

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Брянский государственный аграрный университет»

Кафедра «Природообустройства и водопользования»

Василенков С.В., Василенков В.Ф., Кривоускова В.Н.

Водохозяйственные расчеты прудов и водохранилищ малых водосборов

Методическое пособие

Брянская область,
2021 г.

УДК 631.6 (07)

ББК 40.6

В 19

Василенков, С. В. Водохозяйственные расчеты прудов и водохранилищ малых водосборов: методическое пособие / С. В. Василенков, В. Ф. Василенков, В. Н. Кровопускова. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2021. – 20 с.

В методическом пособии представлен целый каскад водохозяйственных расчетов прудов, необходимый при проектировании комплексного использования водоёмов, выполнены примеры расчетов. Пособие составлено на основе учебника Аверьянова С.Ф. «Практикум по сельскохозяйственным мелиорациям» 1970 г., личных научных изысканий авторов и других ученых. Предназначено для студентов очной и заочной форм обучения направлений подготовки 20.03.02 Природообустройство и водопользование, 21.03.02 Землеустройство и кадастры, 20.04.02 Природообустройство и водопользование.

Рецензент: к. т. н. Ивченко Л.В.

Рекомендовано к изданию учебно-методической комиссии института Энергетики и Природопользования Брянского ГАУ, протокол №2 от 28.09.2021 года.

© Брянский ГАУ, 2021

© С.В. Василенков, 2021

© В.Ф. Василенков, 2021

© В.Н. Кровопускова, 2021

Водохозяйственные расчеты прудов

Введение

По данным инвентаризации на территории Брянской области имеется 795 гидротехнических сооружений (гидроузлы с водохранилищами и прудами). Из них к опасным объектам отнесено только 67 гидротехнических сооружений, при разрушении и в результате прорыва которых в зоне возможного подтопления могут оказаться 28 населенных пунктов, с населением более 437 человек. Сток талых и ливневых вод временных водотоков или овражно-балочной сети – это огромный резерв пресной воды, который можно использовать для орошения. Пока что этот резерв в Брянской области используется слабо. Использование талых вод на месте дает большой экономический эффект, так как орошение в этом случае дешевле, чем при использовании воды крупных рек.

Повышается внутренний влагооборот местности и грунтовое питание рек, уменьшается весенние паводки и эрозия почв.

Необходимость развития прудостроения обуславливается и другой важной народнохозяйственной задачей - борьбой с эрозией почв. Овраги ежегодно увеличиваются в длину и ширину в основном за счет пашни. Создавая каскады прудов полного регулирования, начиная с верховьев гидрографической сети, и покрывая подпором воды все размываемые участки балки, можно полностью ликвидировать эрозию на зарегулированном русле. Вместе с тем уменьшится паводок и снизится эрозионная способность потока для ниже расположенных участков, сократится интенсивность заиления речных водохранилищ.

Расчет необходимого объема пруда

Намечаем сезонное регулирование стока. Маловодные годы здесь обычно не совпадают с засушливыми и не повторяются подряд несколько раз. Площадь водосбора достаточно велика для намечаемой на первое время площади орошения, а поэтому и в маловодные годы водоем почти всегда будет наполняться до расчетного объема. В задании на проектирование поставлена задача использования пруда для рыборазведения, поэтому водоем нужно ежегодно или довольно часто опоражнивать для проведения в его ложе санитарных мероприятий осенью и зимой. Таким образом, намечаем сезонное регулирование стока.

Процент обеспеченности стока определяют технико-экономическим сравнением вариантов, однако из-за краткости изложения такие расчеты здесь не приведены, а обеспеченность принята равной 75%.

В связи с тем, что наблюдений за стоком реки не проводили, и нет аналогов для расчета, водохозяйственные расчеты будем вести на основе имеющихся карт и рекомендаций по стоку для данного географического района.

При расчетах водоемов для орошения на местном стоке встречаются три основных случая:

- 1) объем пруда определяется площадью орошения, установленной заданием на проектирование, или пригодными для орошения землями;
- 2) объем пруда ограничен размерами стока, следовательно, по объему стока определяется площадь возможного орошения;
- 3) топографические условия реки (балки) ограничивают возможный объем зарегулирования стока.

Объем весеннего стока и план регулирования его

Водохозяйственные расчеты ведем на зарегулирование весеннего стока. Средний объем весеннего стока (S_B) определяют по формуле:

$$S_B = \alpha * F * h_B * 1000, \text{ м}^3 \quad (1)$$

где F - площадь водосбора, км²;

h_B - слой весеннего стока, мм;

α - коэффициент уменьшения стока с водосбора за счёт повышения агротехники за последние годы и в перспективе; его можно принимать около 0,8 – 0,9.

Объём весеннего стока расчётной обеспеченности S_p определяется по формуле:

$$S_p = K_p * S_B, \text{ м}^3 \quad (2)$$

где K_p - модульный коэффициент стока для установленной обеспеченности.

