между избыточным давлением, грузоподъемностью судна и дистанцией до объекта поражения. При этом коэффициенты детерминации $R^2 \geq 0,7$, что говорит о высокой степени адекватности полученных уравнений моделируемому процессу.

7. Впервые получено уравнение связи дистанции до объекта поражения и грузоподъемности танкера для оценки границы перехода консервативного типа взрывного процесса от детонации к дефлаграции. При этом значение коэффициента детерминации $R^2 = 1$ означает функциональную зависимость между переменными.

8. Впервые разработана классификация НП Волжского бассейна по степени опасности для ОС в зависимости от возможной степени разрушений при реализации ЧС(Н), сопряженной с пожарами или взрывами. При этом было установлено, что доля НП 1-го класса опасности превышает 60 % от общего количества НП Волжского бассейна.

9. Полученные результаты нашли применение при разработке и отработке более 100 планов ЛАРН; в процессе подготовки более 200 спасателей и руководителей АСФ (Н) в составе персонала организаций водного транспорта на базе учебно-тренажерного центра по управлению кризисными ситуациями природного и техногенного характера Волжской государственной академии водного транспорта; при разработке мероприятий по обеспечению допустимого уровня риска негативного влияния судоходства на ГТС Нижегородской и Ростовской АЭС.

Список литературы

1. *Воробьев Ю. Л.* Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов / Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов. — М.: Ин-октаво, 2005. — 368 с.
2. Постановление Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20 декабря 2005 г. N 16 «Об утверждении и введении в действие федеральных норм и правил в области использования атомной энергии «Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии». [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://base.consultant.ru/cons/>, свободный. — Загл. с экрана.
3. *Наумов В. С.* Оценка ущерба при разливах нефти на объектах транспортного комплекса / В. С. Наумов, А. Е. Пластинин // Журнал университета водных коммуникаций. — 2010. — № 1. — С. 152–157.
4. *Пластинин А. Е.* Особенности оценки ущерба при разливах нефти на внутренних водных путях / А. Е. Пластинин, А. Н. Каленков // Приволжский научный журнал. — 2011. — № 3. — С. 168–174.
5. *Наумов В. С.* Моделирование процессов ликвидации разливов нефти с судов / В. С. Наумов, А. Е. Пластинин // Речной транспорт (XXI век). — 2014. — № 3. — С. 65–70.
6. *Наумов В. С.* Организация контроля потенциально-опасных объектов судоходства / В. С. Наумов, А. Е. Пластинин. Журнал университета водных коммуникаций. — 2010. — № 4. — С. 92–97.
7. *Наумов В. С.* Проблема защиты экологически чувствительных территорий при разливах нефти на внутренних водных путях / В. С. Наумов, А. Е. Пластинин, О. С. Нестерова // Журнал университета водных коммуникаций. — 2013. — № 3(19). — С. 130–135.
8. *Наумов В. С.* Управление кризисными ситуациями природного и техногенного характера. Учебное пособие / В. С. Наумов, А. Е. Пластинин. — Н. Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2009. — 208 с.
9. *Елисеева, И. И., Юзбашев М. М.* Общая теория статистики: учебник / Под ред. И. И. Елисеевой. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Финансы и статистика, 2006. — 656 с.
10. Руководство по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического действия. РБ Г-05-039-96 (утв. Постановлением Госатомнадзора России 31 декабря 1996 г. № 100). [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200061429>, свободный. — Загл. с экрана.

УДК 539.3:[624.044.2]

Г. Н. Ширунов,
канд. техн. наук, доц.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НОРМАЛЬНОЙ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ СИЛЫ В ЗАДАЧЕ ЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМОГО ОСНОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ

MODELING NORMAL CONCENTRATED FORCE IN THE PROBLEM LINEARLY DEFORMABLE FOUNDATION OF HYDRAULIC ENGINEERING STRUCTURE

Методом начальных функций (МНФ) решена трехмерная задача сжатия изотропного слоя нормальной сосредоточенной силой. Функция сосредоточенной силы описывается рядами Фурье с удержанием конечного количества членов. Рассмотрение достаточно большой толщины слоя и выделение из него области в виде параллелепипеда больших размеров может трактоваться как модель упругого полупространства. Численно-аналитическое решение позволяет определять компоненты напряженно-деформируемого состояния (НДС) грунтового основания, свойства которого принимаются линейно-упругими. Приводится сравнение полученных результатов с известными формулами задачи Буссинеска и Лява. Расчеты выполнены с использованием программы, разработанной на основе комплекса символьных вычислений Maple.