

В.В. Воробьев
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЗАЩИТНЫХ ПРЕГРАД
ДЛЯ ОГРАНИЧЕНИЯ РАЗЛИВА НЕФТЕПРОДУКТОВ
ПРИ ВНЕЗАПНЫХ РАЗРУШЕНИЯХ РЕЗЕРВУАРОВ

V. Vorobyov
EXPERIMENTAL RESEARCHES OF ADDITIONAL PROTECTIVE
BARRIER TO RESTRICTION OF FLOOD PETROLEUM
AT SUDDEN DESTRUCTION OF TANKS

По результатам проведенных экспериментальных исследований определены виды и параметры дополнительных защитных преград, способных ограничить разлив нефтепродуктов, вышедших за пределы нормативного ограждения при внезапном разрушении вертикального стального резервуара.

Ключевые слова: Резервуар вертикальный стальной (РВС), нефтепродукт, нормативное ограждение, дополнительная защитная преграда.

By results of the carried out experimental researches the kinds and parameters of additional protective barrier capable to limit flood of petroleum, left for limits of a normative protection determined at sudden destruction of the vertical steel tank.

Key words: The vertical steel tank, petroleum, normative protection, wave of break, additional protective barrier.

Для защиты от растекания нефтепродуктов при авариях на РВС в отечественной и мировой практике применяются нормативные ограждения (земляные обвалования или ограждающие стены из негорючих материалов). Согласно проведенному анализу нормативных документов [1, 2], эти защитные сооружения рассчитываются на гидростатическое давление относительно медленно вытекающего из поврежденной емкости нефтепродукта, поэтому нормативные ограждения, как показывает практика, не удерживают поток жидкости, образующийся при квазимгновенном разрушении резервуара [3-6]. Отличительными признаками такого разрушения являются: полная потеря целостности корпуса РВС, выход в течение короткого промежутка времени всей хранящейся в резервуаре жидкости в виде волны прорыва, которая характеризуется нестационарностью потока, наличием резкого фронта в виде бора (вала), достигающего значительной высоты и движущегося с большой скоростью. Волна обладает большой разрушительной силой, часто приводящей к повреждению соседних резервуаров в каре обвалования, размыву тела земляного обвалования или разрушению ограждающей стены [5]. Даже при сохранении целостности и устойчивости нормативного ограждения через него происходит перелив зна-

чительного объема жидкости [3, 7].

Натурный эксперимент по разрушению резервуара был проведен в июле 2004 года на нефтебазе в Липецкой области, где был подвергнут разрушению один из восьми однотипных резервуаров РВС № 8 (номинальный объем 700 м^3 ; $D_p = 10,4 \text{ м}$; $H_p = 9 \text{ м}$), полностью заполненный водой. Для оценки наиболее опасных последствий взаимодействия волны прорыва с нормативной защитной преградой разрушение РВС-700 произвели со стороны земляного обвалования резервуарного парка. На рис. 1 представлена обстановка в резервуарном парке нефтебазы с указанием площади разлива жидкости после разрушения РВС.

