

УДК 574 (082)
ББК 20.1я43
У 67

УПРАВЛЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ РИСКА

Международный научный сборник

В сборнике освещены теоретические и практические аспекты управления промышленной и экологической безопасностью на основе риска. Особое внимание уделено методологическим и методическим вопросам расчета экологических, социальных и экономических рисков потенциально опасных объектов техносферы и другим разделам экологической экономики.

Сборник предназначен менеджерам и работникам государственной службы, а также аспирантам и студентам.

Редакционная коллегия:

д.т.н., профессор, академик РЭА А.И. Попов (отв. редактор),
д.т.н., член-корр. РЭА А.М. Козлитин (зам. отв. редактора),
д.э.н., профессор Б. Поскробко (Польша),
д.т.н., профессор, член-корр. РЭА В.А. Хрусталева,
к.э.н., доцент И.Б. Николаева,
И.Г. Коптева (секретарь)

Одобрено

редакционно-издательским советом
Саратовского государственного технического университета,
Президиумом СРО «Российская экологическая академия»

© СРО «Российская экологическая академия», 2005

© ООО «Три А», 2005



ISBN 5-98002-016-0

Содержание

.....

Козлитин А.М. Вероятностные методы анализа последствий фугасного воздействия взрыва на человека, технологическое оборудование, здания, сооружения при аварийных ситуациях на предприятиях нефтегазовой отрасли	16
Козлитин А.М., Попов А.И., Тугушев Э.Ф. и др. Методологические и организационные основы управления безопасностью опасных производственных объектов с использованием критериев риска	44
.....	
Козлитин А.М., Попов А.И. Оценка риска гидродинамических аварий на хранилищах производственных отходов химических предприятий	63
.....	
Козлитин А.М., Попов А.И., Козлитин П.А. и др. Анализ риска опасного производственного объекта «Пункт налива нефти «N» в составе проектной документации»	101
.....	
Козлитин А.М., Попов А.И., Козлитин П.А. Количественный анализ риска возможных разливов нефти и нефтепродуктов.	135

www://risk-2005.narod.ru/

kammov@gmail.com

ОЦЕНКА РИСКА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ АВАРИЙ НА ХРАНИЛИЩАХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А.М. Козлитин, А.И. Попов

1. Анализ возможных причин и факторов, способствующих возникновению и развитию аварий на гидротехнических сооружениях

Исходные предпосылки:

I. Штатные условия функционирования хранилищ производственных отходов предприятия:

1. Хранилища производственных отходов предприятия (пруд-аккумулятор, пруд-накопитель и аккумулирующие емкости отвального хозяйства) расположены на правобережной надпойменной террасе второго уровня реки (рис.1) и находятся вне зоны влияния катастрофического паводка.

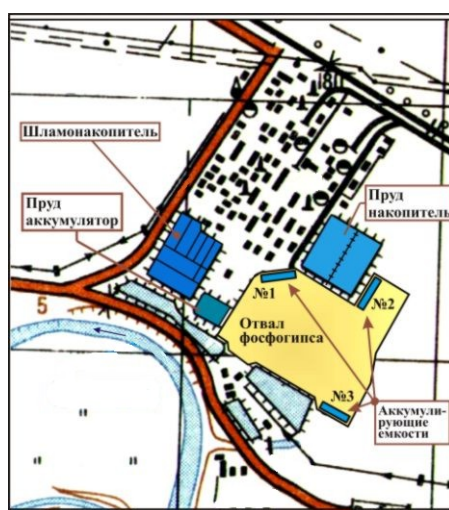


Рис.1. Хранилища производственных отходов

2. В штатном режиме работы хранилищ производственных отходов максимальный напор на дамбу не превышает:

- для пруда-наполнителя в первой секции 1,04 м и во второй секции 1,14 м;
- для аккумулирующих емкостей отвального хозяйства №1 и №2 составляет 0 м, для аккумулирующей емкости №3 составляет 1,3 м.

3. Пруд-аккумулятор выведен из эксплуатации в связи с заполнением его шламами. Источник поступления воды в пруд – атмосферные осадки. За счет естественного испарения вода на поверхности шламовых отложений не скапливается. Поверхность шлама заросла камышом и травой. Шламы под задернованной поверхностью находятся в пастообразном состоянии.

4. Среднегодовая сумма осадков не превышает 376 – 432 мм, при испарении с водной поверхности 770 мм в год. Суточный максимум осадков достигает 59 мм.

Основываясь на выше сказанном, можно констатировать: в штатном режиме функционирования предприятия, вероятности переполнения пруда-накопителя и аккумулирующих емкостей отвального хозяйства, а также вероятности потери устойчивости дамб-обвалований данных гидротехнических сооружений при существующем напоре исчезающе малы.

II. Нештатные ситуации. Рассмотрим условия возникновения и развития запроектных и гипотетических гидродинамических аварий на хранилищах производственных отходов предприятия:

1. Аварийное переполнение емкости хранилищ производственных отходов водой вследствие экстремальных ливневых осадков с 12-часовым максимумом более 60 мм или 48-часовым максимумом более 80 мм с учетом водосбора с прилегающей территории предприятия / 1; 2 /. Реализация катастрофических ливней указанной интенсивности оценивается экспертами 90% вероятностью не превышения в течение 25 лет среднестатистической максимальной суммы осадков за декаду. Сумма осадков по декадам на территории Саратовской обл. приведена в табл.1.

Таблица 1

Сумма осадков (мм) по декадам на территории Саратовской обл.

Месяцы	VI			VII			VIII			IX			X			XI		VI- XI
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
Хвалынский		10	28	30	37	26	7	41	18	24	48	2	0	53	26	31	13	394
Балаково	0	8	20	36	11	31	0	51	13	22	37	4	0	60	23	17	10	343

2. Ураганный ветер с очень высокой (более 32 м/с → 115,2 км/ч) скоростью воздушного потока, способствующий формированию волны перелива через ограждающую дамбу, исходя из условия разрушения (размыва) земляных дамб / 3 / → толщина слоя переливающейся воды до 1,5 м в течение 1 часа.