В водохозяйственных расчетах при орошении на местном стоке, прежде всего, определяют потребление воды для регулярного орошения. Для этого находят среднюю оросительную норму Нетто:

$$M_{\text{нт}}^{\text{ср.в}} = \frac{\alpha_1}{100} * M_1 + \frac{\alpha_2}{100} * M_2 + \dots + \frac{\alpha_n}{100} * M_n, \text{ м}^3/\text{га} \quad (3)$$

где M_1, M_2, M_3 – суммарные оросительные нормы различных культур в севообороте;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – процентный состав площади, занятой соответствующей культурой.

Средневзвешенную оросительную норму Брутто определяют по формуле:

$$M_{бр}^{ср.в} = \frac{M_{нт}^{ср.в}}{\eta_c}, \text{ м}^3/\text{га} \quad (4)$$

где η_c – проектируемый коэффициент полезного действия оросительной системы.

При поливах дождеванием из открытых каналов потери воды из них составляют от 10 до 20%, в зависимости от длины оросительной сети, водопроницаемости грунтов и принятых противofильтрационных мер; для лотков и закрытой сети они составляют не более 3-5%

Объем воды для поливов (V_{op}) с учетом потерь в оросительной сети составляют:

$$V_{op} = F_{нт} * M_{бр}^{ср.в}, \text{ м}^3 \quad (5)$$

где $F_{нт}$ - орошаемая площадь участка Нетто, га.

Для определения объема воды на водоснабжение и хозяйственные цели следует найти суточный и годовой объем воды по нормам водопотребления. Для приближённых расчетов обычно принимают, что на хозяйственные нужды требуется воды 5 ÷ 10% от объема на орошение.

$$V_x = \beta_1 * V_{op}, \text{ м}^3 \quad (6)$$

где $\beta_1 = (0,05 \div 0,10)$.

Суммарный объем воды, идущий на орошение и хозяйственные нужды, составляет полезный объем пруда.

$$V_{п} = V_{op} + V_x, \text{ м}^3 \quad (7)$$

По опыту работы прудов в Среднем Поволжье для предварительных расчетов можно принять, что потери воды из них на испарение и фильтрацию составляют около 20 ÷ 30% от полезного объема. Для мелких водоемов, так же при потерях на фильтрацию слоем свыше 0,5 м за год общие потери составляют от 25 до 30%, во всех других случаях около 20 ÷ 25% от полезного объема. Следовательно, предварительный (приближенный) рабочий объем водоема (V_p') равен:

$$V_p' = \frac{V_{п}}{\eta_в}, \text{ м}^3 \quad (8)$$

где $\eta_в$ - коэффициент полезного действия пруда, ($\eta_в = 0,7 — 0,8$).

Сопоставляя приближенный рабочий объем водоема со стоком воды при

установленном проценте обеспеченности, намечают порядок дальнейших водохозяйственных расчетов. Здесь возможны два случая:

- 1) $S_p < V'_p$
- 2) $S_p > V'_p$

В дальнейшем показан порядок расчета обоих случаев. Для периодического опорожнения водоема в расчетах предусмотрен мертвый объем.

В нашем примере слой весеннего стока по картам изолиний равен 52 мм. Весенний сток с водосбора 108 км² при $\alpha = 0,85$ подсчитывают по формуле (1):

$$S_B = 0,85 * 108 * 52 * 1000 = 4,77, \text{ млн. м}^3$$

Расчетная обеспеченность стока (р) принята равной 75%. Для определения модульного коэффициента находим по картам изолиний коэффициент вариаций весеннего стока (C_v), в нашем случае он равен 0,65. Коэффициент асимметрии (С) для засушливых районов рассматриваемой зоны рекомендуют принимать равным C_v или 1,5 C_v .

Пользуясь таблицей отклонений ординат бимоминальных асимметричных кривых обеспеченности от середины* при $C_v=1$, находим значение модульного коэффициента стока (k_p) при 75% обеспеченности и $C_s = C_v = 0,65$

$$k_p = 1 - \Phi C_v = 1 + (-0,72 * 0,65) = 0,532$$

Весенний сток воды в пруд при 75% обеспеченности составляет по формуле (2):

$$S_p = 0,532 * 4,77 = 2,54, \text{ млн. м}^3$$

Средневзвешенную оросительную норму Нетто устанавливают по формуле (1) и (3):

$$M_{\text{нт}}^{\text{ср.в}} = \frac{12,5}{100} * (3100 + 3000 + 3300 + 4100 + 2 * 5500 + 4000 + 2700) \\ = 3900, \text{ м}^3/\text{га}$$

Принимаем КПД открытой оросительной системы равным 0,9, так как водопроницаемость грунта средняя, водоем находится близко от орошаемого