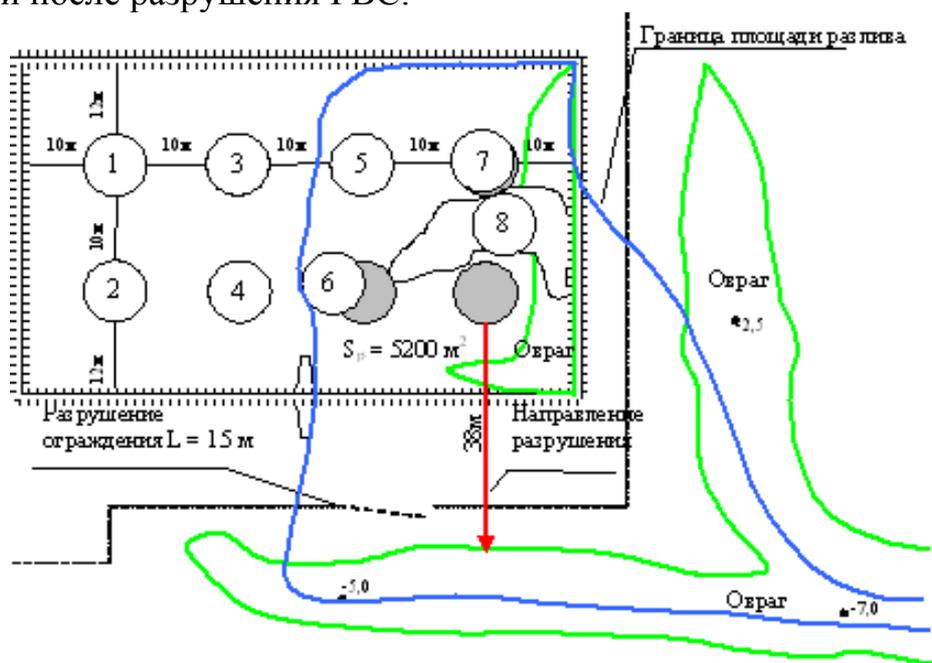


Рис. 1. Обстановка на нефтебазе после разрушения РВС № 8

Результаты натурального эксперимента подтвердили характер взаимодействия образовавшегося потока жидкости с земляным обвалованием. Значительный объем жидкости переклестнул через обвалование, частично размыв его гребень и растекся на прилегающей территории. Кроме того, были повреждены и сдвинуты с фундамента соседние резервуары. Необходимо отметить, что разлив жидкости при разрушении резервуара на завершающем этапе был существенно ограничен расположенными в непосредственной близости естественными оврагами глубиной от 2,5 до 7 м, что привело к снижению фактической площади разлива.

В ряде нормативно-технических документов за нормативным ограждением на наиболее опасных направлениях рекомендуется устраивать дополнительные защитные преграды, служащие для сбора разлившихся жидкостей и отвода их в аварийные емкости [8-11]. Параметры таких сооруже-

ний в нормативной и специальной литературе не приводятся. Поэтому проведено экспериментальное исследование различных дополнительных защитных преград, служащих не только для сбора разлившегося продукта, но и для удержания волны прорыва, перехлестывающей через нормативное ограждение.

Анализ критериев подобия процессов взаимодействия волны прорыва с защитными преградами показал, что при создании модельных стендов для воспроизведения волны прорыва и нахождения параметров дополнительных защитных преград необходимо обеспечить только геометрическое подобие моделей и натуре, соблюдая постоянное отношение между линейными размерами всех величин. В качестве рабочей жидкости при проведении экспериментов использовали воду.

Для определения доли жидкости, вышедшей за пределы нормативного ограждения, была изготовлена модель резервуара РВС-1000 в масштабе 1:50. Для уточнения параметров дополнительных защитных преград была использована имеющаяся модель РВС-2000 в масштабе 1:30.

Боковая поверхность экспериментальных резервуаров (стенка) представляла собой два полуцилиндра 1, соединенных между собой поворотным механизмом 2, который обеспечивал их раскрытие на 180° (рис. 2). Разъемное устройство 3 воспроизводило разрушение резервуара по вертикальной образующей корпуса модели. В собранном виде элементы резервуара образовывали замкнутую цилиндрическую оболочку, установленную на подставку 4 и скрепленную с ней косынкой поворотного механизма.

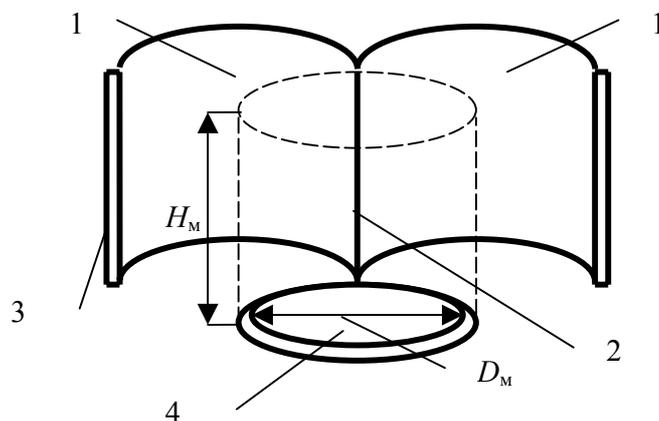


Рис. 2. Принципиальная схема модели РВС-1000

Экспериментальные резервуары, предназначенные для гидродинамических опытов (многократного воспроизведения процессов и явлений, имеющих место при разрушении РВС) обеспечивали:

- а) герметичность конструкции при заполнении ее жидкостью;

б) имитацию разрушения РВС по вертикальному шву со свободным раскрытием стенок под действием напора жидкости на 180° ;

в) образование волны прорыва и ее взаимодействие с защитными преградами.

