

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ КАНАЛОВ

Н.П. Курбатов

ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, г.Москва, Россия

Оросительный канал как любая система имеет коэффициент полезного действия. Не вся забираемая вода от водозабора поступает к потребителю.

Значение коэффициента полезного действия системы по А.Н. Костякову определяется по формулам [1]:

$$Q'' = \sum q = \sum \frac{\sigma}{100} l Q \quad (1)$$

Q'' - расход, забираемый из источника орошения, в голове системы;

σ - процент потерь воды в канале на 1 километр длины;

l - длина канала в километрах;

Q - пропускная способность, работающих каналов.

η - коэффициент полезного действия оросительной системы:

$$\eta = \frac{\sum q}{Q''} = \frac{\sum q}{\sum q + \sum \frac{\sigma \cdot l \cdot Q}{100}} \quad (2)$$

Потери зависят от длины и размеров оросительных каналов. Чем компактнее расположены, одновременно-работающие каналы, чем меньше общая длина каналов, приходящаяся на единицу расхода воды, работающего в системе в данный момент времени, тем больше коэффициент полезного действия системы.

При определении коэффициента полезного действия системы, необходимо вычислить значения коэффициента полезного действия для разных расходов воды в системе и во всяком случае для работы ее как при максимальном, так и при минимальном расходе: сообразно этому и должно быть установлено расчетное значение коэффициента полезного действия.

Общее значение коэффициента полезного действия оросительных систем не велико: для новых систем оно составляет около 40%, для старых систем оно повышается до 66—70%, так как заиляются каналы, почва насыщается водой, население становится опытнее в обращении с водой.

Среднее значение коэффициента полезного действия, определенное для большинства американских оросительных систем, составляет 40 %: именно потребляется на полях в среднем 6780 куб. мет. воды на гектар, а подается в голове системы 16960 куб. мет. воды на гектар орошаемой площади; таким образом, потери составляют около 60% от подачи воды в голове системы.

Увеличение глубины воды в каналах и уменьшение скорости течения воды в них, — как показывают наблюдения (табл. 1), увеличивают потери воды в каналах, и, например, сильно заросшие каналы с малой скоростью течения воды теряют воды на 50—60% больше чистых каналов [1].

Таблица 1 - Потери воды в различных частях оросительной системы

	И н д и я		С е в. А м е р и к а		
	Соедин. Провинции	Пенджаб	Klamath	Sunnyside	Sun River
Главный канал . . .	15%	20%	48%	14%	13%
Распределители . .	7%	6%		10%	
Оросительн. сеть . .	22%	21%	15%	18%	56%
Итого . . .	44%	47%	63%	42%	69%

Увеличение температуры воды увеличивает потери воды на фильтрацию (скорость фильтрации воды возрастает с t воды). Поэтому, летом потери воды в каналах больше, чем в холодную половину года.

Данные непосредственных измерений потерь воды на большом числе оросительных каналов (главным образом, американских) разной пропускной способности представлены в таблице 2. Эти данные соответствуют, большей частью, грунтам средней проницаемости.

Таблица 2 - Потери воды (по А.Н. Костякову)

Р а с х о д к а н а л а		Потери в % расхода на 1 килом. —
куб. фут/сек.	куб. мтр/сек.	
<1,0	<0,03	16
1—3	0,03—0,10	16—12
3—5	0,10—0,15	12—11
5—7	0,15—0,20	11—9
7—10	0,20—0,30	9—7,5
10—17	0,30—0,40	7,5—6
17—34	0,50—1,00	6—4
34—51	1,00—1,50	4—3
51—68	1,50—2,00	3—2,5
68—100	2,00—3,00	2,5—1,8
100—170	3,00—5,00	1,8—1,1
170—340	5,00—10,0	1,1—0,6
340—680	10,0—20,0	0,6—0,5
	20,0—30,0	0,5—0,32
	30,0—50,0	0,32—0,20
	50,0—100,0	0,20—0,15
	100,0—200,0	0,15—0,05
	200,0—300,0	0,05—0,02

Потери воды на фильтрацию в грунт ложа канала на оросительных каналах достигают 50-60 % полезного расхода воды. Такие значительные фильтрационные расходы существенно удорожают строительство каналов, т.к. их приходится делать большего сечения (с целью доставки потребителю требуемого количества воды) и значительно увеличивают эксплуатационные расходы по каналам, питающимся при помощи насосных станций.