участка и длина каналов небольшая. Тогда средневзвешенную оросительную норму Брутто по формуле (4):

$$M_{бр}^{ср.в} = \frac{3900}{0,9} = 4330, \text{ м}^3/\text{га}$$

Объем воды на орошение по формуле (5) равен:

$$V_{ор} = 320 * 4330 = 1,39 \text{ млн. м}^3$$

Запас воды на хозяйственные нужды равен 5% от объема на орошение:

$$V_x = 0,05 * 1,39 = 0,07, \text{ млн. м}^3$$

Полезный объем по формуле (7) составляет:

$$V_{п} = 1,39 + 0,07 = 1,46, \text{ млн. м}^3$$

Потери из водоема на испарение и фильтрацию принимаем равными 20% от полезного объема. Предварительный рабочий объем пруда (без мертвого) по формуле (8) равен:

$$V'_p = \frac{1,46}{0,8} = 1,83, \text{ млн. м}^3$$

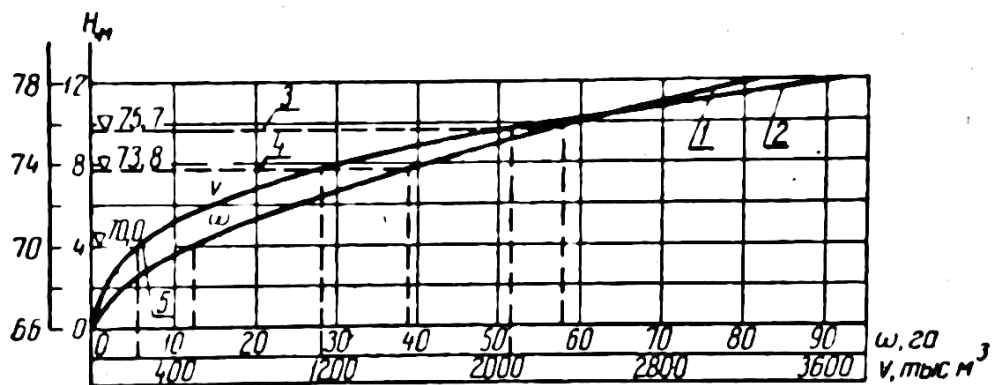


Рис. 3-2. Топографические характеристики водоема:

1 — площадь зеркала, га; 2 — объем, тыс. м^3 ; 3 — нормально подпертый уровень (НПУ); 4 — уровень среднего объема; 5 — уровень мертвого объема (УМО).

Сопоставляя приближенный рабочий объем пруда со стоком 75% обеспеченности, находим, что первый меньше второго ($1,83 < 2,54$). Следовательно, дальнейшие водохозяйственные расчеты нужно вести в порядке,

пригодном для первого случая, когда сток воды при заданном проценте обеспеченности превышает рабочий объем пруда.

Характеристика водоема. Створ земляной плотины намечен в самом узком месте речной долины. Лишние воды из пруда будут сбрасываться с помощью автоматического сброса, состоящего из подводящего канала в обход плотины, сопрягающего сооружения в виде быстротока и выходного участка водосброса.

Заданием на проектирование намечено использовать водохранилище не только как источник орошения, но и в качестве нагульного пруда для разведения рыбы. Поэтому при проектировании необходимо предусмотреть устройство донного водоспуска для периодического опорожнения водоема и санитарной обработки его ложа. Плотины, водосброс и донный водоспуск не проектируем, потому что такая работа выполняется в курсе гидросооружений.

Выбор водозаборных сооружений для подачи воды на орошаемый участок зависит от схемы и типа оросительной сети и высотного положения орошаемого участка по отношению к водоему. Водозабор может быть в виде трубчатого водовыпуска сифонного типа или насосной станции. В нашем случае вода подается на участок самотеком, поэтому намечаем трубчатый водовыпуск, который достаточно надежен в работе.

Планиметрированием определены площади по четным горизонталям, подсчитаны объемы воды между горизонталями и суммарные объемы воды в пруде в зависимости от глубины его наполнения (табл. 1).

Таблица 1.

Горизонтали, <i>м</i>	Высота от дна у плотины, <i>м</i>	Площадь по горизонтали, <i>га</i>	Полу-сумма площадей, <i>га</i>	Объем воды между горизонтал- ями, тыс. м ³	Объем воды в зависимости от глубины наполнения, тыс. м ³
66	0	0	2,125	42,5	0
68	2	4,25	8,275	165,5	42,5
70	4	12,30	18,60	372,0	208,0
72	6	24,90	32,75	655,0	580,0
74	8	40,60	50,95	1019,0	1235,0
76	10	61,30	71,90	1438,0	2254,0
78	12	82,50			3692,0

Площади зеркала и объема воды в зависимости от уровня в водоеме представлены на рисунке 3-2.

При наличии избыточного стока воды в пруд расчеты ведут в следующем порядке: устанавливают мертвый объем, потери воды, рабочий и полный объемы, намечают комплексное использование пруда в хозяйстве.

