

КОНСТРУКЦИИ И РАСЧЕТЫ

УДК 626.86

МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

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

Мелиоративная система состоит из комплекса различных элементов, функционирование которых обеспечивает создание определенного водного режима почвы. С течением времени происходит износ, появление неисправностей, старение и изменение параметров элементов, приводящие к ухудшению функционирования мелиоративной системы в целом.

В настоящее время имеются разработки теоретических и методических основ определения надежности осушительных и оросительных систем и отдельных их составляющих [1-11], а также технических решений в других областях науки и техники [12-15 и др.]. В этих работах надежность рассматривается как вероятность выполнения определенных функций устройствами, механизмами, сооружениями, элементами конструкций. В осушительных системах под такой функцией, по определению Ц.Е. Мирцхулавы [5-7], понимается выполнение заданного режима осушения. При этом критериями надежности отдельных элементов, в зависимости от их назначения и конструкции, принимаются вероятности выполнения ими разнородных функций: отвода объема воды, пропуска расхода, ограничения скоростей течения, понижения уровней грунтовых вод, сохранения устойчивости и др. Изменение надежности различных элементов, определяемой по разнородным функциональным критериям, на одну и ту же величину приводит к неодинаковому изменению водного режима мелиоративной системы и, следовательно, к разному влиянию на урожайность.

Поэтому при параметрических критериях оценки надежности работы элементов надежность получения заданной урожайности не равна надежности работы элемента, а будет некоторой функцией от нее. Если на некоторый участок оказывает влияние элемент системы, надежность которого P_j , то урожайность на этом участке можно выразить в общем виде уравнением:

$$Y_i = \theta_i(P_j) \cdot P_j, \quad (1)$$

где Y_i – урожайность; $\theta_i(P_j)$ – функция взаимосвязи урожайности и надежности работы элемента; P_j – надежность элемента.

Применительно к мелиоративной системе при полностью исправном ее состоянии среднееголетняя урожайность может быть выражена уравнением:

$$Y_0 = \theta(P_{co}) \cdot P_{co}, \quad (2)$$

где Y_0 – проектная урожайность; $\theta(P_{co})$ – функция взаимосвязи урожайности и надежности системы в исправном состоянии; P_{co} – надежность исправной мелиоративной системы.

Вся площадь мелиоративной системы состоит из суммы площадей участков f_i , на которые оказывают влияние элементы системы. Рассмотрим частный случай, когда потенциальное плодородие всех участков одинаково. При исправном состоянии всех элементов урожайность одной и той же культуры при прочих равных условиях (удобрениях, сроках сельскохозяйственных работ и т.д.) на всех участках также будет одинаковой. В условиях, соответствующих проектному решению, урожайность каждого участка $Y_{0i} = Y_0 = \text{const}$ (где Y_{0i} – проектная урожайность i -го участка). При неисправных элементах урожайность участка Y_i за счет ухудшения водного режима будет меньше проектной ($Y_i < Y_0$).

Тогда валовой объем продукции со всей площади F при ухудшении состояния мелиоративной системы:

$$B_{i,F} = \sum_{i=1}^n \theta_i(P_j) \cdot P_j \cdot f_i, \quad (3)$$

где $B_{i,F}$ – валовой объем продукции с МС; n – количество участков; f_i – площадь участка.

Валовой объем продукции со всей площади при расчетной проектной) надежности:

$$B_{0,F} = Y_0 \cdot F = \theta(P_{co}) \cdot P_{co} \cdot F, \quad (4)$$

где $B_{0,F}$ – валовой объем продукции с площади, занимаемой мелиоративной системой при ее исправном состоянии; F – площадь мелиоративной системы.

Надежность получения валовой продукции для мелиоративной системы с неисправными элементами можно выразить следующим соотношением:

$$P_B = \frac{B_{i,F}}{B_{0,F}}, \quad (5)$$

Подставив в (5) $V_{i,F}$ и $V_{0,F}$, определяемые по уравнениям (3) и (4), получим:

$$P_B = \frac{\sum_{i=1}^n \theta_i(P_j) \cdot P_j \cdot f_i}{\theta(P_{co}) \cdot P_{co} \cdot F} \quad (6)$$

Уравнение (6) является общим для определения надежности получения валового объема продукции с мелиоративной системы, имеющей неисправные элементы, надежность работы которых оценивается по разнородно функциональным критериям. Чтобы использовать его в расчетах, требуется иметь функции взаимосвязи $\theta_i(P_j)$ для каждого типа элементов мелиоративной системы. При разнородных параметрических критериях оценки надежности эти функции будут иметь свои выражения, для определения которых недостаточно научных данных. Таким образом, применение уравнения (6) с использованием оценки надежности элементов системы по разнородным критериям затруднительно.

Для упрощения решения задачи предлагается в качестве надежности работы отдельных элементов и всей мелиоративной системы использовать один критерий – надежность получения проектного (или заданного) среднеемноголетнего объема растениеводческой продукции с площадей, на которые распространяются их влияния.