Основное значение в явлении фильтрации воды в грунт имеют геологические и гидрогеологические условия. Имеется несколько теоретических решений для определения расхода фильтрации воды из канала

в разных случаях (работы Н. Н. Павловского, В. В. Ведерникова, В. И. Аравина и др.). Существуют также эмпирические формулы, например, формулы А. Н. Костякова для оросительных каналов. В них потери воды на 1 км длины канала даются в процентах от расхода Q протекающей в нем воды ($\text{м}^3/\text{с}$):

в легкопроницаемых грунтах

$$\sigma = 3,4/Q^{0,5}, \quad (3)$$

в среднепроницаемых грунтах

$$\sigma = 19/Q^{0,4}, \quad (4)$$

в тяжелых малопроницаемых грунтах

$$\sigma = 0,7/Q^{0,3}, \quad (5)$$

Изменение фильтрационных характеристик канала рассматривается нами как изменение надежности гидротехнического сооружения. Потери воды из канала это потеря определенных свойств сооружением, пропускной способности, вследствие разрушения облицовки, размывов и т.д. При этом затраты на 1 $\text{м}^3/\text{с}$ воды, поданной на поле орошения, значительно возрастают. Увеличиваются и капитальные затраты на строительство самого гидротехнического сооружения, так как вместо расчетного объема потребитель начинает получать меньше, а чтобы подать заданные объемы необходимо увеличить мощность сооружения (изменить ширину канала, поставить дополнительные насосы и т.д.).

Для гидротехнических сооружений методы теории вероятности и математической статистики применяются, в основном, при расчете надежности конструкций на разрушение, т.е. как долго они могут прослужить до выхода из строя, какие предельные нагрузки могут выдержать или для установления допускаемых (неразрывающих) скоростей водного потока.

Надежность для данного случая - качественный признак сооружения, т.е. его способность выполнять определенные функции качественно и эффективно.

Мелиоративный канал с заданными размерами и покрытием должен пропустить расчетный расход воды. Если запроектированный расход не проходит, то его качественные характеристики снижены и требуется либо восстановить их до проектных значений, либо расчеты были выполнены неверно (ошибки проектировщиков). Кроме того, планируемый расход может не проходить, если канал зарос травой, скорость движения воды уменьшилась, идет усиленная фильтрация через стенки и дно. Однако, все его конструктивные элементы остались без существенных изменений - откосы не размывы, обрушений не наблюдается, крепления имеют незначительные повреждения.

При эксплуатации оросительной системы канал, как основной ее элемент, подвергается воздействию различных факторов. Влияние этих факторов проявляется в виде отклонений параметров системы от расчетных значений,

изменения в течение эксплуатации коэффициента шероховатости, пропускной способности, коэффициент фильтрации. Отклонения иногда могут быть настолько значительными, что дальнейшая эксплуатация системы становится невозможной. Отказ наступает в том случае, когда система или составляющие ее элементы перестают удовлетворять предъявляемым требованиям.

Для оценки эксплуатационных качеств системы наряду с традиционными показателями необходимо иметь представление о количественной характеристике надежности. Она должна быть установлена, рассчитана на основе анализа поведения основных параметров системы при ее эксплуатации.

Надежность определяется, как способность оросительной системы обеспечивать и сохранять в условиях эксплуатации значение заданных показателей в течение всего срока эксплуатации в границах установленных допусков или как способность безотказно работать в течение определенного интервала времени при заданных условиях эксплуатации.