К определению высоты призмы аккумуляции

В практике проектирования прудов, слой регулирующий ёмкости обычного принимается 0,5-1,5м.

Основным критерием назначения толщины этого слоя является предельно допустимая площадь затопления сельхозугодий и жилой территории. Если ограничивать высоту регулирующей призмы величиной 0,5м., то можно сэкономить на насыпи и плотине.

Однако, стоимость водосброса является наиболее дорогой частью гидроузла. Экономя на плотине, мы уменьшаем объем призмы аккумуляции и увеличиваем сбросной расход. Соответственно увеличивается стоимость сбросного сооружения. По расчетам проектных организаций экономия на плотине в 1.5-2 раза перекрывается удорожанием сбросных сооружений [1]. При уменьшении регулирующей емкости прудов резко повысится стоимость водопропускных сооружений. Особенно это проявляется на прудах с малой площадью зеркала воды (до 5га) [1].

На таких прудах, при высоте призмы аккумуляции до 0,5м регулирующая емкость практически не влияет на величину сбросного расхода и стоимость водосброса в 2,5раза превышает стоимость плотины

Мертвый объем пруда. В водоемах, предназначенных для комплексного использования, величину мертвого объема и его уровень назначают, исходя из срока заиливания, обеспечения командования при самотечной подаче воды на орошаемый участок, наименьших затрат энергии при механическом водоподъеме, санитарно-гигиенических условий и рыбоводства.

По санитарно-гигиеническим условиям необходимо, чтобы осенью и зимой вода не портилась, а поэтому глубина мертвого объема должна быть не менее 2 м. В случае рыборазведения глубина мертвого объема пруда должна быть 1,5—2,0 м.

Уровень мертвого объема должен обеспечить самотечную подачу воды на орошаемый участок.

Если известна верхняя граница орошаемого участка (по хозяйственным, почвенным или другим условиям), тогда от водозабора к намечаемой границе проектируют канал. В зависимости от положения орошаемой площади уклон его может быть от 0,0003 до предельного по условиям размыва грунта. Уровень мертвого объема водоема выше уровня воды в канале у плотины на 10—20 см для трубчатого водозабора и на 30—40 см для сифонного водозабора. Если же граница орошаемого участка не

намечена заранее, то устанавливают возможные площади орошения для ряда уровней мертвого объема (например, 2, 3, 4 м) и находят приемлемый вариант.

При большой глубине пруда и механическом подъеме воды на поливы целесообразно провести технико-экономическое сравнение эксплуатационных затрат при разных глубинах мертвого объема и найти наивыгоднейший уровень последнего.

Поступление наносов в водоем зависит от многих природных и хозяйственных условий. Этот вопрос изучен еще слабо, поэтому можно дать лишь приближенные расчеты заиления прудов.

Для определения поступающих в водоем наносов воспользуемся картой средней мутности рек европейской территории СССР, составленной Г.И. Шамовым. Саратовская область в основном отнесена к V зоне с мутностью 250—500 г/м³ воды. Исследования К. П. Воскресенского показывают, что на малых водосборах мутность потока в несколько раз выше показанной на карте Г. И. Шамова. Без введения поправок картой можно пользоваться для водосборов площадью свыше 200 км². Величина поправочного коэффициента (k_1) зависит от площади водосбора.

Площадь водосбора, км ²	2—5	5—10	10—50	50—100	100—200	Свыше 200
Коэффициент k_1	30—15	15—10	10—5	7—3	5—1	1

Для разных почв и уклонов местности эти коэффициенты могут сильно меняться.

При наличии наблюдений, аналогов, региональных формул или местных карт для определения мутности потока ими следует воспользоваться.

Годовой объем наносов с водосбора (R_B), поступающий в водоем, равен:

$$R_B = \frac{k_1 * \rho * S_B * (1+r)}{10^6 * \gamma}, \text{ м}^3 / \text{ГОД} \quad (9)$$

где ρ — мутность воды по Г.И. Шамову или другим источникам;

γ — объемный вес отложившихся наносов, величина которых колеблется для рек на равнинах от 0,5 до 1,1, в зависимости от вида поступающих наносов и срока их нахождения в пруде; в среднем = 0,8;

r — доля влекомых наносов от объема взвешенных; для равнинных рек $r = 0,01 \div 0,10$, а в среднем -0,04.

Однако некоторая часть наносов выносится из пруда со сбросной и оросительной водой. Величина их зависит от типа водосброса, доли сбрасываемой воды от объема полного стока воды, от механического состава

наносов и характера работы водоема. Ориентировочно можно принять, что из пруда с автоматическим водосбросом (без шлюзов) выносится от 20 до 40% поступающих в него наносов.

