

УДК 626.86

UDC 626.86

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА И ВЫБОР НАИБОЛЕЕ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ОСУШЕНИЯ ПРУДОВ

ESTIMATION AND SELECTION OF THE MOST OPTIMAL VARIANT DRAINING PONDS

Ищенко Александр Васильевич
д.т.н., профессор
РИНЦ SPIN-код 2989-0034
Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова, филиал ФГБОУ ВО «Донской ГАУ», Новочеркасск, Россия

Ishchenko Aleksandr Vasilyevich
Dr.Sci.Tech., professor
RSCI SPIN-code 2989-0034
Novocherkassk Engineering reclamation Institute named after A. K. Kortunov, branch of FSBEU HPE DGAU, Novocherkassk, Russia

Скляренко Елена Олеговна
к.т.н., доцент
Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова, филиал ФГБОУ ВО «Донской ГАУ», Новочеркасск, Россия

Skliarenko Elena Olegovna
Cand.Tech.Sci., assistant professor
Novocherkassk Engineering reclamation Institute named after A. K. Kortunov, branch of FSBEU HPE DGAU, Novocherkassk, Russia

Баев Олег Андреевич
к.т.н., старший научный сотрудник
РИНЦ SPIN-код 1280-0796
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Россия

Baev Oleg Andreevich
Cand.Tech.Sci., Senior Researcher
RSCI SPIN-code 1280-0796
Russian Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russia

В статье выполнена расчетная оценка осушения (ликвидации) прудов с последующим выбором наиболее оптимального варианта. На примере прудов № 1, 2 выполнены расчеты для четырех вариантов осушения: через донный водовыпуск, с помощью передвижных дизельных насосных станций, через сифонный водовыпуск, а также комбинированный вариант осушения (через донный водовыпуск и передвижными насосными станциями). По результатам расчета для каждого из рассмотренных случаев приведены сводные данные расчетных параметров, которые позволяют наглядно представить и выбрать наиболее оптимальный вариант осушения в зависимости от времени опорожнения

This article gives estimation of drying (liquidation) ponds with subsequent selection of the most optimal variant. For example, ponds № 1, 2 have the calculations for the four drainage options: bottom outlet, using a mobile diesel pumping stations, through the siphon outlet, as well as the combined option of draining (via a bottom outlet and mobile pumping stations). The results of the calculation for each of the cases were examined; the article summarizes the estimated parameters, which allow to visualize and choose the most optimal variant of drying, depending on the time of evacuation

Ключевые слова: ОСУШЕНИЕ, ЛИКВИДАЦИЯ, ПРУД, РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА, БЕЗОПАСНОСТЬ

Keywords: DRAINAGE, ELIMINATION, POND, ESTIMATION, SAFETY

Doi: 10.21515/1990-4665-121-074

В последние годы состояние некоторых гидротехнических сооружений (ГТС) постепенно ухудшается, что может приводить к возникновению аварийных ситуаций. Так, в 1993 г. ущерб от разрушения Киселевского водохранилища (Свердловская область) составил 70 млрд руб. в текущих ценах; при разрушении Тирлянского гидроузла (Башкортостан, 1994 г.) ущерб составил более 10 млрд руб., погибло 22 человека; авария западной нитки

Пермского шлюза (1994 г.) нанесла ущерб 20 млрд руб.; авария на Нижнем Дону (2004 г.) парализовала навигацию на Единой глубоководной системе и привела к огромным убыткам судоходных компаний [1]. Кроме того, в настоящее время формируется мнение о необходимости ликвидации большинства бесхозных и представляющих опасность для жизни населения ГТС [2–3]. Однако следует с большой осторожностью подходить к вопросу ликвидации водохранилищ и даже небольших водоемов и прудов.

Ликвидация потребует, возможно, весьма существенных средств, связанных с разрушением непосредственно сооружений; если же ГТС не будут физически ликвидированы, то в паводок возможно наполнение водохранилища, при этом уровень опасности практически не изменится. При опорожнении водоемов могут возникнуть следующие неблагоприятные последствия [1]:

- социальная напряженность, связанная с тем, что местные жители постоянно используют водоем для хозяйственных нужд, а в летний период даже в тех поселках, где зимой проживает небольшое количество населения, водоемы используются в рекреационных целях;

- на дне ряда водоемов за много лет происходило накопление наносов, которые могут содержать ряд экологически опасных элементов, которые при спуске воды будут разноситься ветром и представлять опасность для окружающей среды и населения;

- при полном опорожнении возникнет угроза долговременного заболачивания ложа водоема [4];

- некоторые водоемы (в том числе сравнительно небольшой емкости) используются в качестве единственных источников пожаротушения;

- опорожнение водоемов неизбежно может привести к снижению уровня грунтовых вод, сложившегося в течение многих лет, и уменьшению водообеспеченности водоносных горизонтов.

