

УДК 626.01-047.58:502.1(575.23)
DOI: 10.36979/1694-500X-2022-22-12-93-99

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ АВАРИИ,
СВЯЗАННОЙ С РАСПРОСТРАНЕНИЕМ ПОТОКА НЕКОНСОЛИДИРОВАННОЙ
ЖИДКОСТИ ПРИ ПЕРЕЛИВЕ ЧЕРЕЗ ГРЕБЕНЬ ДАМБЫ
ХВОСТОХРАНИЛИЩА РУДНИКА КУМТОР**

К.К. Абдыгазиев, Р.Б. Чукин, Самаган у. Б.

Аннотация. Исследовано развитие гидродинамической аварии при переливе промышленных отходов через гребень дамбы хвостохранилища, проведена оценка ее последствий. Выполнены расчеты по развитию гидродинамической аварии с применением компьютерной программы. Определены параметры образования прорана (процесса разрушения дамбы), потока в сечении у подошвы откоса дамбы и по трассе растекания во времени и длительность его развития. Образование прорана в теле дамбы, отсыпанного из крупнообломочных грунтов, происходит значительно медленнее по сравнению с вариантом, когда тело дамбы частично сформировано из намываемых отходов промышленного производства и связанных грунтов. Данное обстоятельство является одним из важнейших факторов снижения риска для жизни людей в случае развития гидродинамической аварии, поскольку развитие прорана в крупнообломочных грунтах происходит в течение более длительного времени.

Ключевые слова: дамба; хвостохранилище; гидродинамическая авария; проран; зона затопления.

**КУМТӨР КЕНИНДЕГИ КАЛДЫК САКТООЧУ ЖАЙДЫН ДАМБАСЫНЫН
КЫРКАСЫ АРКЫЛУУ КУЙГАНДА КОНСОЛИДАЦИЯЛАНБАГАН СУЮКТУКТУН
АГЫМЫНЫН ТАРАЛЫШЫНА БАЙЛАНЫШТУУ
ГИДРОДИНАМИКАЛЫК АВАРИЯНЫН ӨНҮГҮШҮН ИЗИЛДӨӨ**

К.К. Абдыгазиев, Р.Б. Чукин, Самаган у. Б.

Аннотация. Калдыктарды сактоочу жайдын дамбасынын кыркасы аркылуу өнөр жай калдыктарын куюуда гидродинамикалык авариянын өөрчүшү изилденип, анын кесепеттерине баа берилди. Компьютердик программаны колдонуу менен гидродинамикалык аварияны иштеп чыгуу боюнча эсептөөлөр жүргүзүлдү. Тешиктин пайда болуу параметрлери (дамбанын бузулуу процесси), дамбанын эңкейиш таманындагы кесилиште жана трассада агуусу убакыттын өтүшү менен жана анын өнүгүү узактыгы боюнча аныкталган. Плотинанын тулкусунда ири топурактан толтурулган тешиктин пайда болушу плотинанын тулкусу жарым-жартылай жуулган өндүрүш калдыктарынан жана бириккен топурактардан түзүлгөн вариантка салыштырмалуу бир топ жайыраак болот. Бул жагдай гидродинамикалык авария болгон учурда адам өмүрүнө коркунучту азайтуунун эң маанилүү факторлорунун бири болуп саналат, анткени кесек катмарлуу топурактарда тешиктин пайда болушу узак убакытка созулат.

Түйүндүү сөздөр: дамба; калдыктарды сактоочу жай; гидродинамикалык авария; тешик; суу каптоо зонасы.

INVESTIGATION OF THE DEVELOPMENT
OF A HYDRODYNAMIC ACCIDENT ASSOCIATED WITH THE SPREAD
OF UNCONSOLIDATED LIQUID FLOW DURING OVERFLOW
OVER THE CREST OF THE KUMTOR MINE TAILINGS DAM

K.K. Abdygaziev, R.B. Chukin, Samagan u. B.