В зависимости от местных условий и хозяйственных требований срок заиления мертвого объема (T) обычно принимают от 20 до 50 лет. Объем наносов за это время (V_H) составляет:

$$V_H = \beta_2 * R_B * T, \text{ м}^3 \quad (10)$$

где β_2 — коэффициент, учитывающий задержанные в водоеме наносы $\beta_2 = 0,6—0,8$.

В некоторых случаях необходимо учитывать обрушения (переработку) берегов пруда. Возможный объем обрушения устанавливают при геологических изысканиях.

По топографической характеристике определяют уровень, соответствующий объему наносов, которые отложатся за расчетный период службы пруда. Для прудов толщина слоя наносов за намеченный срок службы не должна превышать 4—5 м у створа плотины. Если по объему наносов глубина получилась больше указанной, нужно предусмотреть мероприятия по уменьшению поступления наносов в водоем.

Для борьбы с заилением прудов в степной и лесостепной зонах применяют:

- залужение и облесение прибалочных склонов и полосы вокруг водоема шириной 40—50 м;
- удаление границ пахоты от уреза воды в водоеме на 50—70 м на размываемых склонах вводят почвозащитные севообороты и проводят борьбу с оврагами;
- посадку кустарника в тальвеге речки и оврагов и т. д.

После рассмотрения всех требований окончательно устанавливают величину мертвого объема V_0 для самого невыгодного случая. Однако в нормальных условиях его глубина не должна превышать 4—5 м. По топографической характеристике находят объем, уровень и площадь зеркала мертвого объема пруда.

Для рассматриваемого примера принимаем мутность воды по карте $\rho = 400 \text{ г/м}^3$.

Годовой объем наносов, поступающий в водоем (9) при $k_1 = 5$, $r = 0,04$, составляет:

$$R_B = \frac{5 * 400 * 4,77 * (1 + 0,04) * 10^6}{10^6 * 0,8} = 12400, \text{ м}^3/\text{год}$$

Принимаем срок службы водохранилища 25 лет. Обрушения берегов не предвидится. Тогда объем наносов по формуле (10) при $\beta_2 = 0,7$ равен:

$$V_H = 0,7 * 12411 * 25 = 217, \text{ тыс. м}^3$$

По топографической характеристике этому объему соответствует глубина воды у плотины 4 м. Эта глубина является наибольшей для мертвого объема, а потому принимаем ее за расчетную. При такой глубине уровень мертвого объема (УМО) находится на отметке 70, что вполне обеспечивает самотечную подачу воды на орошаемый участок. Итак, мертвый объем составляет, $V_0 = 217$ тыс. м^3 , глубина воды у плотины равна 4 м, отметка УМО—70 и площадь зеркала водоема при УМО—12,3 га.

Потери воды, рабочий и полный объем пруда. Значительные потери воды из прудов составляют испарение и фильтрация. Потери на льдообразование не учитываем, так как лед остается в водоеме. Потери определяют в зависимости от площади зеркала при среднем объеме пруда ($V_{\text{ср}}$).

$$V_{\text{ср}} = V_0 + \frac{V'_p}{2}, \text{ м}^3 \quad (11)$$

По топографической характеристике находят площадь зеркала ($\omega_{\text{ср}}$), соответствующую среднему объему пруда.

Потери на фильтрацию ($z_{\text{ф}}$) устанавливаются при изысканиях. Если эти потери превышают 1 м в год, проводят противофильтрационные мероприятия.

Слой потерь на испарение с небольших водоемов определяют по упрощенной формуле:

$$z_{\text{и}} = E_{\text{в}} - P - E_{\text{с}}, \text{ мм} \quad (12)$$

где $E_{\text{в}}$ —потери на испарение с водной поверхности, мм;

P —осадки теплого периода года, выпадающие на поверхность пруда, мм;

$E_{\text{с}}$ —потери воды на испарение с площади водоема до его устройства.

Потери на испарение с водной поверхности ($E_{\text{в}}$) определяют по картам изолиний или по наблюдениям ближайшей метеостанции для сухого года. В последнем случае учитывают испарение с водной поверхности с апреля по октябрь.

Осадки на расчетную поверхность водоема (P) определяют также для условий сухого года в период с апреля по октябрь. Зимние осадки учитывают в весеннем стоке и отражают в картах изолиний весеннего стока.

Потери на испарение с суши вычитают из общих потерь с водоема, так как после устройства пруда происходит испарение с водной поверхности и исчезают потери воды на испарение с суши на площади водоема. Для

прудов ими можно пренебречь ввиду малой величины; для водохранилищ, расположенных на заболоченных поймах или при близких грунтовых водах, испарение с суши нужно учитывать.

Если нет непосредственных наблюдений за испарением с проектируемого участка, то иногда их можно получить на ближайшей агрометеостанции. Для приближенных расчетов пользуются картой испарения с поверхности суши, составленной П. С. Кузиным.