Для Саратовской области максимальная скорость ураганного ветра с 5% вероятностью возникновения в течение 20 лет составляет $V_{5\%} = 33$ м/с (118,8 км/ч) / 4 /.

3. Землетрясение, превышающее 7 баллов и приводящее к образованию большого количества трещин в сырых грунтах шириной до нескольких сантиметров, в отдельных случаях небольшие оползни и осыпание грунтов на берегах рек, крутых откосов выемок и насыпей дорог, возможны повреждения земляных дамб с растрескиванием насыпного грунта / 5; 6; 14 /.

Степень сейсмической опасности для г. Балаково оценивается, по данным *СНиП II-7-81 «Строительство в сейсмических районах» с изменениями №5 от 1.01.2000 г.* / 8 /, 1% вероятностью **превышения** в течение 50 лет расчетной интенсивности в 7 баллов.

Ряд ученых (В. И. Огаджанов, Худяков Г. И., Иванкин В. П. и др.) относят район г. Балаково к территории с возможной сейсмичностью 7-8 баллов. Начиная с 1990 г. техногенные землетрясения «охватывают в кольцо» Саратовскую область. Землетрясение силой в 5 баллов произошло 14 января 1990 г. в Волгограде. В этом же году землетрясение в г. Альметьевске, Татарстан. В 1991 году несколько землетрясений силой в 4 балла зафиксировано в Самаре, в этом же году - силой в 5 баллов - в Камышине (Волгоградская область). В 2002 г. ряд землетрясений различной интенсивности зафиксированы в г. Саратове и на территории Саратовской обл.

4. Резкое усиление фильтрации в теле дамбы в условиях переполнения водой хранилища производственных отходов.

5. Нарушение устойчивости дамбы в условиях действия аварийного напора воды, переполняющей емкость хранилища производственных отходов. Возникновение перегрузки элементов дамбы под действием статических нагрузок.

6. Обрушение в аккумулирующую емкость отвалного хозяйства оползневого склона отвала фосфогипса с формированием волны вытеснения, вызывающей перехлест воды через дамбу и ее разрушение вследствие действия динамической нагрузки.

7. Фактор диверсии или терроризма, направленный на разрушение дамб гидротехнических сооружений предприятия при определении сценариев возможных аварий не рассматривался. Это обосновывается тем, что, террористические акты и диверсии преследуют определенную цель. Во-первых, согласно Федеральному закону «О борьбе с терроризмом» одна из целей террористической акции создание опасности гибели людей или причинение значительного материального ущерба. Во-вторых, диверсия, согласно ст. 281 Уголовного кодекса РФ преследует цель подрыва экономической безопасности и обороноспособности Российской Федерации. В этой связи преднамеренный подрыв любой из дамб в штатных условиях их эксплуатации не несет в себе катастрофических последствий для предприятия и селитебной территории. В тоже время, совмещение случайных событий преднамеренного подрыва и спонтанно проявляющихся экстремальных явлений природы, маловероятно.

Таким образом, основными факторами повреждения или разрушения дамб-обвалований хранилищ производственных отходов являются **нештатные ситуации**, вызванные спонтанно проявляющимися экстремальными явлениями природы, нарушением прочности (устойчивости) сооружений, нарушением фильтрационной прочности различных частей дамб и большими потерями на фильтрацию. Непосредственными причинами повреждений и нарушений могут быть как случайные отклонения от расчетных значений, так и ошибки в прогнозах и расчетах при проектировании, строительстве и эксплуатации сооружений.

2. Определение сценариев развития аварий на хранилищах производственных отходов

Рассмотрим вероятные сценарии возникновения и развития запроектных и гипотетических гидродинамических аварий на хранилищах производственных отходов предприятия, выделив для каждой составляющей объекта группы сценариев с наиболее тяжелыми, катастрофическими последствиями их развития.

Пруд-накопитель предприятия

Группа сценариев А. Разрушение земляной дамбы пруда-накопителя вследствие нештатных ситуаций, вызванных спонтанно проявляющимися экстремальными явлениями природы → образование прорана → формирование волны прорыва → затопление прилегающей территории.

При таком варианте развития аварии наиболее вероятны следующие сценарии:

Сценарий А1. Совмещение случайных событий аварийного переполнения ***пруда-накопителя*** водой вследствие экстремальных ливневых осадков и ураганного ветра, способствующего формированию волны перелива через ограждающую дамбу, исходя из условия разрушения земляных дамб – толщина слоя переливающейся воды до 1,5 м в течение 1 ч.

Сценарий А2. Совмещение случайных событий аварийного переполнения ***пруда-накопителя*** водой вследствие экстремальных ливневых осадков и землетрясения не менее 7 - 8 баллов, приводящего к повреждению земляной дамбы с образованием трещин и пробоин.

Пруд-аккумулятор предприятия

Группа сценариев В. Разрушение земляной дамбы пруда-аккумулятора вследствие нештатных ситуаций, вызванных спонтанно проявляющимися экстремальными явлениями природы → образование прорана → формирование волны прорыва → затопление прилегающей территории.

При таком варианте развития аварии наиболее вероятны следующие сценарии:

Сценарий В1. Совмещение случайных событий аварийного переполнения ***пруда-аккумулятора*** водой вследствие экстремальных ливневых осадков и ураганного ветра, способствующего формированию волны перелива через ограждающую дамбу, исходя из условия разрушения земляных дамб – толщина слоя переливающейся воды до 1,5 м в течение 1 ч.

Сценарий В2. Совмещение случайных событий аварийного переполнения ***пруда-аккумулятора*** водой вследствие экстремальных ливневых осадков и землетрясения не менее 7 - 8 баллов, приводящего к повреждению земляной дамбы с образованием трещин и пробоин.