Abstract. The development of a hydrodynamic accident during the overflow of industrial waste over the crest of the tailings dam was studied and its consequences were assessed. Calculations on the development of a hydrodynamic accident were performed using a computer program. The calculations determined the parameters of the formation of a breakthrough (the process of the dam breach), the flow in the section at the base of the dam slope and along the route of the spread of the breach in time, and the duration of the development of the breach. The formation of a hole in the body of the dam, backfilled from coarse soils, is much slower compared to the option when the body of the dam is partially formed from washed industrial waste and cohesive soils. This circumstance is one of the most important factors in reducing the risk of a threat to human life in the event of a hydrodynamic accident. This is explained by the fact that the development of a hole in coarse clastic soils takes a rather long time.

Keywords: dam; tailings storage facility; hydrodynamic accident; breach; flood zone.

Проведено исследование развития гидродинамической аварии при переливе промышленных отходов через гребень дамбы хвостохранилища золотоизвлекающей фабрики (ЗИФ) рудника Кумтор при максимальной проектной высоте дамбы – 49,5 м.

Развитие гидродинамической аварии при переливе через гребень дамбы связано с размывом не только тела дамбы, но и с захватом пляжной зоны. Процесс развития гидродинамической аварии начинается с формирования прорана в теле дамбы. Скорость развития прорана во многом определяется гранулометрическим составом грунтов тела дамбы, так как от это зависит способность к сопротивлению размыву.

На рисунке 1 приведен график гранулометрического состава грунтов, укладываемых в тело дамбы.

В расчетах развития прорана зерновой состав характеризуется двумя показателями: максимальным и средневзвешенным размером частиц грунта. Средневзвешенный размера частиц грунта составил $d_{ср} = 10,53$ мм [1].

Расчеты по развитию гидродинамической аварии выполнены на программе «Проран» и включают в себя три этапа [1, 2]:

1. Расчет образования прорана (процесса разрушения дамбы).
2. Определение параметров потока в сечении у подошвы откоса дамбы.
3. Расчет максимальных параметров потока по трассе растекания.

В таблице 1 приведены исходные данные для расчета развития гидродинамической аварии.

Тело дамбы отсыпано из крупнообломочных грунтов. Образование прорана в теле дамбы, отсыпанного из крупнообломочных грунтов, происходит значительно медленнее по сравнению с вариантом, когда тело дамбы частично сформировано из намываемых отходов промышленного производства и связных грунтов. Данное обстоятельство является одним из важнейших факторов снижения риска угрозы жизни людей в случае развития гидродинамической аварии. Это объясняется тем, что развитие прорана в крупнообломочных грунтах происходит в течение более длительного времени. А с учетом аккумулирующей емкости хвостохранилища это время еще увеличивается и в нашем случае составляет несколько дней. В этой связи можно предположить, что данный процесс становится контролируемым и есть возможность для принятия оперативных мер.

В таблице 2 приведены основные результаты расчета по образованию прорана.

На рисунке 2 показаны графики развития глубины, ширины и длины прорана во времени. Процесс развития прорана показывает, что в течение суток глубина и ширина прорана сопоставимы по размерам и не превышают 5 метров. Далее, при достижении прорана глубины неконсолидированного слоя в 5 м, развитие прорана происходит только за счет увеличения его ширины. При этом, ширина

