

УДК 628. (1-21):628.113

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАШЕНИЯ ЭНЕРГИИ ЗА ВОДОСБРОСНЫМ СООРУЖЕНИЕМ ЛИМАНОВ

Люй Сяоцянъ, студент второго курса магистратуры института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, 1142380534@qq.com

Научный руководитель – Черных Ольга Николаевна, к.т.н., доцент, доцент кафедры гидротехнических сооружений института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, gtsmgup@mail.ru

Аннотация: Рассмотрены актуальные проблемы гашения энергии потока за водосбросами пойменных лиманов оросительных систем применительно к условиям Китая. Проанализированы факторы, уменьшающие размыв за водосбросом и повышающие эффективность сопряжения бьефов лиманных сооружений для дальнейшего развития водообеспечения и мелиорации сельскохозяйственных земель.

Ключевые слова: лиман, водосбросное сооружение, эстуарий, гаситель.

STUDY OF ENERGY DISCHARGE BEHIND THE SPILLAGE STRUCTURE OF ESTUARIAN RIVER HOLES

Lu Xiaoqian, second-year master's student at the Institute of Land Reclamation, Water Management and Construction named after A.N. Kostyakov, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 1142380534@qq.com

Scientific supervisor – Olga Nikolaevna Chernykh, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Hydraulic Structures at the A.N. Kostyakov Institute of Land Reclamation, Water Management and Construction, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, gtsmgup@mail.ru

Annotation: The article considers the current problems of energy damping of the flow behind the spillways of floodplain estuaries of irrigation systems in relation to the conditions of China. The factors that reduce erosion behind the spillway and increase the efficiency of coupling the pools of estuary structures for the further development of water supply and melioration of agricultural lands are analyzed.

Key words: estuary, spillway, spillway structure, damper.

Вопросы совершенствования инфраструктуры гидромелиоративных систем для орошения в Китае сейчас очень важны, так как здесь примерно на 122 млн. га существующих сельхозугодий находится около 58000 тыс. га орошаемых земель, что составляет более 48% от общей площади и 80 % от общего объема национального производства зерна. Однако ирригационные системы имеют ряд проблем, связанных со сроком их эксплуатации, который насчитывает от несколько столетий до 50 лет, причём модернизация и реабилитация лишь 402 из них была завершена к 2020 г. Например, самая древней и единственно сохранившейся в мировой практике ирригационной системе Дучзяньнянь, построенной более 2200 лет назад в провинции Сычуань на юго-западе Китая, до сих пор используется для орошения более 668 700 га сельхозугодий, отвода паводковых вод и обеспечения водными ресурсами более 50 городов. Традиционно используются в КНР и специальные системы лиманного орошения (СЛО). Например, естественные рисовые террасовые оросительные системы с родниковой водой, представляющие собой природные СЛО, с 2013 г. входят в список объектов всемирного наследия ЮНЕСКО. Только на юго-востоке провинции Юньнань необычайно красивые рисовые террасы Хунхэ-Хани СЛО занимают 16,5 тыс. га и террасные пруды более 7 тыс. лет дают высокий урожай, используя причудливые акватории в виде многоуровневых каскадов, сбегаящих со склонов и густо поросших лесом вершин гор Айлао к берегам реки Хонгха. Уже около 1300 лет трудолюбивые поколения народности хани вручную нарезают каналы, а где-то и лепят тонкостенные искусственные бассейны, вписывая ступенями СЛО в рельеф местности. В настоящее время, из-за ежегодного дефицита в 30 млрд. м³ для орошения земель и обеспечения продуктовой безопасности в КНР стоит задача повысить эффективность и производительность сельхозводоснабжения. Основная роль здесь отводится развитию водосберегающих методов орошения, совершенствованию структуры управления и автоматизации действующих гидротехнических сооружений мелиоративных систем после их реновации, а также рециркуляции и повторного использования воды.

Лиманы для орошения распространены в степной и полупустынных зонах и в РФ, где годовая сумма осадков составляет 200...300 мм и более (Поволжье, Калмыкия, Западная Сибирь, Якутия, Красноярский край, Урал, Северный Кавказ), поэтому повышение эффективности СЛО, зависящее в значительной степени от обеспечения стабильных режимов работы регулирующих водопропускных сооружений и сбросов излишков воды из СЛО очень актуальна. Например, в Якутии в зоне рискованного земледелия из 40 систем лиманного орошения площадью 20 тыс. га в 2023 г. в рабочем состоянии находятся только 19 СЛО площадью 12 тыс. га [1]. Из гидротехнических сооружений СЛО удовлетворительное состояние имеют только 64%, в реконструкции нуждаются 28%, а ликвидации подлежат 8% [2]. Около 33% разрушения в нижних бьефах водосбросных сооружений лиманов связаны с недостатками гасительных устройств потока в выходном участке.