Аккумулярующие емкости отвалного хозяйства предприятия

Группа сценариев С. Разрушение дамбы аккумуляющей емкости №1 - главного водосборника в составе водоперехватывающей системы отвалного хозяйства вследствие нештатных ситуаций, вызванных спонтанно проявляющимися экстремальными явлениями природы → образование прорана → формирование волны прорыва → затопление прилегающей территории.

При таком варианте развития аварии наиболее вероятны следующие сценарии:

Сценарий С1. Совмещение случайных событий аварийного переполнения ***аккумулярующей емкости №1 отвалного хозяйства*** водой вследствие экстремальных ливневых осадков с учетом водосбора с поверхности отвала фосфогипса и ураганного ветра, способствующего формированию волны перелива через ограждающую дамбу, исходя из условия разрушения земляных дамб – толщина слоя переливающейся воды до 1,5 м в течение 1 ч.

Сценарий С2. Совмещение случайных событий аварийного переполнения ***аккумулярующей емкости №1 отвалного хозяйства*** водой вследствие экстремальных ливневых осадков с учетом водосбора с поверхности отвала фосфогипса и землетрясения не менее 7 - 8 баллов, приводящего к повреждению земляной дамбы с образованием трещин и пробоин.

Сценарий С3. Обрушение в ***аккумулярующую емкость №1 отвалного хозяйства*** оползневого склона отвала фосфогипса вследствие землетрясения и насыщения складированных отходов производства обильными атмосферными осадками с формированием волны вытеснения.

Сценарий С4. Обрушение в ***аккумулярующую емкость №1 отвалного хозяйства*** оползневого склона отвала фосфогипса вследствие насыщения складированных отходов производства обильными атмосферными осадками с формированием волны вытеснения.

3. Расчет вероятных зон затопления при разрушении ограждающих дамб хранилищ производственных отходов

Расчет вероятных зон затопления жидкими производственными отходами и технической водой, вследствие разрушения ограждающих дамб пруда-накопителя и пруда-аккумулятора и пионерной дамбы аккумулирующих емкостей отвального хозяйства, выполнен по методике Госгортехнадзора России РД 09-391-00 / 7 /.

В соответствии с Методикой РД 09-391-00 проведены: расчеты образования прорана, расчеты параметров потока в сечении у подошвы откоса дамбы, расчеты максимальных параметров потока по трассе растекания, определены и картированы зоны возможного затопления.

Основные положения, принятые при расчетах:

- отходы в хранилищах представляют собой однородный состав;
- поперечное сечение прорана имеет прямоугольную форму и не изменяется по всей длине прорана;
- после образования прорана жидкость растекается по местности, имеющей естественный уклон;
- аварийное переполнение пруда-аккумулятора водой вследствие экстремальных ливневых осадков не сопровождается размывом шламов, поверхность которых заросла камышом и травой;
- учитывая, что ограждающие дамбы хранилищ отходов сложены из суглинков, обладающих сцеплением с удельными показателями, превышающими 30 – 60 кПа, предполагалось, что при аварийном размыве дамбы отрыв грунта от массива происходит не отдельными частицами, а агрегатами, крупность которых составляет 1,0 – 1,5 мм.

Исходные данные по составляющим объекта, приведены в табл.2.

Таблица 2

Исходные данные по составляющим объекта

Наименование параметра	Пруд-накопитель	Пруд-аккумулятор	Аккумулирующая емкость №1 *)
Максимальная глубина вытекающей из пруда слоя жидкости (для отходов однородного состава определяется высотой дамбы), м	2,6	1,28	1,5
Площадь хранилища по максимальной отметке гребня дамбы, тыс. м ²	220	76	83
Полный объем хранилища отходов, тыс. м ³	537	98	11,2
Ширина гребня дамбы, м	5,0	3,0	5,5
Заложение внутреннего откоса дамбы, м/м	1:3	1:4	1:1,5
Заложение внешнего откоса дамбы, м/м	1:2	1:1,6	1:1,5
Плотность частиц грунта, т/м ³	2,72	2,72	2,72
Плотность сухого грунта тела дамбы, т/м ³	1,63	1,63	1,63
Средневзвешенный размер частиц грунта, мм	1,5	1,5	1,5

Примечание: *) Емкость №1 – главный водосборник в составе водоперехватывающей системы отвального хозяйства

Расчеты параметров прорана, параметров потока жидких отходов в сечение у подошвы откоса дамбы и параметров потока по трассе растекания выполнены **методом итераций** в математическом пакете прикладных программ Mathcad 11 Professional. Результаты расчетов приведены в табл.3.

Таблица 3

Результаты расчетов параметров прорана
 и параметров потока жидких отходов в сечение у подошвы откоса дамбы

Наименование параметра	Пруд-накопитель группа сценариев «А»	Пруд-аккумулятор группа сценариев «В»	Аккумулирующая емкость №1 группа сценариев «С»
Расчет параметров прорана и потока в сечении у подошвы откоса дамбы (Методика Госгортехнадзора России РД 09-391-00 / 7 /)			
Максимальный расход потока через проран, м ³ /с	22.242	3.773	5.664
Максимальная глубина прорана, м	2.6	1.28	1.5
Максимальная ширина прорана, м	3.916	1.928	2.259

Максимальная глубина потока в сечении прорана, м	1.621	0.797	0.94
Максимальная скорость потока через проран, м/с	3.503	2.457	2.668
Максимальный объем отходов, вытекший из хранилища за время T , м ³	1.934E+4	3.418E+3	3.533E+3
Полное время размыва прорана и вылива отходов из хранилища, ч	1.49	55.6 мин.	1.32

1. Вероятные зоны затопления при разрушении ограждающей дамбы пруда-накопителя вследствие реализации группы сценариев «А». По результатам итерационных расчетов построим зоны затопления при разрушении ограждающей дамбы пруда-накопителя вследствие реализации группы сценариев «А», выделив створы с наиболее значимыми параметрами волны прорыва.

Створы расчетной трассы с наиболее значимыми, реперными параметрами движения волны прорыва на прилегающей к хранилищу местности, приведены в табл.4.