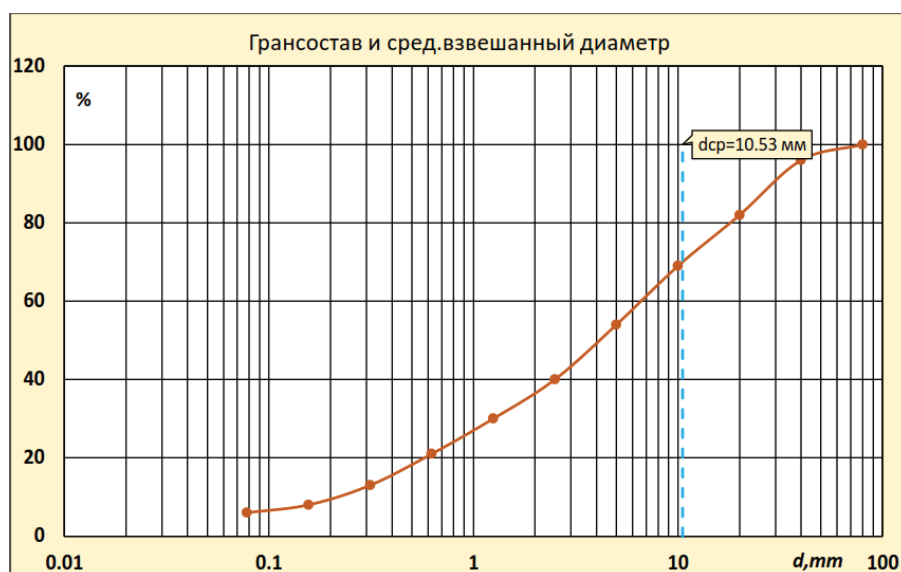


Рисунок 1 – График зернового состава грунтов, укладываемых в тело дамбы

Таблица 1 – Исходные данные для расчета развития гидродинамической аварии

Тип грунта дамбы	Несвязный
Нормальное удельное сцепление грунта, Па	0,00
Плотность частиц грунта, т/м ³	2,65
Плотность сухого грунта, т/м ³	1,71
Средневзвешенный диаметр частиц грунта, мм	10,53
Максимальный диаметр частиц грунта, мм	75,0
Площадь хранилища, м ²	5 169 210,0
Объем хранилища (планируемый объем хвостов), м ³	118 161 112,6
Высота дамбы, м	49,5
Максимальная глубина вытекаемого слоя, м	5,0
Ширина гребня дамбы, м	10,0
Заложение внутреннего откоса дамбы	3,0
Заложение внешнего откоса дамбы	3,0
Состав отходов	Однородный
Коэффициент вязкости верхнего слоя, см ² /с	0,0101
Плотность верхнего слоя, т/м ³	1,174
Коэффициент шероховатости (на 1-м участке трассы)	0,06
Коэффициент сопротивления (на 1-м участке трассы)	0,20

Таблица 2 – Основные результаты расчета по образованию прорана

Максимальное значение полного расхода в проране (Q_{max}) (m^3/c)	292,5
Ширина прорана (при Q_{max}), м	41,42
Глубина прорана (при Q_{max}), м	5,0
Глубина потока в проране (при Q_{max}), м	2,0
Максимальное знач. уд. расх. в проране (q_{max}), m^2/c	13,66
Ширина прорана (при q_{max}), м	3,33
Глубина прорана (при q_{max}), м	4,75
Глубина потока в проране (при q_{max})	3,084
Максимальная ширина прорана, м	83,5