Из этого следует, что ликвидация должна коснуться только наиболее опасных, не представляющих практической значимости сооружений. При этом ликвидация должна быть плановой с соблюдением всех водохозяйственных и экологических требований [4]. Ведущая роль в этом должна принадлежать органам исполнительной власти субъектов Российской Федерации и органам местного самоуправления.

Для примера, рассмотрим пруды № 1 и № 2, ранее используемые для орошения зеленых насаждений (рисунок 1, 2), а в настоящее время представляющие некую опасность и являющиеся бесхозными.

Пруд № 1 имеет следующие характеристики: объем воды – 108 тыс. м³, площадь зеркала воды 1,8 га. Плотина пруда – каменно-земляная из уплотненного суглинка с гравелисто-песчаной смесью, построена в 60-х годах прошлого столетия. В основании плотины залегают аргиллиты и делювиальные глины. Отметка гребня плотины – 106,4 м, ширина гребня 5 м, длина плотины 108, 5 м, отметка уровня воды 103,6 м, отметка дна у плотины в верхнем бьефе – 97,5 м, высота плотины – 8,9 м, глубина воды перед плотинной – 6,1 м. На гребне плотины уложен бетонный парапет высотой 0, 5 м. Заложение низового откоса 1:2,5, верхового 1:3,5.

Водосброс осуществляется автоматически, максимальный расход при уровне воды 103,6 м – 5, 75 м³/с, при уровне 104,0 м – 6,35 м³/с. Водовыпуск из пруда осуществляется через донный водоспуск с максимальным расходом 0,4 м³/с.

Пруд № 2 имеет следующие характеристики: объем воды – 153,4 тыс. м³, площадь зеркала воды – 2,3 га. Плотина – каменно-земляная из уплотненного суглинка и гравелисто-песчаной смеси, расположена в 450 м выше плотины пруда № 1. Отметка уровня воды – 129,5 м, отметка дна низового откоса – 110 м, глубина воды перед плотинной – 12,5 м, длина плотины – 100 м.