В этом случае для исправной мелиоративной системы $P_{co} = 1$. Тогда из уравнения (2) следует:

$$\theta(P_{co}) = Y_0 = Y_{0i} \quad (7)$$

При использовании одного и того же критерия для всех элементов функция взаимосвязи урожайности и надежности будет иметь одно и то же выражение:

$$\theta_i(P_j) = \theta(P_{co}) = Y_0 \quad (8)$$

Уравнение (1) с учетом выражения (8) принимает вид:

$$Y_i = Y_0 \cdot P_j \quad (9)$$

Подставив выражения (7) – (9) в (6), а также $P_{co} = 1$, получим:

$$P_B = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i \cdot f_i}{Y_0 \cdot F} \quad (10)$$

Введем обозначения:

$$S_i = \frac{f_i}{F} \quad (11)$$

$$Y_i = Y_0 - \Delta Y_i \quad (12)$$

где Δy_i – уменьшение урожайности при функционировании неисправного элемента; S_i – относительная площадь i -го участка.

С учетом (11) и (12) уравнение (10) преобразуется к виду:

$$P_B = \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{\Delta y_i}{y_0} \right) \cdot S_i \quad (13)$$

Стоящее в скобках в уравнении (13) выражение представляет собой надежность получения проектной урожайности на участке f_i , на который влияет неисправный элемент j :

$$P_j = 1 - \frac{\Delta y_i}{y_0} \quad (14)$$

Тогда уравнение (13) можно записать в виде:

$$P_B = \sum_{i=1}^n P_j \cdot S_i = P_1 \cdot S_1 + P_2 \cdot S_2 + \dots + P_n \cdot S_n \quad (15)$$

Уравнение (15) относится к случаям, когда на каждый участок f_i влияет только один элемент системы, надежность которого равна P_j . Работу таких элементов по регулированию водного режима будем считать независимой. В реальности элементы мелиоративной системы оказывают влияние на определенные участки территории, которые могут накладываться друг на друга на какой-то части площади. Если же на водный режим какого-то участка оказывают влияние два и более элементов системы, то работу этих элементов будем называть зависимой.

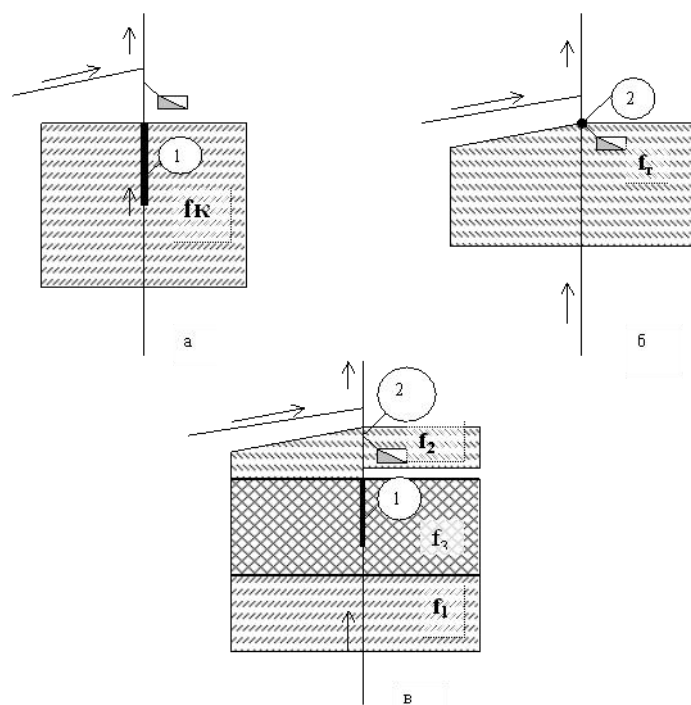
На рисунке (а) показана независимая работа заиленного участка канала 1, оказывающего влияние на водный режим площади f_k (труба-регулятор исправна).

Если же неисправна труба-регулятор 2 (см. рисунок, б), оказывающая влияние на водный режим площади f_T , а канал 1 в нормальном состоянии, то эта труба-регулятор также работает независимо.

При одновременном неисправном состоянии участка канала 1 и трубы-регулятора 2, работа этих элементов будет зависимой, так как на водный режим площади f_3 (см. рисунок, в) они оба оказывают влияние.

При зависимой работе элементов всю площадь, на которую они влияют, целесообразно разделить на участки, отличающиеся по количеству воздействующих на них элементов.

Например, на площадь f_1 влияет только первый элемент, на площадь f_3 влияют первый и второй элементы; на площадь f_2 влияет только второй элемент. В дальнейшем примем, что при обозначении площадей



Схемы независимой (а, б) и зависимой (в) работы элементов мелиоративной системы.

