

УДК 626.4.004

М. А. Колосов,
д-р техн. наук, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

К. П. Моргунов,
канд. техн. наук, доцент,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

С. А. Головков
канд. техн. наук,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ КАМЕРЫ ШЛЮЗА ПО СТЕПЕНИ ГАШЕНИЯ НАПОРА НА ВЕРХНЕЙ ГОЛОВЕ

DIAGNOSIS OF LOCK CHAMBER DEGREE OF SUPPRESSION HEAD TO UPSTREAM END OF A LOCK

Проведен анализ влияния на состояние судоходного шлюза и его элементов фильтрационного режима в грунтах основания шлюза и степени гашения фильтрационного напора на верхней голове шлюза. Даны рекомендации по упрощению оценки безопасности судоходных ГТС.

We analysed the impact on the state of the ship lock and its mode of filtration elements in the soil foundation of lock and the degree of suppression of filtration pressure to the upstream end of a lock was conducted. The recommendations for simplification of the safety assessment of navigational hydraulic structures were made.

Ключевые слова: судоходный шлюз, напор воды, методика оценки состояния шлюза, степень гашения напора, кривая депрессии.

Key words: navigation lock, the water pressure, the estimation procedure lock state, the degree of damping pressure, drawdown curve.

СУДОХОДНЫЙ шлюз — гидротехническое водоподпорное сооружение, разделяющее два водоема с разными уровнями воды. Поэтому действие напора воды на элементы шлюза является одним из основных силовых воздействий на конструкции сооружения. Кроме того, напор воды является главным фактором формирования фильтрационного режима в основании сооружения. Эти факторы являются решающими при определении места положения камеры и типа противофильтрационной завесы. При слабых грунтах основания, обладающих высокими фильтрационными характеристиками и низкой несущей способностью, камеру шлюза следует располагать в нижнем бьефе гидроузла, при прочных грунтах допускается расположение камеры в верхнем бьефе.

Многолетними наблюдениями за техническим состоянием судоходных шлюзов установлено, что фильтрационный режим в грунтах основания шлюза является главным фактором, определяющим устойчивость нижней головы шлюза, прочность и устойчивость стен камеры, прочность основания и обратной засыпки за стенами. Деформации голов шлюза и стен камеры, раскрытие температурно-осадочных швов между секциями, как правило, есть результат воздействия фильтрации воды в грунтах основания и обратной засыпки.

Оценим влияние фильтрации на техническое состояние судоходного шлюза, расположенного в нижнем бьефе (рис. 1).

Противофильтрационная завеса расположена в основании устоев верхней головы шлюза и сопряжении боковых стенок устоя с грунтовыми дамбами, ограничивающими водоем верхнего бьефа. Конструкции и способы создания противофильтрационной завесы могут быть различными. Это шпунтовые завесы, глиняные понуры, стена в грунте, цементационные завесы.

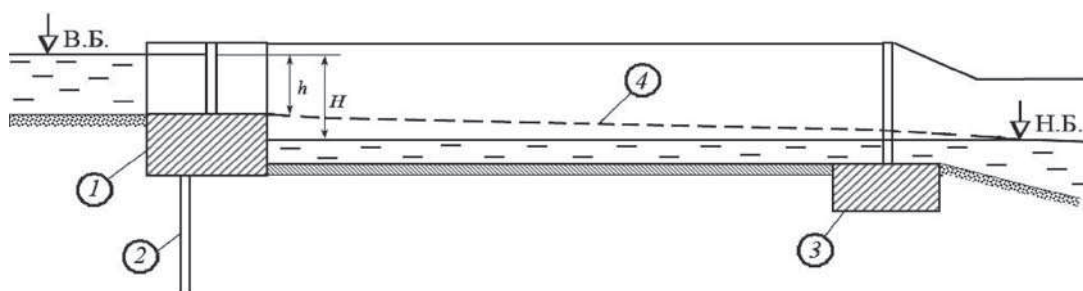


Рис. 1. Продольный разрез шлюза:

- 1 — устои верхней головы; 2 — противофильтрационная завеса; 3 — устои нижней головы;
4 — кривая депрессии под камерой шлюза и в грунте обратной засыпки стен;
 H — напор на шлюзе; h — величина гашения напора

Основное назначение противофильтрационного контура на верхней голове шлюза — исключить поступление воды из верхнего бьефа в грунты основания камеры шлюза, в обратную засыпку стен, в основание нижней головы шлюза.