Для уменьшения испарения с поверхности водоема вокруг него создают лесную полосу шириной 10—20 м и более. Лесная полоса должна отстоять от максимально подпертого уровня на 30—50 м в плане и на 2—3 м по высоте, чтобы во время весеннего паводка она не затапливалась водой. Суммарные потери из водоема, выраженные слоем воды, составляют:

$$z = z_{\phi} + z_{и}, \text{ мм} \quad (13)$$

Объем потерь воды из пруда равен:

$$V_z = 10 * z * \omega_{\text{ср}}, \text{ м}^3 \quad (14)$$

где $\omega_{\text{ср}}$ — площадь зеркала пруда в га при $V_{\text{ср}}$; z в мм.

Если водоем используют для рыборазведения, то в объем нужно включить и мертвый объем, так как пруд ежегодно опоражнивают, а весной наполняют. В этом случае рабочий объем (V_p) равен полному объему (V).

$$V_p = V = V_{\Pi} + V_z + V_0, \text{ м}^3 \quad (15)$$

Рабочая емкость пруда без рыборазведения равно полезному объему плюс потери воды.

$$V_p = V_{\Pi} + V_z, \text{ м}^3 \quad (16)$$

Тогда полный объем пруда равен сумме рабочего и мертвого объемов.

$$V = V_p + V_0 \quad (17)$$

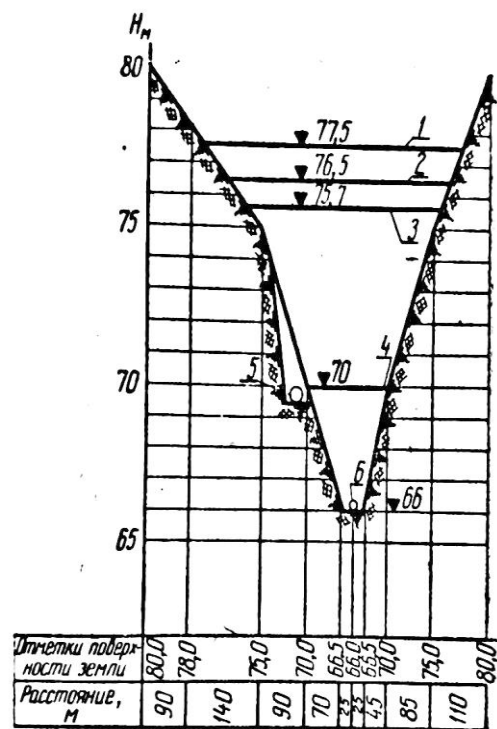


Рис. 3-3. Профиль по створу плотины:

1 — гребень плотины; 2 — максимальный подпертый уровень; 3 — нормальный подпертый уровень; 4 — уровень мертвого объема; 5 — трубчатый водозабор; 6 — донный водоспуск.

По топографической характеристике (рис.3-2) находят глубину воды у плотины, нормально подпертый уровень (НПУ) и площадь затопления при полном объеме пруда ($\omega_{\text{нпу}}$).

На продольном разрезе по оси плотины (рис.3-3) показывают НПУ и УМО. На план оконтуривают полный и мертвый объемы пруда, показывают лесную полосу.

В рассматриваемом примере потери на фильтрацию составляют 400 мм/год. При такой величине потерь противофильтрационные мероприятия не предусмотрены. Потери на испарение с водой поверхности составляют 970 мм. Осадки за апрель – октябрь среднесухого года равны 75 мм, испарение с суши по карте П. С. Кузина – 27 мм. Следовательно, потери на испарение с зеркала водоема по формуле (12) составляют:

$$z_{\text{и}} = 970 - 75 - 27 = 868 \text{ мм}$$

Суммарные потери, выраженные слоем воды по формуле (13):

$$z = 400 + 868 = 1268, \text{ мм}$$

Средний объем пруда (11):

$$V_{\text{ср}} = 217 + \frac{1830}{2} = 1130 \text{ тыс. м}^3 = 1,13, \text{ млн. м}^3$$

По топографической характеристике данному объекту соответствует площадь зеркала 39 га. Суммарный объем потерь воды за год по формуле (14) равен:

$$V_z = 10 * 39,0 * 1268 = 494,5, \text{ тыс. м}^3$$

Уточненная рабочая емкость пруда с использованием его для рыборазведения составляет (15):

$$V_p = 1,46 + ,49 + 0,22 = 2,17, \text{ млн. м}^3$$

Сравниваем уточненную рабочую емкость водоема со стоком при 75% обеспеченности и находим, что первая меньше второго ($2,17 < 2,54$).

Следовательно, водоем свыше 75% лет будет ежегодно заполняться до расчетного значения.

Полная емкость пруда равна рабочему объему (с учетом опораживания его для рыбоводства)

$$V = V_p = 2,17, \text{ тыс. м}^3$$

Полному объему соответствует глубину воды в водоеме 9,7 м, нормально подпертый уровень (НПУ) – 75,7 (рис. 2) и площадь затопления $\omega = 58$ га.