Таблица 4

Результаты расчетов параметров потока в реперных створах по трассе растекания при аварийном разрушении дамбы пруда-накопителя (Методика Госгортехнадзора России РД 09-391-00 / 7 /)

№ створа	Расстояние от дамбы, м	Глубина потока, м	Скорость потока, м/с	Ширина потока, м	Гидродинамическое давление потока, кПа	Время добегания волны прорыва до границы створа, ч.
1	0	1.146	3.503	3.916	28.492	0
2	100	0.12	0.907	9.733	1.909	0.047
3	200	0.051	0.592	31.111	0.815	0.061
4	300	0.047	0.422	56.552	0.413	0.198
5	400	0.044	0.14	99.627	0.045	0.794
6	500	0.04	0.048	180.369	5.307E-3	2.905
7	600	0.037	0.016	328.232	5.768E-4	10.575
8	700	0.034	5.156E-3	599.974	6.172E-5	37.713
9	800	0.031	1.678E-3	1.097E+3	6.87E-6	132.455

Зона 10-часового затопления и створы с наиболее значимыми параметрами волны прорыва при аварийном разрушении дамбы пруда-накопителя, показаны на рис.2.

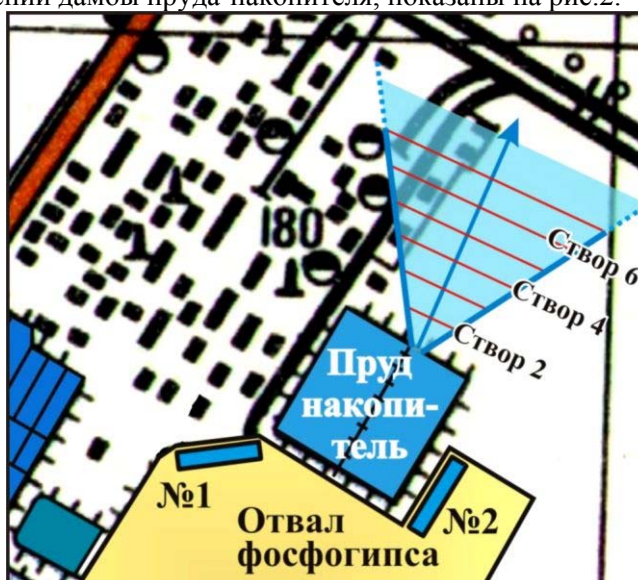


Рис.2. Зона затопления при аварийном разрушении дамбы пруда-накопителя

С юго-востока и юга пруд-накопитель примыкает к расширяемому отвалу фосфогипса. С северо-востока располагается плоский участок местности с поверхностью близкой к горизонтальной. Основываясь на сказанном, можно предположить, что преимущественное направление потока наиболее вероятно в северо-восточном направлении. При достижении потоком железнодорожного

полотна глубина потока не превышает 5 см. Следовательно ж/д насыпь будет служить препятствием для растекания потока жидкости по территории предприятия.

Анализ полученных данных позволяет утверждать, что через 500 м (створ №6) волна прорыва вырождается в зону разлива с толщиной слоя растекающейся жидкости не более 4 см и скоростью движения менее 0,17 км/ч (скорость спокойно идущего человека 5 км/ч). Время добегания потока до створа №6 около 3 ч.

Наиболее опасная зона от подошвы откоса дамбы до третьего створа (200 м), куда волна прорыва добегают за 4 мин. На этом участке скорость движения потока изменяется от 12,6 км/ч в проране до 2,0 км/ч в створе №3 (скорость бегущего человека 16 км/ч), а глубина потока от 1,15 м у подошвы откоса дамбы до 5 см в створе №3. Гидродинамическое давление потока изменяется от 28.5 кПа в проране до 0.8 кПа в створе №3.

Графики изменения глубины, скорости и времени движения потока в зависимости от расстояния до подошвы откоса дамбы, показаны, в качестве примера, на рис.3, рис.4 и рис.5.

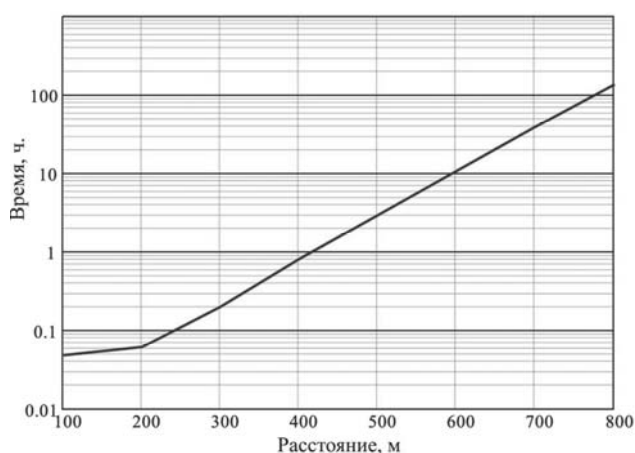


Рис.3. Времени движения потока в зависимости от расстояния до сечения у подошвы откоса дамбы

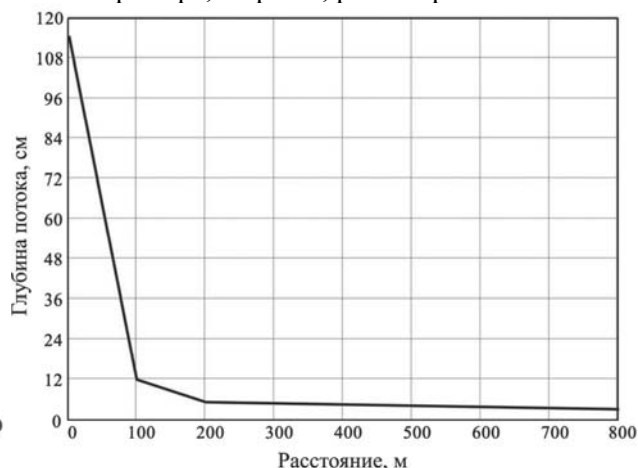


Рис.4. Глубина потока в зависимости от расстояния до сечения у подошвы откоса дамбы