На различных расстояниях от макета резервуара устанавливали защитную преграду нормативной высоты, моделирующую вертикальную стену или трапециевидальное обвалование с углом откоса 45° . В качестве дополнительных защитных преград рассматривались рвы, вертикальные стены, а также их комбинация. Принципиальные схемы таких сооружений представлены на рис. 3-5.

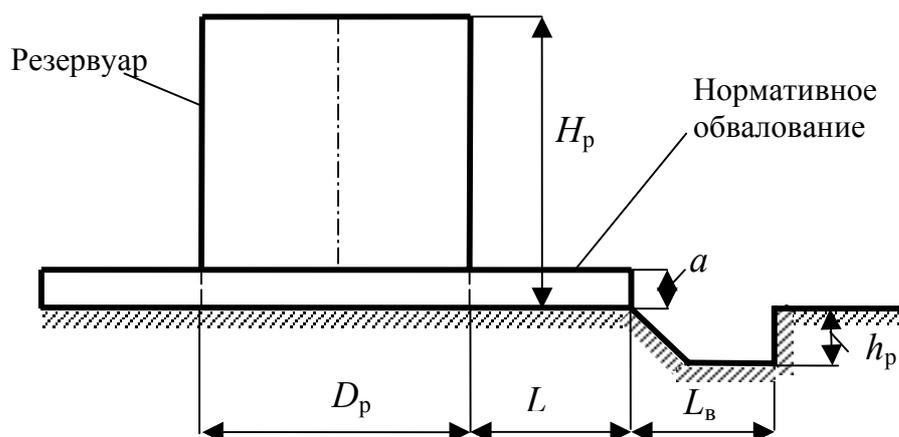


Рис. 3. Дополнительная защитная преграда: ров с вертикальным откосом

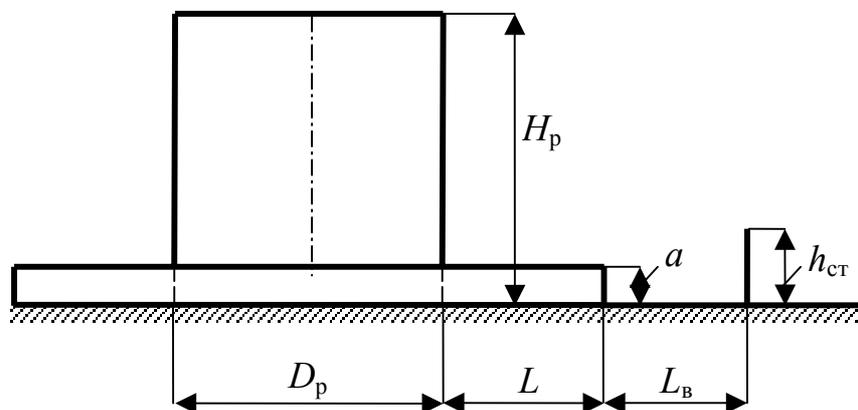


Рис. 4. Дополнительная защитная преграда: вертикальная стена

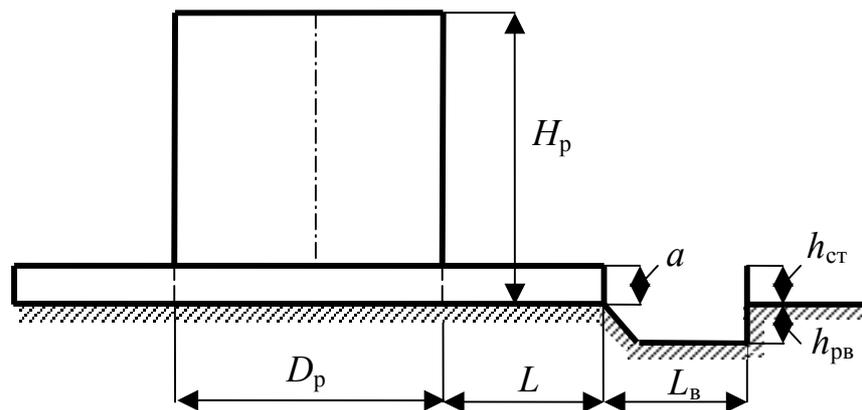


Рис. 5. Комбинация дополнительных защитных преград: ров с вертикальным откосом – вертикальная стена

На схемах обозначено: D_p – диаметр РВС; H_p – максимальный уровень разлива жидкости в РВС; L – расстояние от РВС до нормативной защитной преграды; $L_{в}$ – максимальное расстояние, на которое обрушится волна; a – высота обвалования; $h_{рв}$ – глубина рва; $h_{ст}$ – высота дополнительной защитной стены.