Для запроектированного водоема определяют некоторые показатели.

Коэффициент использования стока ($\beta_{ст}$) показывает, какая доля среднесуточного весеннего стока ежегодно задерживается в водоеме.

$$\beta_{ст} = \frac{V_p}{S_B} = \frac{2,17^*}{4,77} = 0,45$$

следовательно, только 45% среднесуточного весеннего стока задержится в водоеме.

Отношение полезного объема к рабочему ($\beta_{п}$) в хороших водоемах обычно выше 0,7. В нашем примере коэффициент использования воды пруда равен:

$$\beta_{п} = \frac{V_{п}}{V_p} = \frac{1,46}{2,17} = 0,67$$

что можно считать удовлетворительным.

Коэффициент полезной емкости пруда ($\beta_{п}$) составляет:

$$\beta_{п} = \frac{V_p}{S_B} = \frac{1,46}{4,77} = 0,31$$

Только 31% среднего весеннего стока будет использован полезно (на орошение и хозяйственные нужды).

Отношение мертвого объема к полному водоема:

$$\beta_0 = \frac{V_0}{V} = \frac{0,22}{2,17} = 0,10$$

Мертвый объем составляет только 10% объема пруда, что является хорошим показателем.

Отношение проектируемой площади орошения Нетто к площади затопления при НПУ должно быть > 5 . В нашем случае:

$$\frac{\Omega_{\text{нт}}^y}{\omega_{\text{нпу}}} = \frac{320}{58} = 5,5$$

Таким объемом, расчеты показывают, что проектируемый водоем находится в удовлетворительных условиях. При отметке НПУ – 75,7 не происходит затопления и подтопления ценных земель и сооружений **.

Комплексное использование водоема в хозяйстве. В степных и лесостепных районах сток воды очень изменчив по годам. В отдельные годы он сильно отличается от среднееголетнего. При зарегулировании стока 75% обеспеченности значительная часть его во многие годы не используется для регулярного орошения (таблица 2).

Таблица 2.

Процент обеспеченности	10	30	50	70	75
Модульные коэффициенты стока	1,865	1,286	0,922	0,610	0,532
Объем весеннего стока, млн. м ³	8,90	6,13	4,40	2,91	2,54
Объем сброса свыше рабочей емкости, млн. м ³	6,83	3,96	2,23	0,74	0,37
Возможные площади лиманного орошения в разные по стоку годы, га	-	1130	640	210	106

Сбрасываемую из пруда воду можно использовать для лиманного орошения, если для этого есть благоприятные условия. В нашем примере в течение лет с 50% обеспеченностью на лиманное орошение можно использовать 2,23 млн. м³, что при норме лиманного орошения брутто $M_{\text{бр}}^l = 3500 \text{ м}^3/\text{га}$ дает возможность орошать лиманами 640 га, а при 30% обеспеченности – 1130 га. Земли, пригодные для лиманного орошения, расположены в южной части землепользования колхоза «Рассвет» и не входят в план участка.

Если площадь водосбора большая и по расчетам получается избыточный сток воды с этой площади, то можно применить следующие мероприятия для более полного использования весеннего стока: увеличить объем пруда и расширить регулярно орошаемые площади; устроить второй водоем выше проектируемого; сбросить избыток воды из пруда и задержать его ниже для регулярного орошения, если для этого есть благоприятные условия.

Водоемы, устраиваемые для орошения, целесообразно использовать в качестве нагульных прудов для выращивания карповых пород рыбы, а также для выгула водоплавающей птицы. Комплексное использование прудов приносит дополнительные доходы хозяйствам, а затраченные средства на

постройку плотины и сооружений при ней окупаются значительно быстрее, чем при использовании водоема только для орошения.

Если пруд предусмотрено использовать для рыборазведения, то при его проектировании и строительстве необходим ряд мероприятий.

В ложе водоема не следует снимать растительный грунт. Водоем очищают от пней, деревьев и кустарника. Поверхность водоема планируют: срезают кочки и бугры, засыпают ямы. Пруду придают уклоны от берегов ко дну и вдоль тальвега речки или балки к донному водоспуску. По дну водоема устраивают главную (сборную) канаву по направлению к донному водоспуску (шириной по дну 0,5—1,0 м, глубиной 0,4—0,5 м). По мере надобности к ней проводят боковые сборные каналы меньших размеров для ускорения сброса воды из пруда. У водовыпуска сборная канава расширяется, образуя рыборазборную яму (лежбище), где собирается не выловленная рыба. Площадь лежбища от 15 до 25 м² и более; дно лежбища — на уровне дна водоспуска.