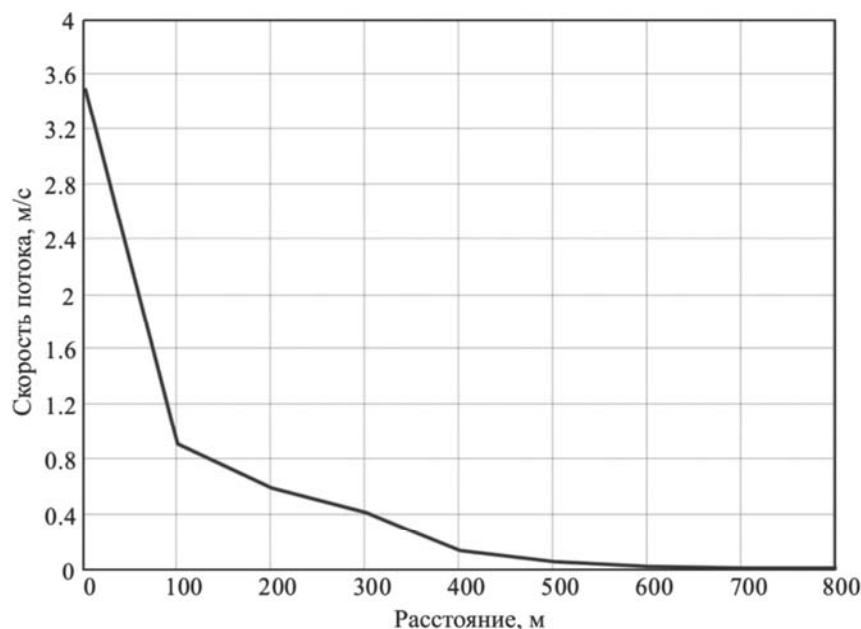


Рис.5. Скорость потока в зависимости от расстояния до сечения у подошвы откоса дамбы

2. Вероятные зоны затопления при разрушении ограждающей дамбы пруда-аккумулятора вследствие реализации группы сценариев «В». По результатам итерационных расчетов построим зоны затопления при разрушении ограждающей дамбы пруда-аккумулятора вследствие реализации группы сценариев «В», выделив створы с наиболее значимыми параметрами волны прорыва.

Створы расчетной трассы с наиболее значимыми, реперными параметрами движения волны прорыва на прилегающей к хранилищу местности, приведены в табл.5.

Таблица 5

Результаты расчетов параметров потока в реперных створах по трассе растекания при аварийном разрушении дамбы пруда- аккумулятора (Методика Госгортехнадзора России РД 09-391-00 / 7 /)

№ створа	Расстояние от дамбы, м	Глубина потока, м	Скорость потока, м/с	Ширина потока, м	Гидродинамическое давление потока, кПа	Время добегания волны прорыва до границы створа, ч.
1	0	0.563	2.457	1.928	14.013	0
2	50	0.058	0.635	6.854	0.936	0.034
3	100	0.024	0.41	21.978	0.39	0.044
4	150	0.023	0.298	39.895	0.206	0.14
5	200	0.021	0.099	70.105	0.023	0.56
6	250	0.019	0.034	126.659	2.69E-3	2.04
7	300	0.018	0.011	230.037	2.943E-4	7.403
8	350	0.017	3.694E-3	419.738	3.168E-5	26.321
9	400	0.015	1.205E-3	766.364	3.68E-6	92.197

Зона 7-часового затопления и створы с наиболее значимыми параметрами волны прорыва при аварийном разрушении дамбы пруда-аккумулятора, показаны на рис.6.



Рис.6. Зона затопления при аварийном разрушении дамбы пруда-аккумулятора

Анализ полученных данных позволяет утверждать, что через 300 м (створ №7) волна прорыва вырождается в зону разлива с толщиной слоя растекающейся жидкости около 1.8 см и скоростью движения менее 0,04 км/ч (скорость спокойно идущего человека 5 км/ч). Время добегания до створа №7 более 7 ч. При достижении потоком автодороги глубина потока не превышает 1.5 см. Следовательно, насыпь автодороги, которая выше прилегающей местности на 1,5 м, будет служить препятствием для растекания потока жидкости в направлении реки.

Наиболее опасная зона от подошвы откоса дамбы до четвертого створа (150 м), куда волна прорыва добежит за 8 мин. На этом участке скорость движения потока изменяется от 8,8 км/ч в проране до 1,0 км/ч в створе №4 (скорость бегущего человека 16 км/ч), а глубина потока от 60 см у подошвы откоса дамбы до 2.3 см в створе №4. Гидродинамическое давление потока изменяется от 14.0 кПа в проране до 0.2 кПа в створе №4.

3. Вероятные зоны затопления при разрушении пионерной дамбы водосборной системы отвального хозяйства вследствие реализации группы сценариев «С». По результатам итерационных расчетов построим зоны затопления при разрушении дамбы емкости №1 отвального хозяйства вследствие реализации группы сценариев «С», выделив створы с наиболее значимыми параметрами волны прорыва.

Створы расчетной трассы с наиболее значимыми, реперными параметрами движения волны прорыва на прилегающей к хранилищу местности, приведены в табл.6.

Результаты расчетов параметров потока в реперных створах по трассе растекания при аварийном разрушении дамбы емкости №1 отвального хозяйства (Методика Госгортехнадзора России РД 09-391-00 / 7 /)

№ створа	Расстояние от дамбы, м	Глубина потока, м	Скорость потока, м/с	Ширина потока, м	Гидродинамическое давление потока, кПа	Время добегания волны прорыва до границы створа, ч.
1	0	0.664	2.668	2.259	16.525	0
2	50	0.079	0.699	7.143	1.134	0.027
3	100	0.036	0.511	22.144	0.607	0.04
4	150	0.033	0.297	40.793	0.204	0.14
5	200	0.031	0.096	73.579	0.021	0.578
6	250	0.028	0.032	135.781	2.329E-3	2.193
7	300	0.026	0.01	251.618	2.388E-4	8.217
8	350	0.023	3.229E-3	467.446	2.421E-5	30.111
9	400	0.021	1.026E-3	867.404	2.62E-6	108.324

Зона 8-часового затопления и створы с наиболее значимыми параметрами волны прорыва при аварийном разрушении дамбы водосборной системы отвального хозяйства, показаны на рис.7.