1 – заиленный участок канала; 2 – неисправная труба-регулятор; f_k – площадь влияния заиленного участка канала; f_r – площадь влияния неисправной трубы-регулятора; f_1 – площадь влияния только заиленного участка канала; f_2 – площадь влияния только неисправной трубы-регулятора; f_3 – площадь одновременного влияния заиленного участка канала и неисправной трубы-регулятора.

первый индекс означает номер расчетного участка, а последующие – номера элементов, влияющих на водный режим участка. Например, при зависимой работе системы из двух элементов (см. рисунок, в), всю площадь целесообразно разделить на три участка и записать в следующих обозначениях:

$$F = f_{1,1} + f_{2,2} + f_{3,1,2}, \quad (16)$$

где F - общая площадь участка; $f_{1,1}$ - площадь первого участка ($i=1$), на который влияет элемент 1 ($j=1$); $f_{2,2}$ - площадь второго участка ($i=2$), на который влияет элемент 2 ($j=2$); $f_{3,1,2}$ - площадь третьего участка ($i=3$), на который влияют первый ($j=1$) и второй ($j=2$) элементы.

Для случаев, когда на участок оказывают влияние сразу несколько элементов, имеющих разные надежности работы P_a, P_b, \dots, P_j , за расчетную надежность следует принимать минимальную из надежностей, влияющих на него элементов, так как именно этот элемент будет ограничивать регулирование водного режима на данном участке [6].

Тогда уравнение (15) для мелиоративной системы с участками, на которые влияют один или несколько элементов, можно записать в более общем виде:

$$P_B = \sum_{i=1}^n P_{i(a...j)_{\min}} \cdot S_i, \quad (17)$$

где $P_{i(a...j)_{\min}}$ - минимальная из надежностей элементов ($a...j$), влияющих на участок S_i .

Для участков, на которые влияет только один элемент, в уравнении (17) принимается $P_{i(a...j)_{\min}} = P_{i,j}$.

Определение надежности отдельных элементов по уравнению (14) позволяет использовать данные отчетности по урожайности при эксплуатации мелиоративных систем, опыт агрономических служб в хозяйствах, а также экспертную оценку снижения урожайности отдельных участков из-за неисправностей элементов.

После установления надежности отдельных элементов по (14), а также площадей участков, на которые распространяется их влияние, по уравнениям (15) или (17) можно определить надежность всей мелиоративной системы.

Предложенная методика расчета надежности мелиоративной системы через надежность ее элементов позволяет определить возможный прирост получения продукции при проведении реконструкции или ремонта отдельных сооружений, что имеет важное значение для планирования ремонтных работ.

Литература

1. Каткявичюс Л., Кинчюс Л., Жалтаускас И., Кудакас В. Методика определения технического состояния мелиоративных систем в Литве (Литовский сельскохозяйственный университет) // Вісник Українського держ. ун-ту вод. господар. та природокористування. Ч. 2 : Зб. наукових праць, вип. 5 (18). – Україна, Рівне, 2002. – С. 47 – 54.
2. Мирцхулава Ц.Е. Деградація ґрунтів та шляхи передбачення небагатоприятних ситуацій при зрошенні. // Почвознавство. – 2001. – №12. – С. 1503 – 1510.
3. Мирцхулава Ц.Е., Зюбенко С.Ш. Планирование ремонта мелиоративных объектов с позиции теории надежности. // Гидротехника и мелиорация. – 1979. – №6. – С.45 – 47.
4. Мирцхулава Ц.Е. Методика количественной оценки состояния и риска наступления опасности на землях, подверженных опустыниванию. // Метеорология и гидрология. – 2003. – №9. – С. 71 – 81.
5. Мирцхулава Ц.Е. Надежность гидромелиоративных сооружений. – М.: Колос, 1974. – 280 с.
6. Мирцхулава Ц.Е. Надежность систем осушения. – М.: Агропромиздат, 1985. – 239 с.
7. Мирцхулава Ц.Е. О надежности крупных каналов. – М.: Колос, 1981.–318 с.
8. Солнышков В.А. Вероятностный метод расчета проектной механической надежности гидроконструкций // Охрана и использование водных ресурсов в составе водохозяйственных комплексов Нечерноземья. – Л., 1976. – С. 146-168.
9. Солнышков В.А. Методика расчета, прогнозирования и оптимизации надежности водохозяйственных объектов и гидротехнических конструкций. – Л.: СевНИИГиМ. – 1974. – 7 с.
10. Стомпель З., Голашевский Н. Инструкция выполнения периодических технических осмотров мелиоративных сооружений и устройств / Институт мелиорации и зеленых ужитков. – Польша, Фаленты. – 1990. – 21 с.
11. Хрисанов Н.И., Камбуров В.А. Условия надежности закрытого дренажа. – М.: Колос, 1978. – 88 с.
12. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Л. Математические методы в теории надежности. – М.: Наука, 1965. – 524 с.
13. Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. – М.: Мир, 1980. – 606 с.
14. Козлов Б.А., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. – М.: Советское радио, 1975. – 470 с.
15. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. – М.: Наука, 1968. – 464 с.