Вероятность безотказной работы $P(t)$ в заданном интервале времени t :

$$P(t) = P(T > t), \quad (6)$$

T - гарантийное время работы системы с заданными свойствами.

Интенсивность отказов (λ), т.е. как часто за время t система может выходить из строя, терять свои качественные характеристики, определяется отношением числа отказавших элементов n к среднему числу элементов N исправно работающих в данном отрезке времени. Статистическое выражение имеет вид:

$$\lambda(t) = \frac{n(\Delta t)}{N \Delta t}. \quad (7)$$

Так как, частота отказов имеет случайный характер, то вероятностное значение имеет вид:

$$\lambda(t) = \frac{a(t)}{P(t)}, \quad (9)$$

$a(t)$ – частота отказов, отношение числа отказавших элементов к первоначальному числу отказавших элементов.

В общем виде вероятность работы элемента системы определяется по формуле:

$$P(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right]. \quad (10)$$

Наиболее типичная зависимость интенсивности отказов элементов от времени эксплуатации (рис.1).

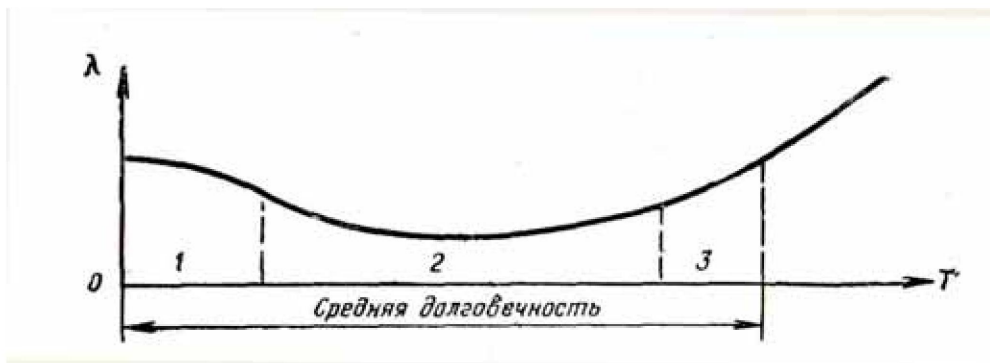


Рисунок 1 - Характер распределения отказов:

1-период приработки; 2- период нормальной работы; 3- период износа

График имеет три ярко выраженных участка: период приработки; период нормальной работы; период износа. Наиболее часто системы выходят из строя в первый и третий период.

Срок службы устанавливается календарной продолжительностью эксплуатации системы до момента возникновения предельного состояния, оговоренного в технических условиях.

Срок гарантий определяется как период, в течение которого изготовитель (производитель работ) гарантирует и обеспечивает выполнение требований к изделию (объекту) при условии соблюдения правил технической эксплуатации.

В зависимости от предъявляемых требований, обуславливающих надежность системы, на практике применяют прикидочный, ориентировочный и окончательный расчет надежности.

Прикидочный расчет надежности позволяет судить о принципиально возможном обеспечении требуемой надежности системы. При этом расчете допускают, что все элементы системы равноценны; опасность отказов всех элементов не зависит от времени ($\lambda = \text{const}$); отказ любого элемента приводит к отказу всей системы.

Ориентировочный расчет позволяет определить рациональный состав элементов системы и наметить пути повышения надежности системы на стадии эскизного проектирования. При этом расчете допускают, что все элементы работают в нормальном режиме, все они равнонадежны и работают одновременно; интенсивность отказов всех элементов не зависит от времени; отказы элементов являются событиями случайными и независимыми.