Анализ полученных данных позволяет утверждать, что через 300 м (створ №7) волна прорыва вырождается в зону разлива с толщиной слоя растекающейся жидкости около 2.6 см и скоростью движения менее 0,036 км/ч (скорость спокойно идущего человека 5 км/ч). Время добегания до створа №7 более 8 ч. При достижении потоком железнодорожного полотна и дамбы шламонакопителя глубина потока не превышает 2 - 3 см. Следовательно ж/д насыпь будет служить препятствием для растекания потока жидкости по территории предприятия.

Наиболее опасная зона от подошвы откоса дамбы до четвертого створа (150 м), куда волна прорыва добегают за 8,4 мин. На этом участке скоростью движения потока изменяется от 9,6 км/ч в проране до 1,0 км/ч в створе №4 (скорость бегущего человека 16 км/ч), а глубина потока от 66,4 см у подошвы откоса дамбы до 3.3 см в створе №4. Гидродинамическое давление потока изменяется от 16.5 кПа в проране до 0.2 кПа в створе №4.



Рис.7. Зона затопления при аварийном разрушении дамбы водосборной системы отвального хозяйства

4. Оценка возможного числа пострадавших и возможного ущерба от аварий на хранилищах производственных отходов предприятия

Показатели последствий силового воздействия волны прорыва на человека, здания и сооружения определяются для территории в пределах зоны затопления, в границах которой воздействие волны прорыва опасно для жизни или здоровья человека, может вызвать разрушение или повреждение зданий и сооружений.

По Методике / 7 / в качестве **критического значения параметра волны прорыва** для человека рекомендуется принимать глубину потока в зоне растекания $h_{\max} = 1,5$ м или параметры потока, приводящие к разрушению зданий и сооружений, в которых находятся люди.

С целью определения **максимально возможных последствий** силового воздействия волны прорыва на человека, здания и сооружения выберем, в качестве **минимальных критических параметров** волны прорыва, глубину потока $h_{\text{кр}}^{\min} = 1,0$ м и скорость потока $V_{\text{кр}}^{\min} = 1,0$ м/с для **слабых разрушений наиболее уязвимых элементов** инженерно-технического комплекса – емкостей, трубопроводов на опорах и деревянных зданий в 1-2 этажа (Приложение 5, Методики /7/; табл.3 и табл.4 Методики / 10 /).

Результаты сравнения минимальных критических параметров $h_{\text{кр}}^{\min}$ и $V_{\text{кр}}^{\min}$ с соответствующими параметрами волн прорыва $h = f(L)$ и $V = f(L)$ ограждающих дамб пруда-накопителя, пруда-аккумулятора и аккумулирующей емкости №1 отвалного хозяйства, показаны на графиках рис.8 и рис.9.

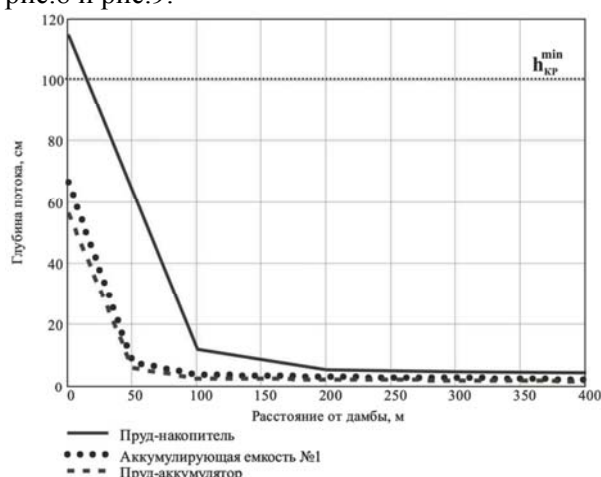


Рис.8. Изменение глубины потока с расстоянием $h = f(L)$ и значение минимального критического параметра глубины $h_{\text{кр}}^{\min}$

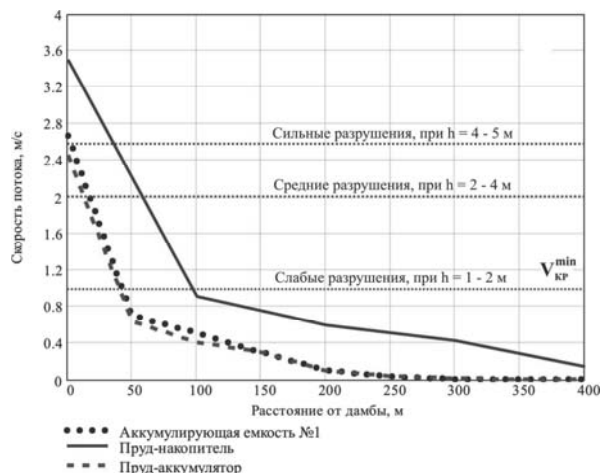


Рис.9. Изменение скорости потока с расстоянием $V = f(L)$ и значение минимального критического параметра скорости $V_{\text{кр}}^{\min}$

Сопоставляя по приведенным графикам расчетные значения глубины $h = f(L)$ и скорости $V = f(L)$ потоков для рассматриваемых сценариев развития аварий с выбранными значениями **минимальных критических параметров** волны прорыва $h_{\text{кр}}^{\min} = 1,0$ м и $V_{\text{кр}}^{\min} = 1,0$ м/с можно видеть, что показатели силового воздействия волны прорыва на человека, здания и сооружения значительно ниже выбранных минимальных критических параметров для слабых разрушений.