Модель резервуара заполняли определенным объемом воды, постоянным для всех экспериментов конкретной серии и имитировали разрушение стенки резервуара. Каждый эксперимент повторялся не менее трех раз с фиксацией процесса цифровой видеокамерой.

Параметры, определяемые в ходе проведения экспериментов:

- степень перелива жидкости через нормативное ограждение;
- максимальное расстояние, на которое обрушится волна после взаимодействия с нормативным ограждением;
- геометрические параметры дополнительных защитных преград для полного удержания потока жидкости, перелившегося через нормативное ограждение.

Максимальная относительная погрешность проведения экспериментов не превышала 28 %.

Аппроксимация результатов экспериментального исследования проводилась с помощью программы *STATGRAPHICS* (версия 5.1). Полученные формулы и номограммы представлены ниже.

Степень перелива жидкости через нормативную преграду:

- для нормативной вертикальной стены

$$z = -0,151 - 0,219 \ln(a/H_p) - 0,027 \ln(L/D_p); \quad (1)$$

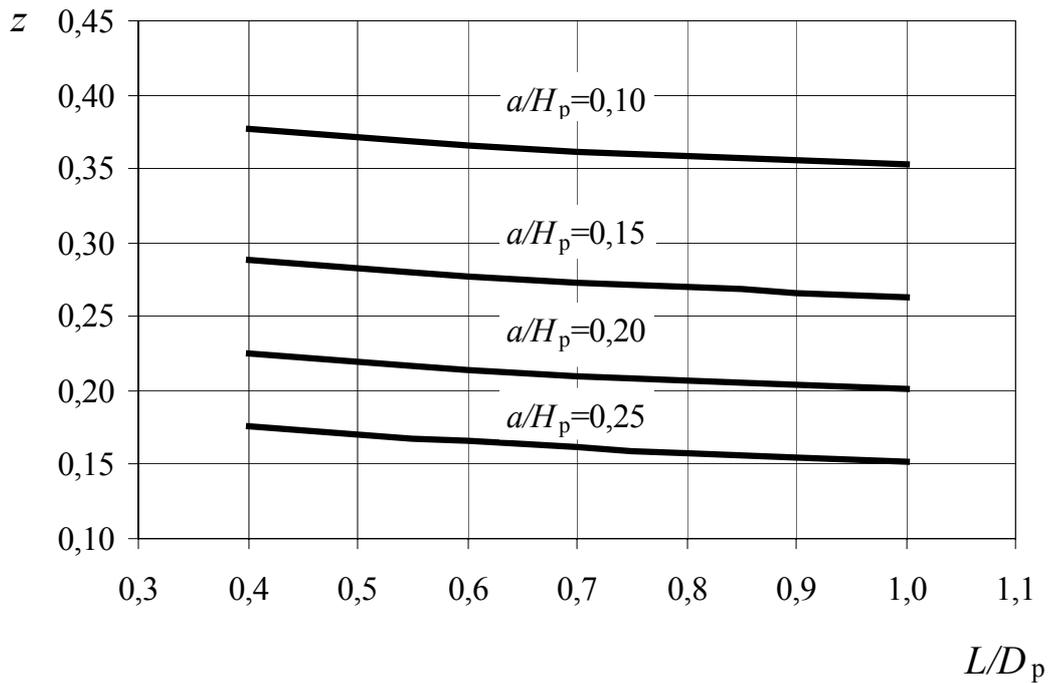


Рис. 6. Номограмма для определения степени перелива жидкости через нормативную вертикальную стену