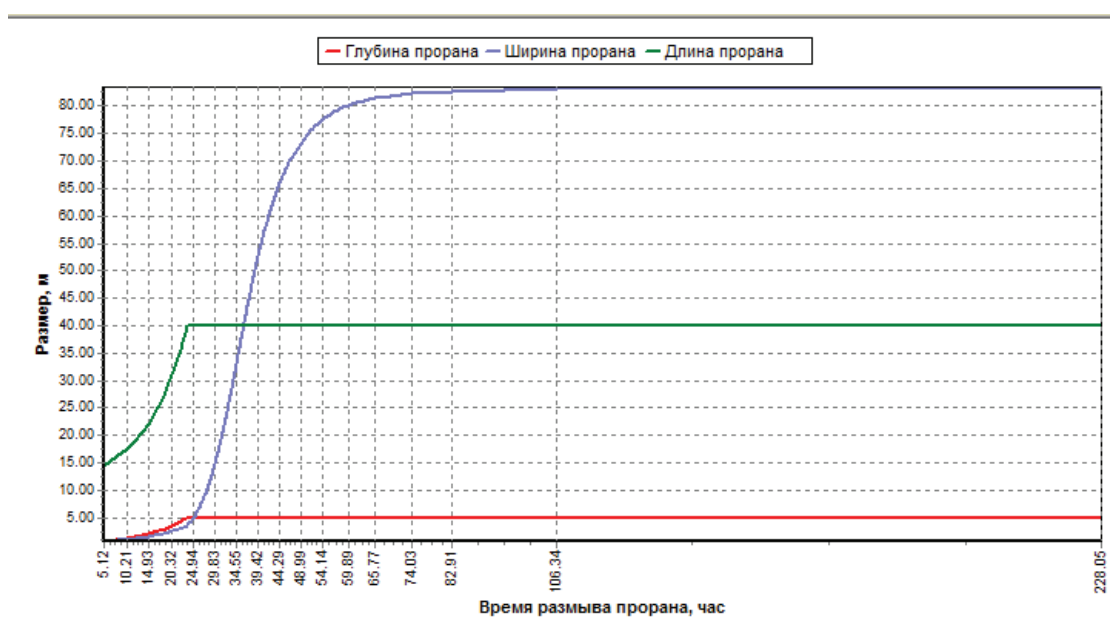


Рисунок 2 – Развитие параметров прорана во времени

прорана приближается к максимальным значениям через 80 час после начала перелива. Максимальная ширина прорана приближается к 83,5 метрам.

Длительность развития прорана определяется скоростью потока в нем. Развитие прорана происходит, когда значения скорости потока превышают неразмывающие скорости грунтов тела дамбы. На рисунке 3 показано соотношение этих скоростей. Скорость потока резко возрастает в течение первых 23 часов. Затем медленно снижается.

Для проведения анализа развития гидродинамической аварии необходимо знать закономерность развития расходов (полного и удельного) потока, вытекающего из прорана. Графики развития полного и удельного расходов потока в проране представлены на рисунке 4.

Полное вытекание объема неконсолидированной жидкости произойдет по истечении порядка 106 часов.

По результатам расчета глубина потока в сечении у подошвы откоса дамбы составляет 3,08 м, а скорость потока – 4,43 м/с.

Для определения максимальных параметров потока по трассе растекания были выбраны два поперечных сечений лога.

По результатам расчета максимальных параметров потока по трассе растекания с учетом топографии, суммарная площадь затопления составила 484733 м², а ширина затопления – 944 м.

К опасным последствиям гидродинамической аварии относятся: гибель людей, нанесение ущерба их здоровью, нарушение условий жизнедеятельности людей, разрушения и повреждение зданий и сооружений, загрязнение окружающей природной среды. В качестве критического значения параметра волны прорыва рекомендована глубина потока в зоне растекания $h_{\max} = 1,5$ м [1]. Согласно расчетам, глубина потока в 1,5 м в зоне растекания установится через 750 метров от дамбы. Ширина потока с учетом топографии в этом месте составят 740 метров.

Для построения контура зоны затопления за дамбой хвостохранилища были использованы значения глубины потока по длине растекания. Построенная таким образом зона затопления представлена на рисунке 5. На этом же рисунке нанесены контуры опасной зоны.