Основываясь на выполненном выше анализе аварий на гидротехнических сооружениях предприятия с высокой степенью достоверности можно утверждать, что в зонах возможных затоплений вероятность травмирования людей, повреждения зданий и сооружений исчезающе мала. Основной ущерб от аварий будет определяться стоимостью восстановительных работ разрушенного хранилища отходов и нанесенным экологическим ущербом.

При определении экологического ущерба учитывались удельные ущербы (взвешенные вещества - 12078 руб./т, растворенные в воде составляющие фосфогипса – 45507 руб./т) и суммарная растворимость в воде элементов-примесей складированных отходов, N г/100 г воды.

Экологический ущерб от загрязнения земель вредными и токсичными составляющими отходов экстракционной фосфорной кислоты и взвешенными веществами, приведен в табл.7.

Таблица 7

Экологический ущерб от загрязнения земель вредными и токсичными составляющими отходов и взвешенными веществами

Наименование группы сценариев	Экологический ущерб, млн. руб.
Пруд-накопитель	
Группа сценариев «А»	46,086
Пруд-аккумулятор	

Группа сценариев «В»	8,25
<i>Аккумулялирующая емкость №1 отвального хозяйства</i>	
Группа сценариев «С»	1,08

5. Оценка риска аварий

Для оценки риска аварий на гидротехнических сооружениях необходимо знать вероятность (относительную частоту $Q_{ЭПЯ}(\Delta t)$) возникновения инициирующего события – экстремального природного явления (ЭПЯ) и условную вероятность q развития аварийной ситуации на потенциально опасном объекте при условии нахождения его в зоне действия поражающих факторов ЭПЯ / 9; 12 /.

Вероятность $Q_{ЭПЯ}(\Delta t)$ возникновения хотя бы одного экстремального природного явления за интервал времени Δt описывается распределением Пуассона

$$Q_{ЭПЯ}(\Delta t) = \int_0^{\Delta t} \lambda \exp(-\lambda \cdot t) dt, \quad (1)$$

Значение величины λ - среднего числа ЭПЯ в единицу времени, определялось с учетом среднестатистических данных для спонтанно проявляющихся экстремальных явлений природы:

1. Частота реализации катастрофических ливней интенсивностью $60\text{мм}/12\text{ч}$ или $80\text{мм}/48\text{ч}$ оценивается экспертами 90% вероятностью не превышения в течение 25 лет среднестатистической максимальной суммы осадков за декаду. Сумма осадков по декадам на территории Саратовской обл. приведена в табл.8.

Таблица 8

Сумма осадков (мм) по декадам на территории Саратовской обл.

Месяцы	VI		VII			VIII			IX			X			XI		VI- XI	
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1		2
Хвалынский		10	28	30	37	26	7	41	18	24	48	2	0	53	26	31	13	394
Балаково	0	8	20	36	11	31	0	51	13	22	37	4	0	60	23	17	10	343

2. Частота реализации максимальной скорости ураганного ветра для Саратовской области $V_{5\%} = 33$ м/с (118,8 км/ч) оценивается по данным / 4 / 5% вероятностью возникновения в течение 20 лет.

3. Степень сейсмической опасности для г. Балаково оценивается по данным *СНиП II-7-81 «Строительство в сейсмических районах» с изменениями №5 от 1.01.2000 г. / 8 /*, 1% вероятностью превышения в течение 50 лет расчетной интенсивности в 7 баллов.

4. Частота обрушения в аккумулялирующую емкость №1 отвального хозяйства оползневого склона отвала фосфогипса, с учетом данных об оползневой активности отвала (по оценке экспертов возникновение оползня с 50% вероятностью в течение 20 лет) и с учетом вероятности появления оползня в районе размещения рассматриваемой аккумулялирующей емкости, составит $6,4 \times 10^{-3}$ события/год.

Дерево событий для рассмотренных выше сценариев приведено на рис.10.

Аварийная ситуация наступает в том случае, когда уровни поражающих факторов X_H экстремального природного явления превышают устойчивость сооружения X_0 - критическую нагрузку, т.е. условием развития аварии на объекте является $X_H > X_0$. Вероятность выполнения данного условия $q = P(X_H > X_0)$.

При определении условной вероятности развития аварии на объекте q , исходили из предположения, что при нахождении объекта в зоне действия ЭПЯ с указанными выше параметрами поражающих факторов (интенсивность землетрясения $I > 7$ баллов; скорость ветра $V > 33$ м/с; ливень с интенсивностью более $60\text{мм}/12\text{ч}$ или $80\text{мм}/48\text{ч}$), гидротехнические сооружения на его территории поражаются достоверно ($q = 1$).

Риск аварий $R = Q_{ЭПЯ}(\Delta t) \times q$ на хранилищах производственных отходов для каждого из рассмотренных выше сценариев приведен в табл.9.