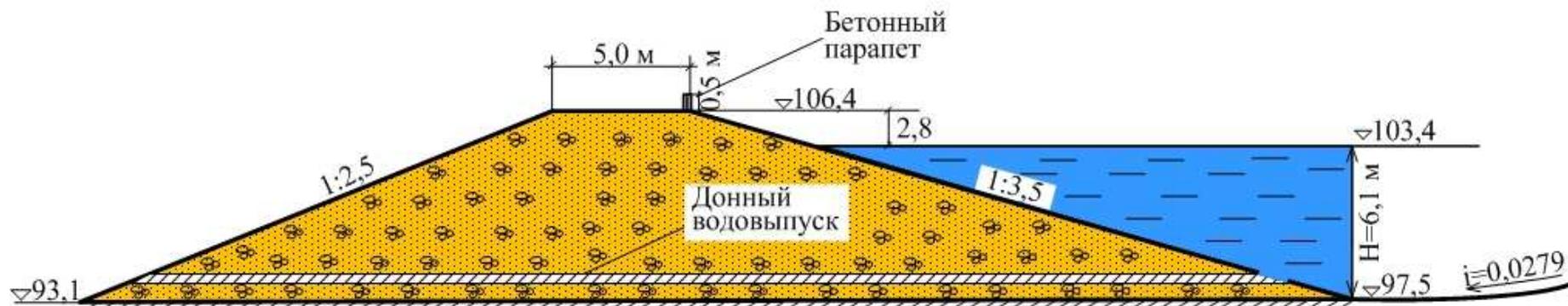


Рисунок 1 – Схема плотины пруда № 1

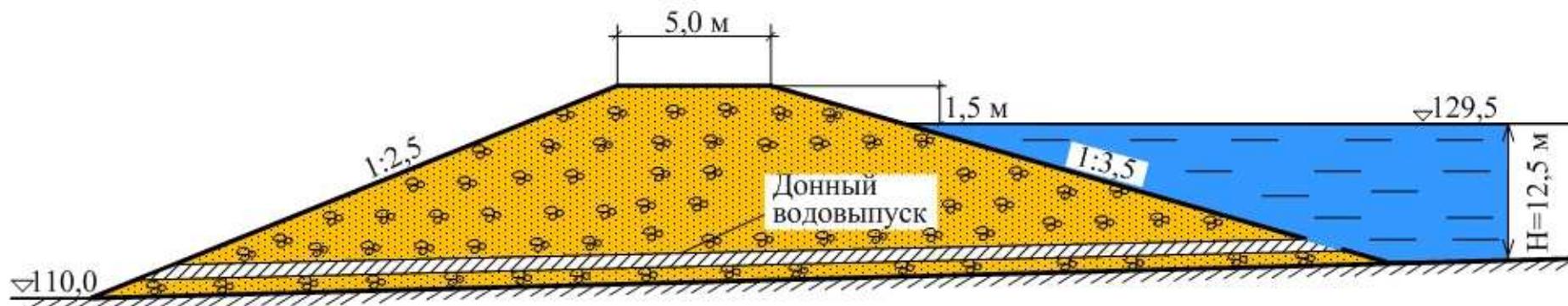


Рисунок 2 – Схема плотины пруда № 2

Рассмотрим следующие варианты осушения прудов:

- вариант 1 – осушение через донный водовыпуск;
- вариант 2 – осушение передвижными мобильными насосными станциями;
- вариант 3 – осушение через сифонный водовыпуск;
- вариант 4 – осушение через донный водовыпуск и передвижными насосными станциями (комбинированный).

При выборе рассматриваемых вариантов осушения прудов учитывались следующие требования:

- наличие и использование существующих сооружений (донных водовыпусков);
- исключение выполнения искусственных прорезей и проранов в теле плотины для осушения прудов из-за опасности образования гидродинамической аварии с разрушением плотины и затоплением прилегающей территории;
- использование дополнительного мобильного оборудования для осушения прудов без нарушения целостности тела плотины;
- ограничение времени полного опорожнения прудов в пределах периода до 2-3 недель.

Для сравнения рассматриваемых вариантов выполним соответствующие расчеты по обоснованию основных параметров на основании известных методов гидравлических расчетов, представленных в справочной, научно-технической и учебно-методической литературе [4–6].

Следует отметить, что приведенные расчеты из-за отсутствия некоторых исходных данных носят несколько приближенный характер.

Вариант 1 – осушение через донный водовыпуск.

Осушение по данному варианту осуществляется через существующий донный водовыпуск пруда № 1 с максимальным расходом $0,4 \text{ м}^3/\text{с}$.

В виду отсутствия данных о водовыпуске для пруда № 2 принимаем его аналогичным. Суммарное время осушения прудов будет включать: время осушения пруда № 1, время осушения пруда № 2 и дополнительное время осушения пруда № 1 после повторного его наполнения водой из пруда № 2. Далее произведем расчеты при максимальном уровне воды в прудах.

Время опорожнения прудов № 1 и № 2 рассчитываем по следующей формуле:

$$T_{\text{опор}} = \frac{W_{\text{пр}}}{Q_{\text{вдс}}}, \quad (1)$$

где $W_{\text{пр}}$ – объем пруда, м³; $Q_{\text{вдс}}$ – расход донного водовыпуска, м³/с.

Суммарное время опорожнения прудов № 1 и № 2 определяем по формуле:

$$T_{\text{опор, сум}} = T_{\text{опор1}} + T_{\text{опор2}}, \quad (2)$$

где $T_{\text{опор1}}$, $T_{\text{опор2}}$ – время опорожнения, соответственно пруда № 1 и № 2

Выполним расчет с учетом понижения уровня для пруда № 1.

Находим среднюю глубину:

$$H_{\text{ср}} = \frac{H_{\text{max1}}}{2}, \quad (3)$$

где H_{max1} – максимальная глубина, м.

Определим площадь живого сечения:

$$\omega = \frac{Q_{\text{max}}}{\mu \sqrt{2gH_{\text{max}}}}, \quad \omega = \frac{\pi d^2}{4},$$

где Q_{max} – максимальный расход водовыпуска, м³/с; $\mu = 0,82$ – коэффициент расхода как для внешнего цилиндрического насадка.

Расход $Q_{\text{нд}}$, м³/с, определим по формуле:

$$Q_{\text{ср}} = \mu \omega \sqrt{2gH_{\text{ср}}}. \quad (4)$$

Аналогичными будут формулы при проведении расчетов для пруда № 2.

Суммарное время осушения прудов определяем как:

$$T_{\text{опор.сум.}} = T_{\text{опор1}} + T_{\text{опор2}} + T'_{\text{опор1}}, \quad (5)$$

где $T'_{\text{опор1}}$ – дополнительное время осушения пруда № 1, после повторного его наполнения водой из пруда № 2, сут.