Фильтрационное давление на конструкции шлюза влияет на их устойчивость, а гидростатическое давление на стены является нагрузкой, определяющей их прочностную надежность. При значительном фильтрационном давлении возможны выходы фильтрующейся воды на откосы обратной засыпки стен камеры, а также (при обходе нижней головы шлюза) на откосы нижнего подходного канала.

Давление фильтрующей воды в основании нижней головы может служить критерием ее устойчивости. Для оценки фильтрационного давления в основании шлюза на гидроузлах устанавливается измерительная система пьезометров в обратной засыпке камеры.

Существующая методика оценки состояния шлюза предусматривает проведение пьезометрических измерений и измерений расходов фильтрующейся воды в дренажах. Опыт проведения многолетних наблюдений и анализ их результатов показывает, что объем наблюдений можно уменьшить при условии выполнения некоторых предварительных расчетов.

1. Расчет коэффициента устойчивости нижней головы шлюза по формуле

$$K = \frac{(\sum P - W) \operatorname{tg} \varphi + c F + T_6}{\sum E} \gamma_n, \quad (1)$$

где $\sum P$ — суммарный вес сооружений нижней головы (бетонные устои, днище, здания на устоях, вес воды на днище);

W — противодействие воды в основании нижней головы шлюза, определяется по показаниям пьезометров, установленных в обратной засыпке за устоем нижней головы;

$\operatorname{tg} \varphi$ — коэффициент трения грунтов основания;

c — коэффициент сцепления грунта;

F — опорная площадь основания;

T_6 — сила трения грунта о боковые поверхности устоев;

$\sum E$ — суммарная величина сил сдвига, включающая гидростатическое давление воды на ворота, давление грунта и грунтовой воды на торцевые поверхности устоев.

Полученный в расчете коэффициент устойчивости K должен быть равен или больше нормативного коэффициента надежности в соответствии с классом сооружения (СНиП 33-01.2003 [1]).

2. Расчет устойчивости грунтовой насыпи за стенкой камеры и устоев нижней головы, а также дамб сопряжения верхней головы.

Для оценки устойчивости насыпи, расположенной за стенами камер шлюза при открытом дренаже, а также устойчивости сопрягающих дамб, примыкающих к устоям верхней головы, используется метод определения выходных градиентов фильтрации (рис. 2).

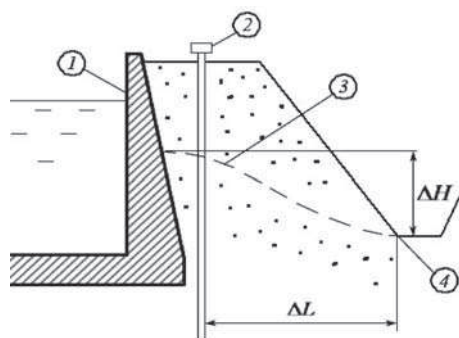


Рис. 2. Схема к расчету выходных градиентов в обратной засыпке стен:

1 — стена камеры шлюза; 2 — пьезометр; 3 — кривая депрессии;

4 — выход кривой депрессии на откос

Расчет выполняется по формуле

$$J_{\text{вых}} = \frac{\Delta H}{\Delta L}, \quad (2)$$

где ΔH — превышение уровня воды в пьезометре над расчетной точкой выхода депрессионной кривой на откос;

ΔL — расстояние от пьезометра до расчетной точки выхода депрессионной кривой.

Полученные значения $J_{\text{вых}}$ не должны превышать нормативных значений, регламентируемых СНиП 2.06.05-84 [2].