- для нормативного трапецеидального обвалования

$$z = -0,060 - 0,192 \ln(a/H_p) - 0,013 \ln(L/D_p); \quad (2)$$

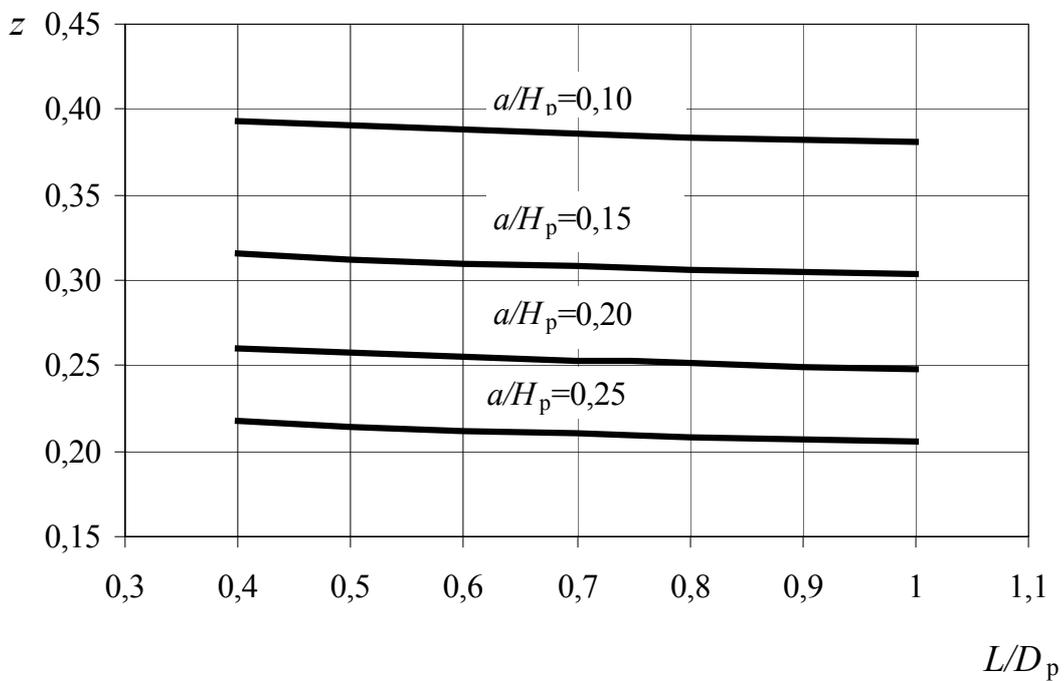


Рис. 7. Номограмма для определения степени перелива жидкости через нормативное трапецеидальное обвалование

Максимальное расстояние, на которое обрушится волна после взаимодействия с нормативной преградой:

- для нормативной вертикальной стены

$$L_B/D_p = -0,259 - 0,562 \ln(a/H_p) - 0,543 \ln(L/D_p); \quad (3)$$

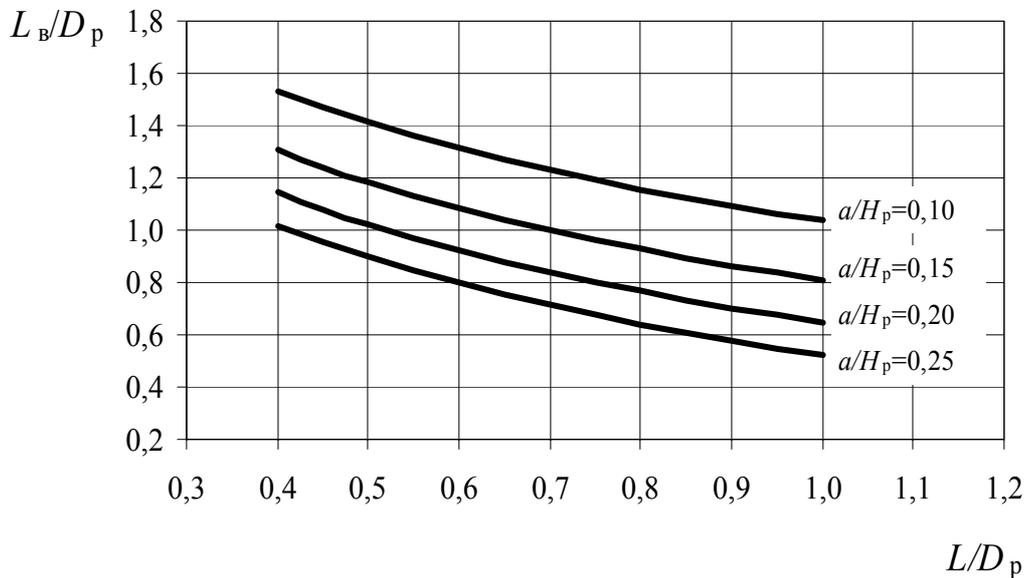


Рис. 8. Номограмма для определения максимального расстояния, на которое обрушится волна, при нормативной вертикальной стене