Вероятность исправной работы оросительной сети, состоящей из N элементов канала, в течение времени t будет равна, произведению вероятностей исправной работы ее составных элементов в течение того же времени [4]:

$$P_c(t) = P_1(t) P_2(t) P_3(t) \dots P_N(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t). \quad (11)$$

Вероятность безотказной работы одного элемента:

$$P_i(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right] \quad \text{или}$$

$$P_i(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (3)$$

В общем виде формулу (11) можно записать:

$$P_c(t) = e^{-\int_0^t \lambda_1(t) dt} e^{-\int_0^t \lambda_2(t) dt} e^{-\int_0^t \lambda_N(t) dt} \dots e^{-\sum \int_0^t \lambda_i(t) dt} \quad (4)$$

Если интенсивность отказов будет величиной постоянной то:

$$P_i(t) = e^{-\lambda_i t}, \quad (12)$$

тогда формулу (4) можно записать в виде:

$$P_i(t) = e^{-\lambda_1 t} e^{-\lambda_2 t} e^{-\lambda_N t} \dots e^{-\lambda_c t}; \quad \lambda_c = \sum_{i=1}^N \lambda_i \quad (13)$$

Выражение (13) позволяет определять вероятность исправной работы канала в первом приближении. Оно служит для предварительной оценки состояния гидросооружения и расчета коэффициента полезного действия системы. Потери на фильтрацию численно равны снижению надежности гидротехнического сооружения:

$$P_c(t) = 1 - P_i(t). \quad (14)$$

Пример расчета: Канал имеет общую длину 500м. Откосы и дно укреплены железобетонными плитами. При обследовании канала установлено, что 5 участков приблизительно по 1м длины имеют разрушения. Гарантийный срок службы канала 50 лет. Пропускная способность канала 1000 куб м в сутки. Требуется определить какой объем воды не дойдет до потребителя, если обследование проводилось через 15 лет после начала эксплуатации системы. Потери воды по расчетам проектировщиков не более 15%.

Предположим, что интенсивность отказов будет постоянной величиной, тогда вероятность исправной работы канала выхода будет равна:

$$P(t) = e^{-\lambda_1 t} e^{-\lambda_2 t},$$

где λ_1 – интенсивность отказов из-за разрушенных креплений; λ_2 – интенсивность отказов вследствие старения сооружения.

$$\lambda_1 = n_1 / N_1 = 5/500,$$

n_1 – протяженность разрушенных креплений; N_1 – общая длина участка.

$$\lambda_2 = 1/t = 1/50,$$

t – срок эксплуатации сооружения.

$$P(t) = e^{-5/500 \cdot 15} e^{-1/50 \cdot 15} = 0,63$$

В результате надежность системы через 15 лет эксплуатации составит 64%, а вероятность выхода из строя – 36%. Потребитель получит не 1000 куб. воды, а только 490 куб.м. – 150 куб.м не дойдет по расчетам проектировщиков и 360 куб.м из-за снижения фильтрационной надежности. Коэффициент полезного действия системы 49%.

Таким образом, из-за фильтрационных потерь, которые вызваны конструктивными, технологическими, эксплуатационными дефектами и

старением системы, потребителю будет доставлен не 100% объём воды, а равный вероятности исправной работы сети с учетом запланированных фильтрационных потерь проектировщиками.

Литература

1. Костяков А.Н. Основы мелиорации. М.: Издание автора 1927.-476., ил
2. Гидротехнические сооружения (в двух частях). Ч.1:Учебник для студентов вузов /Под ред. Гришина М.М. –М.: Высш.шк., 1979. -615с., ил.
3. Мирцхулава Ц.Е. Надежность гидромелиоративных сооружений. –М.: Колос,1974.-279с
4. Истомина В. С, Буренкова В. В., Мишурова Г. В. Фильтрационная прочность глинистых грунтов. — М.: Стройиздат, 1975.
5. Сотсков Б. С. Основы теории расчета надежности элементов автоматики и вычислительной техники. –М.: «Высшая школа», 1970. -272с.
6. Курбатов Н.П. Основные параметры для прогнозирования и оценки фильтрационных потерь. Вестник Тверского государственного технического университета: научный журнал. Тверь: ТГТУ, 2009. Вып.15. С.196-199.