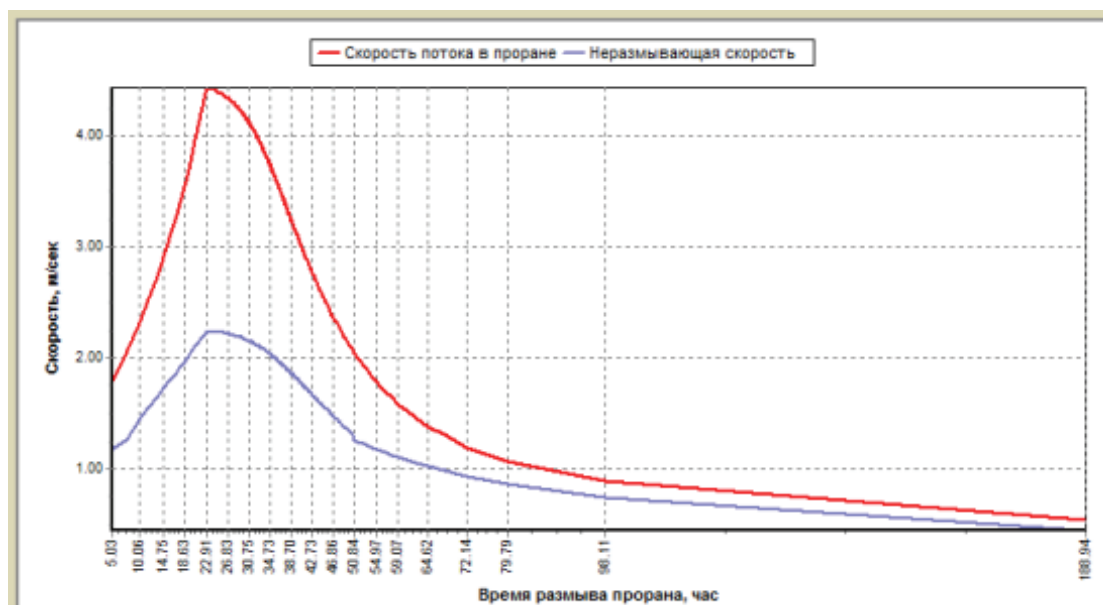


Рисунок 3 – Графики скоростей потока и неразмывающих скоростей в проране

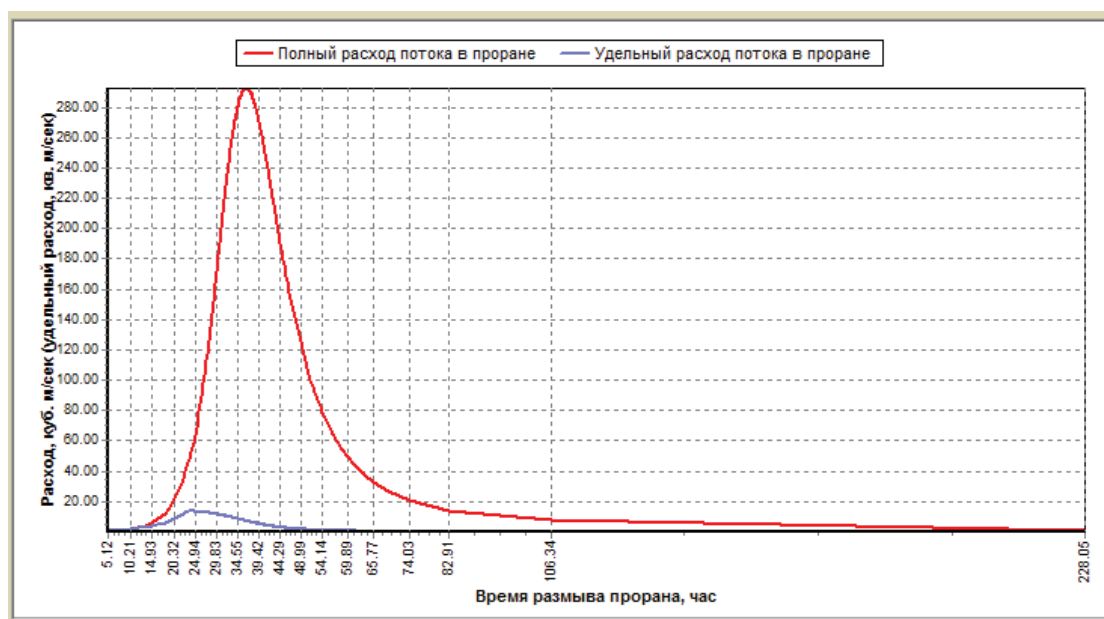


Рисунок 4 – Графики развития полного и удельного расходов потока в проране

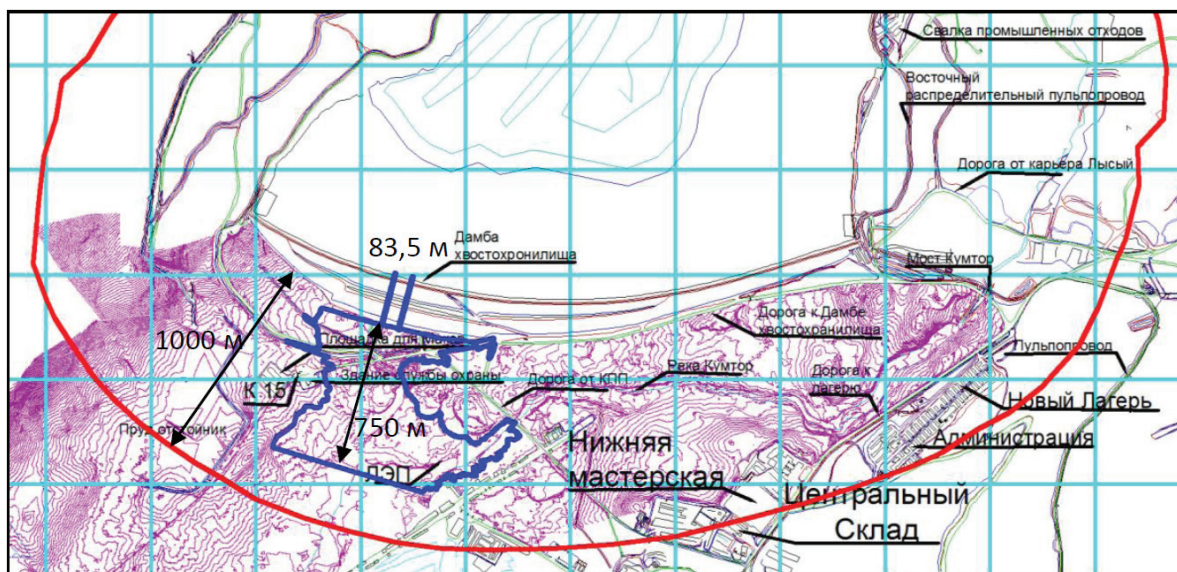


Рисунок 5 – Зона затопления при переливе промышленных отходов через гребень дамбы

Важным показателем оценки опасности является фактор времени по развитию гидродинамической аварии. Прежде чем начнется перелив жидкости через гребень дамбы, необходимо время для наполнения емкости хвостохранилища до отметок гребня дамбы.

Расчеты показали, что резервный объем при отметках уровня воды в хвостохранилище 3672,5 м и отметке гребня дамбы 3677,5 м составит порядка 25 млн м³. Данного резервного объема в случае одновременного отказа верхнего отводного канала и водоотводной системы вокруг хвостохранилища хватит для аккумуляции паводкового стока продолжительностью порядка 11 дней.

Выводы. Как показал анализ, гидродинамическая авария, связанная с распространением потока неконсолидированной жидкости при переливе через гребень дамбы ЗИФ рудника Кумтор, при ее максимальной проектной высоте, не может привести к чрезвычайной ситуации ввиду достаточного времени для оповещения и подготовки людей к данной опасности.

Проведение такого вида исследований гидродинамической аварии на дамбах и оценка ее последствий, основанная на анализе возможных сценариев аварии, а также определения величин негативных воздействий и построения зоны затопления местности, позволяет оценить чрезвычайную ситуацию возможных потерь для действующих или проектируемых гидротехнических сооружений.

Поступила: 30.05.22; рецензирована: 13.06.22; принята: 15.06.22.