Вариант 2 – осушение передвижными насосными станциями.

Осушение по данному варианту осуществляется передвижными насосными станциями типа «Irrimes» (рисунок 3).



Рисунок 3 – Мобильная насосная станция «Irrimes»

Основные технические характеристики мобильной дизельной насосной станции «Irrimes»:

- мощность двигателя 83 л.с. (4-х цилиндровый дизель);
- расход топлива 8–10 л/ч;
- максимальная производительность 115 м³/ч (1920 л/мин.).

Произведем расчеты и определим время опорожнения для пруда № 1.

При работе 1-го насосного агрегата «Irrimes» на пруду № 1 расход будет равен $Q_{\text{ин1}} = 1920 \text{ л/мин} = 0,032 \text{ м}^3/\text{с}$, а время осушения пруда составит 39 суток.

При осушении пруда № 1 пятью насосными агрегатами одновременно, время полного опорожнения пруда составит 7,81 суток.

Аналогично произведем расчеты для пруда № 2, объем которого, как было сказано ранее, составляет 153400 м³. При работе 5 насосных агрегатов одновременно, время осушения пруда № 2 составит 11,10 сут.

Суммарное время опорожнения прудов № 1 и № 2 определяем по формуле (5), а результаты расчеты представим в сводной таблице 2.

Вариант 3 – осушение через сифонный водовыпуск.

Осушение по данному варианту осуществляется через сифонный водовыпуск из одной нитки диаметром 0,5 м. Для создания вакуума в сифонных трубопроводах в нижнем бьефе за плотиной пруда № 1 устраивается углубление (прямоук) с глубиной 1–1,5 м, а также для зарядки сифонов используется вакуум-насос [4].

Для пруда № 2 осушение проводится при не полностью опорожненном пруде № 1 с глубиной 1–1,5 м.

Произведем расчеты для пруда № 1.

Определим суммарные потери напора [6]:

$$\sum \zeta = \zeta_{\text{вх}} + 2\zeta_{\text{пов}} + \zeta_{\text{вых}} + \lambda \frac{l}{d}, \quad (6)$$

где $\zeta_{\text{вх}}$ – коэффициент сопротивления входа в трубу, определяемый по Справочному пособию [6]; $\zeta_{\text{пов}}$ – коэффициент сопротивления поворота; $\zeta_{\text{вых}}$ – коэффициент сопротивления на выходе из трубы; λ – коэффициент трения по длине; l – длина трубы, м; d – внутренний диаметр трубы, м.

Формула для определения расхода имеет следующий вид:

$$Q_1 = \mu \omega \sqrt{2gH_{\text{сп1}}}. \quad (7)$$

Гидравлический коэффициент трения определяем по формуле Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Rl} \right)^{0,25}, \quad (8)$$

где Δ – эквивалентная абсолютная шероховатость; Rl – число Рейнольдса.

Время опорожнения прудов определим по зависимости:

$$T_{\text{опор1}} = \frac{W_{\text{пр}}}{Q_{\text{сиф}}}, \quad (9)$$

где $Q_{\text{сиф}}$ – расход сифона, м³/с.

По результатам расчета для пруда № 1 получаем $Q_1 = 0,568$ м³/с, $T_{\text{опор1}} = 2,2$ сут., а для пруда № 2 – $Q_2 = 0,809$ м³/с, $T_{\text{опор1}} = 2,19$ сут.

Суммарное время опорожнения двух прудов через сифонный водовыпуск из одной нитки составит 6,58 сут.

Вариант 4 – осушение прудов через водоспуск и передвижными насосными станциями (комбинированный вариант).

При осушении прудов одновременно через донный водовыпуск и при работе пяти мобильных насосных станций расчет производим по формуле:

$$T_{\text{опор}} = \frac{W_{\text{пр}}}{Q_{\text{вод}} + \sum Q_{\text{нс}}}, \text{ сут.} \quad (10)$$

По результатам расчета получаем время опорожнения пруда № 1 – 2,5 сут., а для пруда № 2 – 3,6 сут. Суммарное время опорожнения двух прудов комбинированным способом составляет 9,7.

Результаты расчетов осушения прудов четырем вариантам представим в сводной таблице 2.