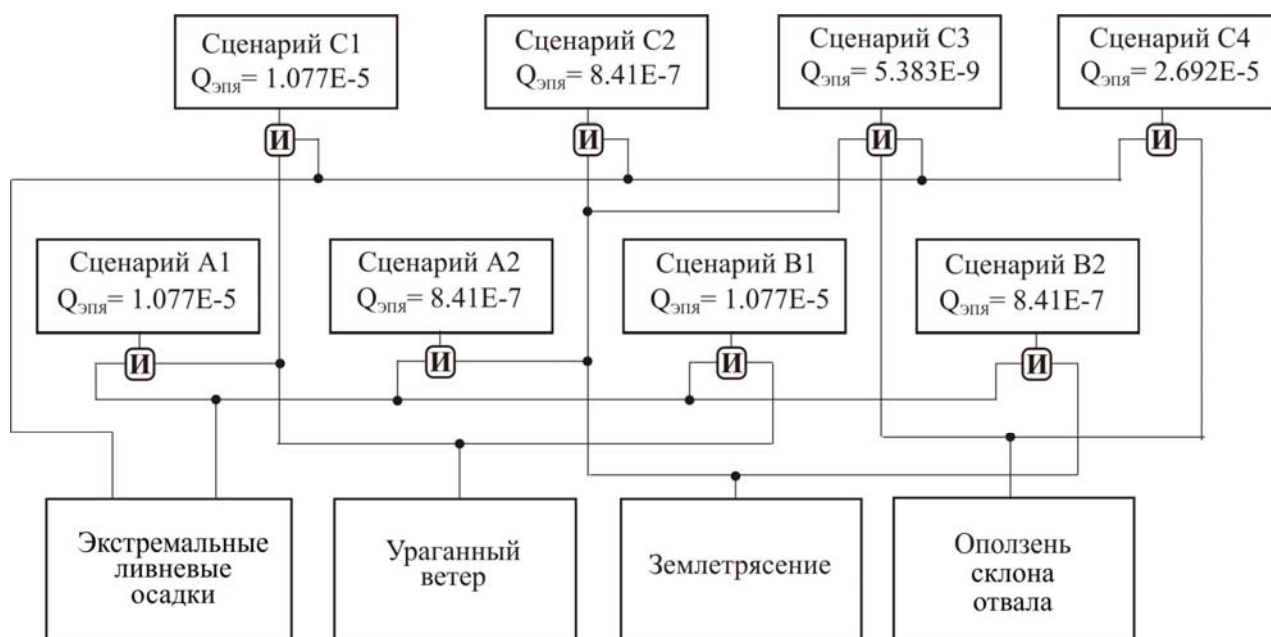


Рис.10. Дерево событий для сценариев развития аварий на хранилища производственных отходов

Таблица 9

Риск аварий на хранилищах производственных отходов

Наименование сценария	Риск аварий, 1/год
<i>Пруд-накопитель</i>	
Сценарий A1	1.077E-5
Сценарий A2	8.41E-7
<i>Пруд-аккумулятор</i>	
Сценарий B1	1.077E-5
Сценарий B2	8.41E-7
<i>Аккумулирующая емкость №1 отвального хозяйства</i>	
Сценарий C1	1.077E-5
Сценарий C2	8.41E-7
Сценарий C3	5.383E-9
Сценарий C4	2.692E-5

Наиболее высокий риск развития аварии по сценарию C4 – разрушение дамбы аккумулирующей емкости отвального хозяйства вследствие обрушения оползневого склона отвала фосфогипса при насыщении складированных отходов производства обильными атмосферными осадками.

Экологический риск загрязнения земель при развитии аварии по рассмотренным выше сценариям приведен в табл.10

Таблица 10

Экологический риск загрязнения земель при развитии аварий на хранилищах производственных отходов

Наименование сценария	Экологический риск, руб./год
<i>Пруд-накопитель</i>	
Сценарий A1	496,4
Сценарий A2	38,8
<i>Пруд-аккумулятор</i>	
Сценарий B1	88,9
Сценарий B2	6,9
<i>Аккумулирующая емкость №1 отвального хозяйства</i>	
Сценарий C1	11,6
Сценарий C2	0,9
Сценарий C3	0,006
Сценарий C4	29,1

Наиболее высокий экологический риск загрязнения земель можно ожидать от реализации сценария «А1», при разрушении дамбы пруда-накопителя вследствие переполнения его ливневыми осадками, сопровождаемыми ураганым ветром.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Параметризация опасных природных процессов и явлений для городов и транспортных коммуникаций / К.А. Козлов (ВНИИ ГО ЧС), М.М. Максимов (ИГЭ РАН), Б.Н. Порфирьев (ИСА РАН) и др. // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 1998. Вып.4. С. 37 – 45.
2. Курбатов А.С., Мягков С.М., Шныпарков А.Л. Природный риск для городов России. М.: НИИПИ экологии городов, 1997. 240 с.
3. Котляревский В.А., Кочетков К.Е., Носач А.А. и др. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. В 3 книгах. Кн.1. М.: АСВ, 1995. 320 с.
4. Методика оценки последствий ураганов. Сборник методик по прогнозированию возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий в РСЧС. В 2 книгах. Кн. 2. М.: МЧС, 1994. 80 с.
5. Методика оценки последствий землетрясений. Сборник методик по прогнозированию возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий в РСЧС. В 2 книгах. Кн. 1. М.: МЧС, 1994. 55 с.
6. Оценка сейсмической опасности и сейсмического риска // ГНТП «Безопасность населения и народнохозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф» М.: РАН, 1997. 55с.
7. РД 09-391-00. Методика расчета зон затопления при гидродинамических авариях на хранилищах производственных отходов химических предприятий. Серия 09. Вып. 4. М.: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2002. 68 с.
8. СНиП II-7-81 «Строительство в сейсмических районах» с изменениями №5 от 1.01.2000 г.
9. Козлитин А.М., Попов А.И., Богуш Б.Б., Козлитин П.А. Математические модели и методы количественной оценки экологического и интегрированного риска аварий гидротехнических сооружений / Устойчивое экологическое развитие: региональные аспекты: Международ. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2001. С.34-62.
10. Мальцев В.А. Методики оценки обстановки на промышленном предприятии при чрезвычайных ситуациях: Учеб.-метод. пособие. М.: ИПК госслужбы, 1993. 125 с.
11. Козлитин А.М., Попов А.И. Оценка риска при декларировании безопасности химических производств // Безопасность труда в промышленности. 1997. №2. С. 21-25.
12. Козлитин А.М., Попов А.И., Козлитин П.А. Теоретические основы и практика анализа техногенных рисков. Вероятностные методы количественной оценки опасностей техносферы. Саратов: СГТУ, 2002. 180 с.
13. Малышев В.А., Гозенбук В.Л. Вопросы повышения устойчивости и обеспечения безопасности функционирования гидротехнических сооружений // ВИМИ, Гражданская оборона. 1989. Вып.8. С. 11-16.
14. Малик Л.К. Природные и антропогенные факторы разрушения гидротехнических сооружений (причины, последствия, меры предупреждения) // Известия РАН. Сер. географич. 1998. №5. С. 81-110.
15. Калустян Э.С. Статистика и причины аварий плотин // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 1997. Вып. 3. С. 40-50.