Литература

1. Госгортехнадзор России. Серия 09. Нормативный документ по безопасности, надзорной и разрешительной деятельности в химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. Вып. 4. Методика расчета зон затопления при гидродинамических авариях на хранилищах производственных отходов химических предприятий РД 09-391-00. М.: Научно-технический центр по безопасности в промышленности ГОСГОРТЕХНАДЗОРА России, 2002. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200006480> (дата обращения: 01.05.2022). Постановление от 4 ноября 2000 года № 65. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901778124?marker=64U0IK> (дата обращения: 01.05.2022).
2. Нормативные документы межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности и охраны недр. Вып. 42. Методические рекомендации по расчету развития гидродинамических аварий на накопителях жидких промышленных отходов. РД 03-607-03. М.: Научно-технический центр по безопасности в промышленности ГОСГОРТЕХНАДЗОРА России, 2010. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200031995> (дата обращения: 01.05.2022) Постановление от 5 июня 2003 года № 51. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901868439> (дата обращения: 01.05.2022).
3. Прогнозирование вероятности и возможности возникновения последствий аварий на плотине // Вестник Белгородского госуд. технол. ун-та им. В.Г. Шухова. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=36915812> (дата обращения: 01.05.2022).
4. Расчет зоны возможного затопления в случае возникновения аварии на гидротехническом сооружении. Безопасность жизнедеятельности предприятий в угольных регионах. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42354938> (дата обращения: 01.05.2022).