Таблица 2 – Сводные результаты расчетных параметров вариантов осушения прудов

Расчетные характеристики	Вариант 1 (осушение через донный водовыпуск)	Вариант 2 (осушение передвижными насосными станциями)	Вариант 3 (осушение через сифонный водовыпуск)	Вариант 4 (комбинированный вариант осушения)
Расход при опорожнении пруда $Q, \text{ м}^3/\text{с}$	0,4	1НС-0,032 5НС-0,096	<u>0,568</u> 0,809	<u>0,496</u> 0,496
Средняя глубина воды, $H_{\text{ср}}, \text{ м}$	<u>3,05</u> 6,25	-	<u>3,05</u> 6,25	-
Площадь сечения трубопровода, $d, \text{ м}$	0,5	-	0,5	-
Суммарное время опорожнения прудов, $T_{\text{опор сум.}}, \text{ сут.}$	15	50	7	10

Выводы.

1. Сводные результаты выполненных расчетов показывают, что наименьше время осушения прудов будет по третьему варианту – опорожнение через сифонный водовыпуск, которое составит с учетом понижения уровня в прудах до 7 суток и по комбинированному варианту (4) – при совместном использовании донного водоспуска и передвижных насосных станций, со временем осушения до 10 суток.

2. Более предпочтительный первый вариант позволит обеспечить осушение прудов через донный водовыпуск достаточно быстро в течение 15 суток, но при этом будут использованы только существующие водовыпуски без дополнительных расходов на их устройство.

3. Необходимо отметить, что представленные варианты, как и самый невыгодный вариант 2 потребуют закупку передвижных насосных станций и устройство дополнительно сифонного водоспуска.

Список литературы

1. Каганов, Г. М. Некоторые проблемы обеспечения безопасности гидротехнических сооружений / Г. М. Каганов, В. И. Волков // Роль природообустройства в обеспе-

чении устойчивого функционирования и развития экосистем // Материалы международной научно-практической конференции. – М.: МГУП. – 2006. – Ч. 1. – С. 426.

2. Щедрин, В. Н. Безопасность гидротехнических сооружений мелиоративного назначения / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, Е. И. Шкуланов. – М.: Росинформагротех, 2001. – 268 с.

3. О безопасности гидротехнических сооружений: Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ (с изменениями от 13 июля 2015) // Гарант Эксперт 2016. – [Электронный Ресурс]. – НПП «Гарант Сервис», 2016.

4. Попов, А. Н. О ликвидации прудов, малых, средних водохранилищ с последующей рекультивацией ложа и береговой полосы / А. Н. Попов, В. И. Штыков. – Екатеринбург: ФГУП РосНИИВХ, 2013. – 112 с.

5. Храпковский, В. А. Гидравлические расчеты давления воды на плоские поверхности и короткого трубопровода: Методическое пособие к расчетно-графическим работам по гидравлике. – Новочеркасск: НГМА. – 2003. – 37 с.

6. Справочник по гидравлике / Под ред. В. А. Большакова. – Киев.: Вища школа. – 1984. – 348 с.

References

1. Kaganov, G. M. Nekotorye problemy obespechenija bezopasnosti gidrotehniceskikh sooruzhenij / G. M. Kaganov, V. I. Volkov // Rol' prirodoobustrojstva v obespechenii ustojchivogo funkcionirovanija i razvitija jekosistem // Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – М.: MGUP. – 2006. – Ch. 1. – P. 426.

2. Shhedrin, V. N. Bezopasnost' gidrotehniceskikh sooruzhenij meliorativnogo naznachenija / V. N. Shhedrin, Ju. M. Kosichenko, E. I. Shkulanov. – М.: Rosinformagroteh, 2001. – 268 p.

3. O bezopasnosti gidrotehniceskikh sooruzhenij: Federal'nyj zakon ot 21 ijulja 1997 g. № 117-FZ (s izmenenijami ot 13 ijulja 2015) // Garant Jekspert 2016. – [Jelektronnyj Resurs]. – NPP «Garant Servis», 2016.

4. Popov, A. N. O likvidacii prudov, malyh, srednih vodohranilishh s posledujushhej rekul'tivaciej lozha i beregovoj polosy / A. N. Popov, V. I. Shtykov. – Ekaterinburg: FGUP RosNIIVH, 2013. – 112 p.

5. Храпковскй, В. А. Гидравлические расчеты давленија воды на плоские поверхности и короткого трубопровода: Metodicheskoe posobie k raschetno-graficheskim rabotam po gidravlike. – Novoчеркасск: NGMA. – 2003. – 37 p.

6. Spravochnik po gidravlike / Pod red. V. A. Bol'shakova. – Kiev.: Vishha shkola. – 1984. – 348 p.