Для предупреждения выхода рыбы из водоема при сбросах воды или заборе ее на поливы устраивают заградительные сетки на водосбросе, у донного водоспуска и перед водозабором. Донный водоспуск можно устраивать по типу монаха, состоящего из лежбища и водостока со щитками. На небольших прудах водоспуск иногда можно устраивать сифонного типа из металлических труб диаметром 200—300 мм.

В водоемах для рыборазведения следует предусматривать мертвый объем воды глубиной не менее 1,5—2,0 м. Сюда собирается рыба после использования пруда для орошения, примерно с конца августа до конца октября.

На 1 га площади при НПУ необходимо выпускать карпов – годовиков (N, шт.).

$$N = \beta_0 \frac{A}{a}, \text{ шт.}$$

где, A – рыбопродуктивность на 1 га нагульного пруда (прирост рыбьего мяса) при НПУ; A=200 ÷ 400 кг/га;

a – вес одного карпа осенью, кг;

β_0 - коэффициент, учитывающий отход (потери) рыбы за период ее роста;

$\beta_0 = 1,15 \div 1,25$.

Если принять, что карп к осени весит в среднем 0,4 кг и считать 20% на отход, то получится, что весной нужно выпускать годовиков около 600 - 1200 штук на 1 га. При таких нормах посадки рыбам в первый период будет достаточно естественных кормов в пруде. По мере использования пруда для орошения и уменьшения площади питания рыбу необходимо подкармливать, а часть рыбы в конце лета можно вылавливать. Рыбопродуктивность всего пруда (P) равна:

$$P = A * \omega, \text{ кг.}$$

где ω — площадь поверхности воды в пруде, среднее за период роста рыбы.

Пруд нужно очищать от водной растительности, быстрое заиливание ухудшает условия разведения рыбы.

В колхозе «Рассвет» с площади водоема, равной 58 га и рыбопродуктивности - 300 кг/га, можно получать ежегодно около $58 * 300 = 17400$ кг рыбы. Весной нужно высаживать карпов-годовиков (N).

$$N = \beta_0 \frac{A}{a} * \omega = 1,2 * \frac{300}{0,4} * 58 = 52200, \text{ шт.}$$

Широкие производственные опыты показали, что правильное комбинированное использование водоемов для карпоутинового хозяйства очень выгодно. При разведении уток продуктивность прудов увеличивается на 30—40%, и более, так как утки поедают водную растительность и очищают от нее пруд, что благоприятствует рыборазведению.

Плотность посадки уток на водоемах рекомендуется от 150 до 200 штук на 1 га. Уток забивают на мясо в возрасте 60—65 дней. К этому времени они весят 2—2,5 кг, а интенсивность увеличения их веса сокращается. За лето можно вырастить две партии уток.

Определение числа выпускаемых уток на пруд по периодам (с коэффициентом отхода 0,8) приведено в таблице 3.

Таблица 3.

Период	Начало и конец периода	Объём пруда по периодам		Средний объём за период, млн. м ³	Площадь пруда при среднем объёме, га	Количество уток		Мяса, ц при весе одной утки 2 кг
		в долях от V _p	в млн. м ³			на 1 га	на ω	
	Вторая половина мая	$V_0 + 0,9 * V_p$	2,17					
I				1,63	48,0	200	9600	154
	Конец июля	$V_0 + 0,4 * V_p$	1,09					
II				0,66	26,5	200	5300	85
	Начало октября	V_0	0,22					
	Итого						14900	239

Комплексное использование пруда (орошение, либо разведение и выгул уток) принесет хозяйству дополнительный доход в виде 17,4 т рыбы и 23,9 т утиного мяса ежегодно, что значительно сократит срок окупаемости вложенных средств на устройство водоема.

Список литературы

1. Перехрест С.М. Об основных вопросах проектирования колхозных прудов // Гидротехника и мелиорация. 1950. № 3. С. 29-35.
2. Практикум по сельскохозяйственным мелиорациям / под ред. С.Ф. Аверьянова. М.: Колос, 1970. 344 с.
3. Железняк И.А. Регулирование поводочного стока: монография. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1965. 327 с.
4. Василенков В.Ф., Петров К.П., Родионов Ю.И. Рекомендации по строительству малых прудов в колхозах и совхозах Чувашский АССР. Чебоксары: Чувашкнигоиздат, 1973. 36 с.

Учебное издание

Василенков Сергей Валерьевич

Василенков Валерий Фёдорович

Кровопускова Валентина Николаевна

**Методическое пособие по водохозяйственным расчетам прудов
и малых водосборов**

для студентов высших учебных заведений в помощь изучения дисциплин
«Проектирование водохозяйственных систем»
«Основы градостроительства и планировка населенных мест»
В помощь выполнению выпускных квалификационных работ бакалаврам
и магистрам

Редактор Павлютина И.П.

Подписано к печати 19.11. 2021. Формат 60x84 1 /16.

Бумага офсетная. Усл. п. л. 1,16. Тираж 50. Изд.№7161.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