

УДК 627.53:626.86

**НАДЕЖНОСТЬ ВОДОПРИЕМНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОБЕСПЕЧЕНИИ  
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ КАНАЛОВ В УСТЬЕВОЙ ЧАСТИ**

**Е.А. Лукьянова**, старший научный сотрудник  
(Институт мелиорации и луговодства НАН Беларуси)

Надежность водоприемников мелиоративных систем определяется частотой повторяемости и продолжительностью периодов, в которые не обеспечиваются расчетные горизонты в магистральном канале и прием необходимого объема воды. Считается, что водоприемник не выполняет свои функции, если уровень воды в нем выше нормативного, за который для весеннего половодья принимается уровень ниже посевной нормы осушения с запасом на снижение кривой депрессии от середины осушаемых карт к осушителям.

В случаях, когда водоприемниками являются реки, обеспечить бесподпорную работу каналов в устьевой части во все годы эксплуатации сложно в связи с многоводными годами с весьма высокими уровнями. Исходя из экономической целесообразности принято считать, что нормальная работа мелиоративной системы обеспечивается в случае, когда уровень воды в водоприемнике расчетной обеспеченности не превышает нормативный, определенный для устьевой части магистрального канала [1]. Для мелиоративных систем с машинным водоотводом также требуется выполнение этого условия. В данном случае в качестве критерия надежности водоприемника принято не превышение требуемого уровня воды. С использованием вероятностной характеристики уровней воды в водоприемнике его надежность по такому критерию определяется уравнением [2]:

$$P_{ih} = \frac{m}{n}, \quad (1)$$

где  $P_{ih}$  – надежность водоприемника по не превышению заданного уровня воды;  
 $m$  – число лет, когда уровень воды в водоприемнике не превышает нормативный;  
 $n$  – число лет, используемых в расчетах, (индексы «ih» обозначают, что водоприемник рассматривается как  $i$ -ый элемент мелиоративной системы при работе по поддержанию требуемого уровня  $h$ ).

Для оценки надежности мелиоративной системы необходимо надежность всех элементов привести к одному показателю. Для мелиоративных систем в качестве такого предложено использовать получение проектного валового объема продукции с площади, на которую оказывает влияние рассматриваемый элемент. В этом случае надежность получения требуемой урожайности выражается уравнением:

$$P_i = \left( 1 - \frac{\Delta y_i}{y_0} \right) = \frac{y_i}{y_0}, \quad (2)$$

где  $\Delta Y_i$  – потери урожайности от неудовлетворительной работы  $i$ -го элемента в среднем за многолетний период;

$Y_i$  – урожайность на участке влияния  $i$ -го элемента в среднем за многолетний период при наличии неисправностей;

$Y_0$  – проектная урожайность (за многолетие в среднем при исправном состоянии элемента).

Надежность получения проектного валового объема продукции при работе  $i$ -го элемента, т.е. надежность каждого элемента системы определяется формулой:

$$P_{iB} = P_i \cdot S_i, \quad (3)$$

где  $P_{iB}$  – надежность получения валового объема продукции на площади влияния элемента;

$P_i$  – надежность получения проектной урожайности на площади влияния элемента;

$S_i = f_i / F$  – относительная площадь влияния  $i$ -го элемента;

$f_i$  – площадь распространения влияния  $i$ -го элемента;

$F$  – вся площадь мелиоративной системы.

Урожайность в среднем за многолетний период при неисправном элементе можно определить по формуле:

$$y_i = \frac{mY_0 + (n - m)Y_m}{n}, \quad (4)$$

где  $n$  – число лет многолетнего периода;

$m$  – число лет в многолетнем периоде, когда влияние неисправности элемента на урожай не сказывается;

$Y_m$  – средняя урожайность за  $(n-m)$  лет, когда недополучен урожай из-за неисправности.

С учетом формулы (1) уравнение (4) принимает вид:

$$Y_i = P_{ih} \cdot Y_0 + (1 - P_{ih}) \cdot Y_m. \quad (5)$$

Подставив уравнение (5) в (2), получим:

$$P_i = P_{ih} + (1 - P_{ih}) \cdot \frac{Y_m}{Y_0}. \quad (6)$$

При неисправном водоприемнике снижение урожайности может происходить из-за запаздывания со сроками сева культур в весенний период, из-за потерь части урожая по причине подтопления посевов.