Для разработки мероприятий по повышению эффективности работы СЛО

было проанализировано состояние гидротехнических сооружений приливного лимана реки Цяньтан в Китае, который является типичным эстуарным заливом (рис. 1).

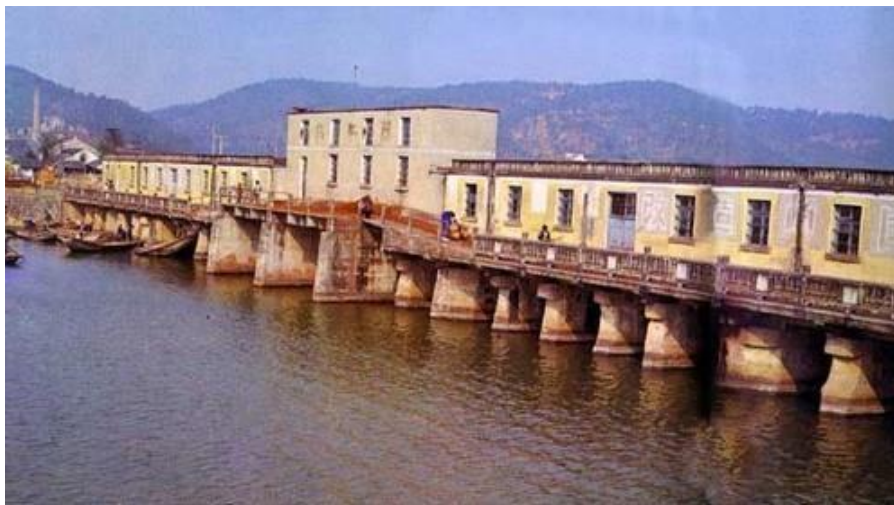


Рисунок 1 – Вид с верхнего бьефа на входной участок водосброса Саныцзянского эстуария

Высота приливной волны со стороны водоёма составляет более 4 м, поэтому приливное волновое воздействие намного превышает речное, снижая поступление наносов, но увеличивая размыв в нижнем бьефе гидроузла. Размеры эстуария значительны: длина 274 км, который по степени подверженности приливу можно условно разделить на 3 участка длиной 83, 101 и 90 км. Приморская часть залива мелководна и имеет ширину 101 км. На 3-х пролётном регуляторе водосбросного сооружения устроен мост с 28 пролётными отверстиями и проезжей дорогой. Все сооружения находятся в нормальном техническом состоянии. Разрушения водосбросных сооружений на лиманах происходят чаще всего из-за конструктивных недостатков гасящих устройств, не обеспечивающих необходимую степень гашения энергии выходящего в нижний бьеф лимана потока или вообще их отсутствия на участке сопряжения. Поэтому для обеспечения минимальных размывов за лиманным водосбросом и повышения надёжности работы каскадного или однорядного лимана был выполнен подбор специального гасителя энергии, конструкция которого должна была учитывать, что нижний бьеф лиманных сооружений значительно шире их водопропускного фронта. При этом при сравнительно малом и часто переменном (нерегулируемом) сбросе расхода может быть за водопропускным сооружением и очень малая бытовая глубина, затрудняющая плавное растекание потока в нижерасположенном участке водного объекта, т.е. гаситель должен обеспечивать удовлетворительный пространственный режим сопряжения.

В результате анализа технической литературы [3 - 5] был подобран для дальнейшего исследования гаситель с криволинейным порогом (рис. 2).

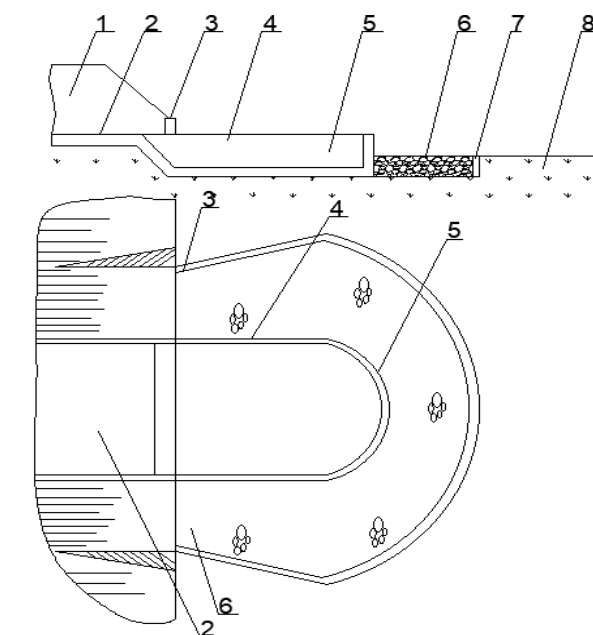


Рисунок 2 – Гаситель за водосбросным сооружением лимана [3]: 1 - устои сооружения; 2 - водобойный пол; 3 - открылок устоя; 4 - боковая стенка; 5 - фронтальный порог гасителя; 6 - рисберма; 7 - концевой зуб; 8 - отводящее русло