- для нормативного трапецеидального обвалования

$$L_B/D_p = 1,516 - 572,340(a/H_p)^6 - 0,170(L/D_p)^3. \quad (4)$$

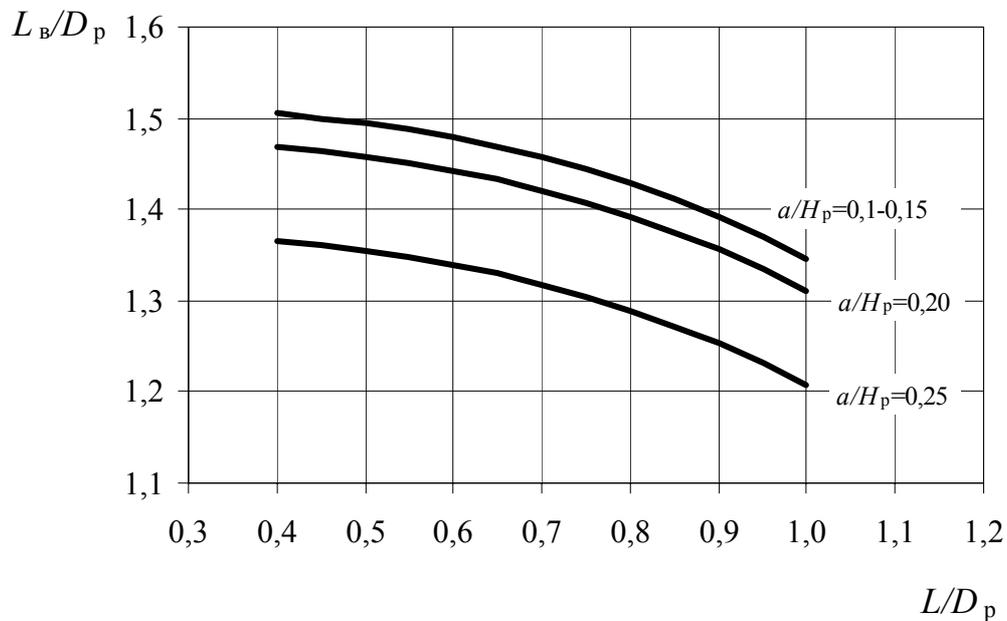


Рис. 9. Номограмма для определения максимального расстояния, на которое обрушится волна, при нормативном трапецеидальном обваловании

Высота вертикального откоса рва и вертикальной стены:

$$h_{ст}/H_p = 0,272 - 0,781(h_{рв}/H_p). \quad (5)$$

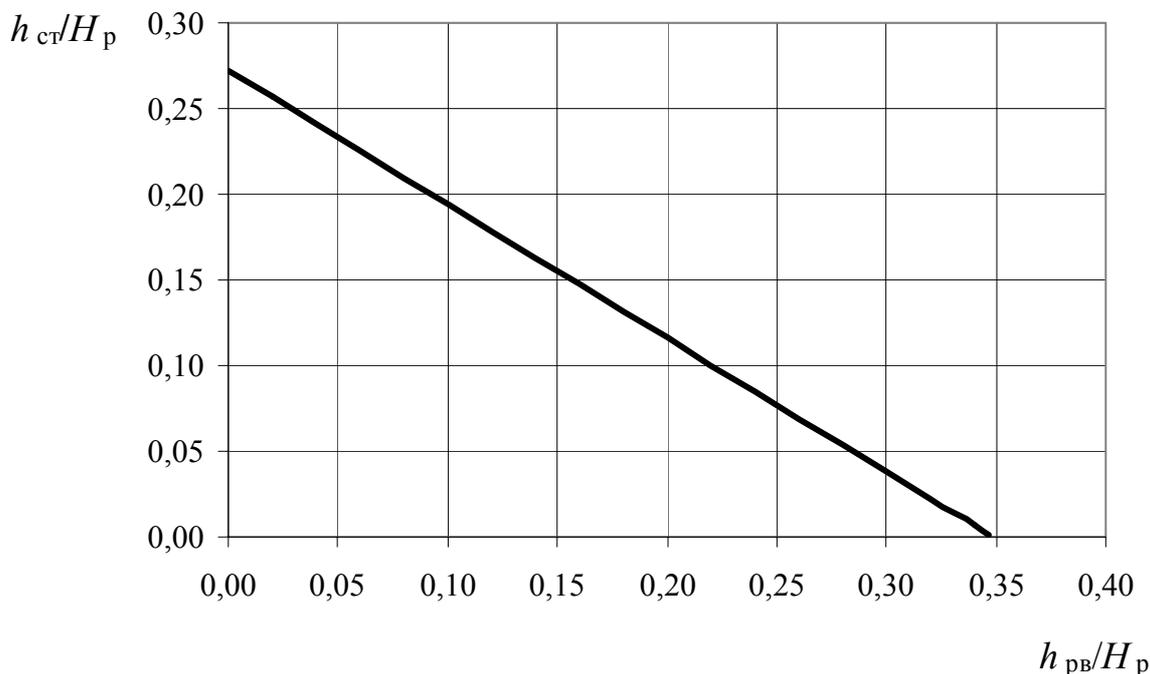


Рис. 10. Влияние глубины рва на высоту стены

Приведенные формулы и номограммы применимы в диапазонах изменений параметров:

$$0,87 \leq D_p/H_p \leq 1,58;$$

$$0,1 \leq a/H_p \leq 0,25;$$

$$0,4 \leq L/D_p \leq 1,0;$$

$$0,5 \leq \nu \leq 2,0;$$

где ν – коэффициент кинематической вязкости нефтепродукта в $сСт$.

Для оценки возможности использования результатов экспериментальных исследований на натуральных объектах проведено сравнение максимального расстояния, на которое обрушивается волна в натурном эксперименте, с рассчитанным по формуле (4) расстоянием. В натурном эксперименте расстояние составило 10 м, а рассчитанное по формуле (4) – 10,55 м. Относительное расхождение результатов – 5,5 %.

Таким образом, проведенные на экспериментальных стендах опыты удовлетворительно моделирует процесс разрушения резервуара и взаимодействия волны прорыва с защитными преградами, а полученные аппроксимационные выражения могут применяться на практике при проектировании дополнительных защитных преград для обеспечения безопасности людей и прилегающих территорий в случае квазимгновенного разрушения резервуара.

Литература

1. СНиП 2.11.03–93. Склады нефти и нефтепродуктов. Противопожарные нормы / Госстрой России. – М.: ГП ЦПП, 1993. – 24 с.
2. Исследование резервуаров для хранения нефтепродуктов при атмосферном давлении для Комитета по техническим вопросам и безопасности в нефтяной и нефтехимической промышленности Сингапура: Пер. с англ. / Р. Питбладо, Д. Уотерс, Х. Крун. – Лондон: Техника Лимитед, 1990. – С.10-20.
3. Швырков С.А. Обеспечение пожарной безопасности нефтебаз ограничением разлива нефтепродуктов при разрушениях вертикальных стальных резервуаров: Дис... канд. техн. наук / Академия ГПС МВД России. – М., 2001. – 180 с.
4. Анализ аварийных разрушений резервуаров на складах нефти и нефтепродуктов и разработка рекомендаций по ограничению площади разлива: Отчет о НИР 1.419/96 / Швырков А.Н., Горячев С.А., Швырков С.А. – М.: МИПБ МВД РФ, 1997. – 100 с.
5. Лебедева Л.Н. Лавинные выбросы при разрушении резервуаров с жидкостями / Лебедева Л.Н., Лурье М.В., Швырков А.Н. // Инженерно-физический журнал. – 1991. – Т. 61. – № 5. – С. 726–731.
6. Швырков А.Н. Волна прорыва на нефтебазе плюс эффект "домино". Техногенные катастрофы при разрушении резервуаров и защита от них / Швырков А.Н., Швырков С.А., Горячев С.А. // Охрана труда и социальное страхование. – 1997. – Вып. 11. – С. 42–45.
7. Greenspan H.P., Young R.E. Flow over a containment dyke // J. Fluid Mechanics. – 1978. Vol. 87. Part. 1. pp. 179-192.
8. Противопожарные нормы проектирования предприятий, зданий и сооружений нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности (ВУПП-88). – М.: Миннефтехимпром СССР, 1989.
9. Рекомендации по обеспечению пожарной безопасности объектов нефтепродуктообеспечения, расположенных на селитебной территории. – М.: ГУ ГПС МВД России, 1997. – 51 с.
10. Обеспечение пожарной безопасности предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности: Рекомендации. – М.: ВНИИПО, 2004. – 158 с.
11. Руководство по оценке пожарного риска для промышленных предприятий. – М.: ВНИИПО, 2006. – 93 с.