Потери  $\Delta Y$  урожая в среднем за многоводные годы, когда уровень в водоприемнике в посевной период превышает нормативный, можно определить по формуле [3, 4]:

$$\Delta y = \overline{\Delta y} \cdot T_{cp}, \quad (7)$$

где  $\overline{\Delta y}$  – потери урожая от запаздывания со сроками сева на одни сутки;

$T_{cp}$  – средняя продолжительность запаздывания сроков сева за многоводные годы, когда уровень воды в водоприемнике превышал нормативный.

С учетом формулы (7) урожай  $Y_m$  будет выражаться зависимостью:

$$y_m = y_0 - \Delta y = y_0 - \overline{\Delta y} \cdot T_{cp} \quad (8)$$

Подставив (8) в уравнение (6) и преобразовав, получим:

$$P_i = 1 - (1 - P_{in}) \cdot \frac{\overline{\Delta y} \cdot T_{cp}}{y_0} \quad (9)$$

Для применения уравнения (9) требуется иметь частоту превышения уровней воды в водоприемнике нормативного уровня в канале, удельные потери урожая  $\overline{\Delta y}/y_0$  и среднюю продолжительность запаздывания со сроком сева культур на площади влияния водоприемника.

Удельные потери урожая находятся примерно в пределах 0,01-0,04, 1/сут., средняя продолжительность запаздывания со сроком сева в зависимости от степени заиления и зарастания водоприемника может достигать до 20 суток, а частота превышения нормативного уровня может изменяться от 1 раза в 10 лет, соответствующего проектным условиям, до 1 раза в 2 года, когда состояние водоприемника значительно ухудшится.

Для этих условий определены значения надежности функционирования водоприемника с использованием критерия урожайности по формуле (9) и приведены в табл. 1.

**Таблица 1. Надежность водоприемника в период весеннего половодья ( $P_i$ )**

$P_{in}$	$\overline{\Delta y}/y_0 = 0.01 \text{ 1/сут.}$				$\overline{\Delta y}/y_0 = 0.02 \text{ 1/сут.}$				$\overline{\Delta y}/y_0 = 0.03 \text{ 1/сут.}$				$\overline{\Delta y}/y_0 = 0.04 \text{ 1/сут.}$			
	$T_{cp}, \text{сут.}$															
	0	5	10	20	0	5	10	20	0	5	10	20	0	5	10	20
0,9	1	0,995	0,99	03,98	1	0,99	0,98	0,96	1	0,985	0,97	0,94	1	0,98	0,96	0,92
0,8	1	0,990	0,98	0,96	1	0,98	0,96	0,92	1	0,970	0,94	0,88	1	0,96	0,92	0,84
0,7	1	0,985	0,97	0,94	1	0,97	0,94	0,88	1	0,955	0,91	0,82	1	0,94	0,88	0,76
0,6	1	0,980	0,96	0,92	1	0,96	0,92	0,84	1	0,940	0,88	0,76	1	0,92	0,84	0,68
0,5	1	0,975	0,95	0,90	1	0,95	0,90	0,80	1	0,925	0,85	0,70	1	0,90	0,80	0,60
0,4	1	0,970	0,94	0,88	1	0,94	0,88	0,76	1	0,910	0,82	0,64	1	0,88	0,76	0,52
0,3	1	0,965	0,93	0,86	1	0,93	0,86	0,72	1	0,895	0,79	0,58	1	0,86	0,72	0,44
0,2	1	0,960	0,92	0,84	1	0,92	0,84	0,68	1	0,880	0,76	0,52	1	0,84	0,68	0,36

Наряду с весенними половодьями на многих реках в вегетационный период возникают летне-осенние паводки (ЛОП). При этом ЛОП и весенние половодья происходят последовательно во времени. Их влияние на формирование урожая можно рассматривать как последовательное соединение. В этом случае общая надежность получения заданного урожая будет определяться уравнением [2]:

$$P_{i,общ.} = P_i \cdot P_{i,ЛОП}, \quad (10)$$

где  $P_{i,ЛОП}$  – надежность водоприемника по формированию урожая при воздействии ЛОП.

Площадь влияния водоприемника в весеннее половодье может не совпадать с площадью влияния во время ЛОП. Например, обозначим площадь влияния ЛОП через  $S_{i,ЛОП}$ , а площадь влияния водоприемника в весеннее половодье –  $S_{i,VP}$ . Пусть  $S_{i,VP} > S_{i,ЛОП}$ . Тогда надежность водоприемника по формированию валового объема продукции будет:

$$P_{iB} = P_{i,общ.} \cdot S_{i,ЛОП} + P_i (S_{i,VP} - S_{i,ЛОП}). \quad (11)$$

Значения надежности водоприемника при возникновении ЛОП определяются аналогично формуле (6) для весеннего половодья:

$$P_{i,ЛОП} = P_{inL} + (1 - P_{inL}) \cdot \frac{y_{mL}}{y_0}, \quad (12)$$

где  $P_{inL}$  – значение надежности водоприемника при ЛОП по критерию превышения уровней в реке нормативного уровня в канале;

$y_{mL}$  – средняя урожайность за годы, в которые наблюдались летне-осенние паводки.