3. Уровень грунтовых вод за железобетонными стенами камеры совместно с давлением грунта определяет величину изгибающего момента, предельную величину которого в железобетонной стене можно определить по приближенной формуле (рис. 3):

$$M \leq R_a A_a (h_0 - a) \cdot 0,9, \quad (3)$$

где M — изгибающий момент в сечении стены, рассчитанный с учетом гидростатической нагрузки грунтовых вод и давления грунта;

R_a — расчетное сопротивление арматуры;

A_a — площадь арматуры в растянутой (тыловой) грани стены;

h_0 — толщина стенки в расчетном сечении;

a — толщина защитного слоя бетона в тыловой грани.

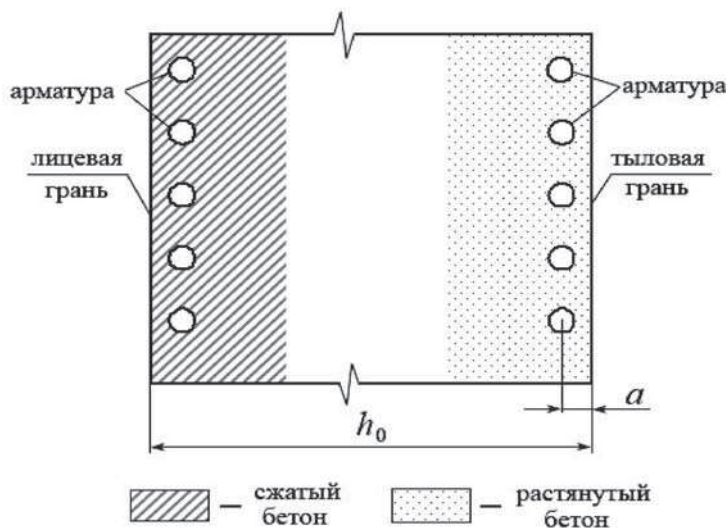


Рис. 3. Расчетное сечение железобетонной стены шлюза

4. Определив безопасный уровень грунтовых вод для нижней головы шлюза и стен камеры, можно установить величину главного диагностируемого параметра фильтрационного режима — степень гашения напора на верхней голове шлюза.

В натурных условиях фактическую величину гашения напора на верхней голове определяют по разности уровня воды в верхнем бьефе и показаний пьезометра, установленного за противофильтрационной завесой у первой секции камеры. Величина гашения напора в процентах определяется формулой

$$h = \frac{\downarrow \text{В.Б.} - \downarrow \text{П.З.}}{H} \cdot 100 \%, \quad (4)$$

где h — величина гашения напора, %;

$\downarrow \text{В. Б.}$ — отметка уровня воды в верхнем бьефе;

$\downarrow \text{П. З.}$ — отметка уровня в пьезометре, установленном за противофильтрационной завесой;

H — напор на шлюзе.

Зная степень гашения напора и характер кривой депрессии за стенами камеры, можно оценить безопасные уровни как для нижней головы, так и для стен камеры. Поэтому степень гашения напора на верхней голове можно считать достаточным критерием безопасности.

«Методические рекомендации по оценке технического состояния и уровня безопасности судоходных ГТС» [3] требуют проведения анализа состояния гидротехнической части шлюза по 11 критериям. Это обуславливает необходимость поддержания в рабочем состоянии на гидроузле более 30 комплексов контрольно-измерительной аппаратуры, а также большого объема наблюдений. Уменьшить объем наблюдений может выполнение анализа технического состояния и контроль практически только по одному параметру — степени гашения напора на верхней голове шлюза. Стабильный показатель степени гашения напора свидетельствует о стабильном режиме функционирования стен и днища камеры, стабильности грунтового основания камеры и нижней головы, обратной засыпки и дренажа за стенами.

Поэтому в тех судоходных шлюзах, где устанавливается стабильный фильтрационный режим, можно исключить ряд инструментальных наблюдений и для оценки безопасности шлюза убрать из декларации безопасности целый ряд «бесполезных» критериев, которые рекомендуются «Методическими указаниями» [3].

Список литературы

1. СНиП 33-01.2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения / Госстрой России. — М., 2004.
2. СНиП 2-06.05-84. Плотины из грунтовых материалов. — М., 1985.
3. Методические рекомендации по контролю технического состояния и оценке безопасности судоходных гидротехнических сооружений: утв. Росморречфлотом 15 апреля 2011 г. — М., 2011.