Исследования на модели показывают, что процесс формирования потока в нижнем бьефе сбросных сооружений лиманов действительно в значительной степени зависит от бытовой глубины. В начальный момент поступления расхода в незатопленный нижний бьеф зона растекания имеет форму "листа", ограниченную косыми прыжками. При дальнейшем увеличении по бокам транзитного потока образуются водоворотные области. Гидравлический прыжок смещается к сооружению и может стать затопленным. Наиболее интенсивный размыв будет наблюдаться в створах водоворотных зон. Это обусловлено нарушением устойчивости потока под влиянием разности давлений в различной по структуре зонах. Установлены основные факторы, влияющие на формирование скоростных характеристик потока. Так при обеспечении свободного растекания потока длина распространения наибольших осевых скоростей от выходного сечения сооружения может составить от $5h_0$ до $20h_0$, где h_0 – глубина в выходном сечении водосброса. Из-за криволинейного веерообразного очертания порога в конце гасителя изменение продольной скорости отводящей струи и глубин размыва в зависимости от длины сливного порога $L_{сл}$ уменьшаются. Если принять движение воды над порогом гасителя по аналогии истечению через водослив

$$Q = mL_{сл}\sqrt{2gH^3}, \quad (1)$$

где Q – переливной сбросной расход; H – превышение глубины воды над сливным порогом; m – коэффициент расхода водосливной стенки в конце гасителя; $g = 9,81 \text{ м}^2/\text{с}$, то глубина размыва за гасителем может быть оценена по зависимости вида

$$t = K \frac{q^{x_1} z^{x_2}}{d^{x_3}} \quad (2)$$

где q - удельный расход; $z = H + P - h_6$ - действующий напор; P - высота порога; d - средний диаметр частиц грунта; K - общий коэффициент, учитывающий различные факторы на глубину размыва; x_1 , x_2 и x_3 - показатели степени, которые будут уточнены позже при заданных определённых условиях: $h_6 = \text{const}$, $P = \text{const}$, $K = \text{const}$, $d = \text{const}$.

Экспериментально установлено, что длина сливной грани, при которой имеет место интенсивное уменьшение t , составляет $L_{\text{сл}} = (3 \div 4,5)B_0$, где B_0 - ширина водосливного отверстия. Анализ изменения осевых скоростей показал, что продольные составляющие скоростей в одних и тех же створах для гасителей с криволинейным порогом всегда меньше, чем для водобойного колодца [3]. Причем интенсивность их убывания происходит на более коротком интервале пути, что позволяет уменьшить длину крепления. Можно сделать заключение, что сопряжение бьефов лиманных сооружений при установке гасителя в виде криволинейного гасителя веерного типа даёт значительный эффект по сравнению с другими существующими типами гасителей (водобойная прямолинейная стенка, водобойный колодец, шашки, пирсы, растекатели и пр.).

Таким образом, в результате анализа эффективности сопряжения бьефов лиманных сооружений установлено, что одним из основных факторов, уменьшающих размыв за лиманным водосбросом и повышающих надёжность его эксплуатации, а также для дальнейшего развития водообеспечения и мелиорации сельскохозяйственных земель целесообразно применять веерообразный гаситель с криволинейным концевым порогом, дающий не только эффективное гашение энергии потока, но и предотвращающий образование опасных сбойных течений при пропуске разной величины нерегулируемых расходов воды с глубиной в нижнем бьефе, изменяющейся в довольно широком диапазоне.

Библиографический список

1. Лоскин М.И. Влияние изменения метеорологических параметров на сроки затопления лиманов и урожайность многолетних трав в Якутии // Мелиорация и водное хозяйство. 2022. №5. С. 32-36.
2. Лоскин М.И. Особенности лиманного орошения в условиях Якутии // вестник Алтайского ГАУ. 2023. №11. С. 44-49.
3. Бекмухамедов М.Т., Носенко С.Н. Натурные исследования работы сбросных сооружений лиманов. // Труды КазНИИВХ, т. 5., 1970. 317 с.
4. Пэн Чэн. Гидроэнергетика в Китае в 21 веке. Пекин: Издательство водных ресурсов и гидроэнергетики Китая. 2006. 405 с.
5. Волков В.И., Черных О.Н., Журавлёва А.Г., Румянцев И.С., Алтунин В.И. Открытые береговые водосбросы. М.: Изд-во ФГБОУ ВПО МГУП. 2012. 244 с.