По литературным источникам [5-7] сельскохозяйственные культуры в вегетационный период без снижения урожайности выдерживают непродолжительное затопление (от 0,2-0,5 сут. для зерновых до 1-1,5 сут. для пастбищных трав). При более продолжительном затоплении происходит резкое снижение урожаев, вплоть до гибели культур или полной непригодности продукции. По результатам анализа источников [5-7] рекомендуется принимать приближенные значения относительной урожайности  $y_{mL}/y_0$ , приведенные в табл. 2.

**Таблица 2. Относительная урожайность ( $y_{mL}/y_0$ ) многолетних трав, зерновых, пропашных и других культур**

Культура	Продолжительность затопления, сут.				
	До 0,5	0,5-1,5	1,5-5	5-10	Более 10
Многолетние травы	1	1	0,5	0,1	0
Зерновые, пропашные и др. культуры	1	0,2	0,2	0,08	0

**Таблица 3. Надежность водоприемника в период летне-осенних паводков ( $P_{i,ЛОП}$ )**

$P_{inL}$	Относительная урожайность, $y_{mL}/y_0$					
	1	0,5	0,2	0,1	0,08	0
1	1	1	1	1	1	1
0,9	1	0,95	0,92	0,91	0,908	0,9
0,8	1	0,90	0,84	0,82	0,816	0,8
0,7	1	0,85	0,76	0,73	0,724	0,7
0,6	1	0,80	0,68	0,64	0,632	0,6
0,5	1	0,75	0,60	0,55	0,540	0,5
0,4	1	0,70	0,52	0,46	0,448	0,4
0,3	1	0,65	0,44	0,37	0,356	0,3
0,2	1	0,60	0,36	0,28	0,264	0,2

По значениям  $Y_{мл}/Y_0$  из табл. 2 и формуле (12) определены величины надежности  $P_{i,ЛОР}$ , приведенные в табл. 3.

В тех мелиоративных системах, где отвод воды с устьев магистральных каналов производится насосными станциями, надежность водоприемника зависит от снижения расхода откачки при возникновении неисправностей.

При исправных насосах время откачки:

$$t_0 = \frac{W}{Q_{н.с.}}, \quad (13)$$

где  $t_0$  – расчетное время откачки, принимается  $t_0 = 10$  суток;

$W$  – объем откачки;

$Q_{н.с.}$  – расход откачки насосной станцией.

При неисправных насосах расход откачки выразим в доле от расчетного расхода откачки, т. е.  $\alpha Q_{н.с.}$  (где  $\alpha < 1$  – доля от расхода исправной насосной станции).

Время откачки при неисправных насосах:

$$t_n = \frac{W}{\alpha Q_{н.с.}}. \quad (14)$$

Опаздывание с севом:

$$T = t_n - t_0 = \frac{W}{Q_{н.с.}} \left( \frac{1}{\alpha} - 1 \right) = t_0 \left( \frac{1}{\alpha} - 1 \right). \quad (15)$$

При опаздывании с севом по сравнению с оптимальными сроками надежность может быть определена по уравнению:

$$P_{i,н.с.} = \eta \left[ 1 - \frac{\overline{\Delta y} \cdot T}{y_0} \right], \quad (16)$$

где  $P_{i,н.с.}$  – надежность работы насосной станции;

$T$  – опаздывание с севом по сравнению с оптимальным сроком, сут.;

$\overline{\Delta y}$  – потери урожая, ц/га·сут.;

$y_0$  – урожай при севе в оптимальный срок, ц/га;

$\eta$  – коэффициент, учитывающий структуру использования осушенных земель, для полевого севооборота  $\eta=1,0$ ; для пастбища  $\eta=2-\alpha$ ; для сенокоса  $\eta=1/\alpha$ .

Величину относительных потерь урожая связанных со степенью неисправности насосной станции ( $\alpha$ ), можно определить по формуле

где 
$$\frac{\overline{\Delta y} \cdot T}{y_0} = 1 - \exp \left( 1 - \frac{1}{\alpha} \right), \quad (17)$$

$$\alpha = \frac{t_0}{t_0 + T}. \quad (18)$$

Полученные по уравнениям (16)-(18) значения надежности приведены в табл. 4.

**Таблица 4. Значения надежности водоприемных элементов (насосных станций) в устьях магистральных каналов на системах с машинным водоотводом**

Условие	Т, сут.	α	Сельскохозяйственное использование		
			полевой севооборот	пастбище	сенокос
Расход насосной станции соответствует требуемому для осушительных целей	0	1,0	1,0	1,0	1,0
При снижении расхода от требуемого, %					
10	1,1	0,90	0,90	0,98	0,99
20	2,5	0,80	0,78	0,93	0,98
25	3,3	0,75	0,72	0,90	0,96
30	4,3	0,70	0,65	0,85	0,93
40	6,7	0,60	0,51	0,72	0,85
50	10,0	0,50	0,37	0,55	0,74
60	15,0	0,40	0,22	0,36	0,55
65	18,6	0,35	0,16	0,26	0,46
70	23,3	0,30	0,10	0,16	0,33
75	30,0	0,25	0,05	0,09	0,20
80	40,0	0,20	0,02	0,03	0,10
85	56,7	0,15	0	0,01	0,02
90	90,0	0,10	0	0	0

Данные табл. 1-3 позволяют без сложных расчетов определять надежность водоприемников в обеспечении формирования урожайности на территориях их влияние в периоды весеннего половодья и летне-осенних паводков при самотечном водоотводе, а табл. 4 – при машинном водоотводе.

Основными исходными факторами, необходимыми для определения надежности, являются: частота превышения уровня в водоприемнике нормативного уровня в устье канала, относительная урожайность в неблагоприятные годы, запаздывание со сроками сева, длительность затопления почвы летне-осенними паводками, степень снижения расхода откачки от неисправности насосной станции, сельскохозяйственное использование угодий. Все эти факторы могут быть определены при обследовании мелиоративных систем с привлечением специалистов эксплуатационных организаций и сельскохозяйственных предприятий.

При рассмотрении вопроса о надежности водоприемников целесообразно дифференцировать регионы с мелиоративными системами по удельному применению в качестве водоприемников рек и насосных станций. Равнинный характер земель в Брестской области позволил создавать более крупные системы, где в среднем на одну насосную станцию приходится 714 га, а в остальных областях только 398 га. Также на один километр рек-водоприемников самотечных систем в Брестской области приходится 430 га мелиорированных земель, а на остальной части республики всего 230 га.

Эти данные показывают, что насосные станции и реки-водоприемники в Брестской области оказывают влияние на более крупные системы, чем в других регионах республики. В связи с этим надежность рек-водоприемников и насосных станций в Брестской области следует поддерживать более высокой, чем на остальной территории.

#### **Литература**

1. Мелиоративные системы и сооружения. СНиП 2.06.03-85. – М., 1985. – 199 с.
2. Мирцзулава Ц.Е. Надежность систем осушения. – М.: Агропромиздат, 1985. – 239 с.
3. Закржевский П.И., Шебеко В.Ф. Временные методические указания по учету влияния водного режима мелиорированных торфяников на урожайность сельскохозяйственных культур. – Мн.: БелНИИМирВХ, 1976. – 20 с.
4. Шебеко В.Ф., Закржевский П.И., Брагилевская Э.А. Гидрологические расчеты при проектировании осушительных и осушительно-увлажнительных систем. – Л.: Гидрометеоздат, 1980. – 312 с.
5. Костяков А.Н. Основы мелиораций. – М.: Сельхозгиз, 1960. – 662 с.
6. Чейчис И.И. Определение расчетного расхода летних паводков. – Вильнюс.: Минтис, 1967. – 73 с.
7. Мелиорация: Энциклопед. справоч. – Мн., 1984. – 567 с.

#### **Резюме**

Рассматриваются вопросы надежности водоприемников по обеспечению требуемого водного режима для получения проектной урожайности на территориях их влияния. Приводятся способы оценки надежности водоприемников при самотечном и машинном водоотводе.

**Ключевые слова:** водоприемник, надежность, магистральный канал, эксплуатация, весеннее половодье, летне-осенние паводки.

#### **Summary**

##### ***Lukyanova E. Reliability of catch-water elements on provision of operation of trunk canals at mouth part***

The problems of reliability of catch-waters on provision of water regime that is necessary to produce a planned yielding capacity in influenced terrains are considered. The methods to estimate catch-waters reliability in self-flowing and pump water removal are presented.

**Keywords:** Catch-water, reliability, trunk canal, operation, spring high water, summer-and-fall floods.