

ВЛИЯНИЕ СХЕМЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ ФИЛЬТРОВ НА НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ ПЛОДОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ

И.Б. Вороновский, канд. техн. наук, доцент, Таврический государственный агротехнологический университет (г. Мелитополь, Украина).

ВВЕДЕНИЕ. Для подавляющего большинства сельскохозяйственных культур капельный полив дает хорошие результаты. С этим связано и динамичное развитие данного способа орошения. Чтобы понять принципы работы систем капельного полива, необходимо разобраться в их устройстве. Использование методики капельного орошения сформировало новый подход к поливу вообще, а также изменило и подход к выстраиванию цепочки между тремя базовыми составляющими: водой, почвой и растением. Практика эксплуатации таких систем свидетельствует о том, что эффективность их использования в основном зависит от надежности ее элементов. А именно в первую очередь от вероятности безотказной работы капельниц и фильтров, для восстановления работоспособности которых требуются значительные затраты ручного труда. Это приводит к нарушению агросроков и как следствие потери урожая, а также потери воды на промывку. Основной причиной отказов капельниц и фильтров является нарушение требований к качеству поливной воды. Поливную воду для многофункциональных систем орошения используют из разных источников: из каналов, подземных источников и открытых водоемов. В связи с этим для обеспечения технологической надежности стационарных многофункциональных систем нужно разработать современные технические средства очистки поливной воды.

На практике встречаются различные варианты схем компоновки фильтров. Поэтому решение задач позволяющих повысить технологическую надежность многофункциональных оросительных систем за счет сохранения чистоты оросительной воды с помощью обоснования компоновочных схем расположения фильтров является актуальным.

ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА. На практике встречаются различные варианты схем компоновки фильтров грубой (ФГО) и тонкой очистки (ФТО). Типовая схема такой системы орошения приведена на рис. 1.

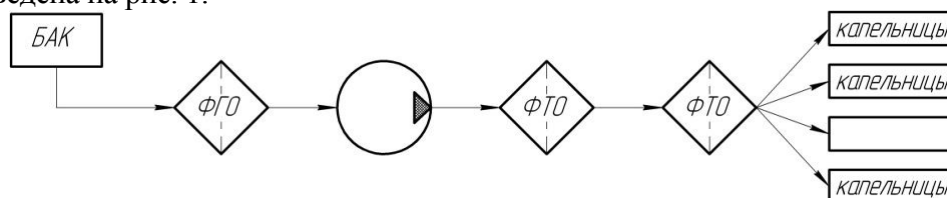


Рис.1. Схемы систем капельного орошения плодовых насаждений с двумя и более ФТО последовательно включенными.

Однако все эти работы, как правило, направлены на повышение надежности гидравлических и масляных систем мобильной техники, летательных аппаратов, металлорежущих станков и др. [1, 3, 4]. В некоторых из этих работ впервые было обращено внимание влияния компоновочных схем включения фильтров на степень очистки жидкости. Это в полной мере, на наш взгляд можно отнести и к системам капельного орошения плодовых культур. К сожалению, в современных информационных источниках научное обоснование схемных решений компоновки фильтров отсутствует. Поэтому в данной работе делается попытка дать научные основы решения этих вопросов не только для систем капельного полива, но и для гидравлических и топливных систем используемых в различных отраслях.

Практика эксплуатации таких систем свидетельствует о том, что эффективность их использования в основном зависит от надежности ее элементов. Схематически такой процесс можно представить графом состояний. Аналогичный подход в оценке надежности подсистем топливной системы МТА использован в работе [2].

Анализ схемных решений поливных и гидравлических систем позволяет свести множество различных вариантов включения фильтров к трем вариантам: первый вариант – последовательное включение; второй вариант – параллельное включение; третий вариант когда используется только один фильтр тонкой очистки и включен во всасывающую магистраль насоса

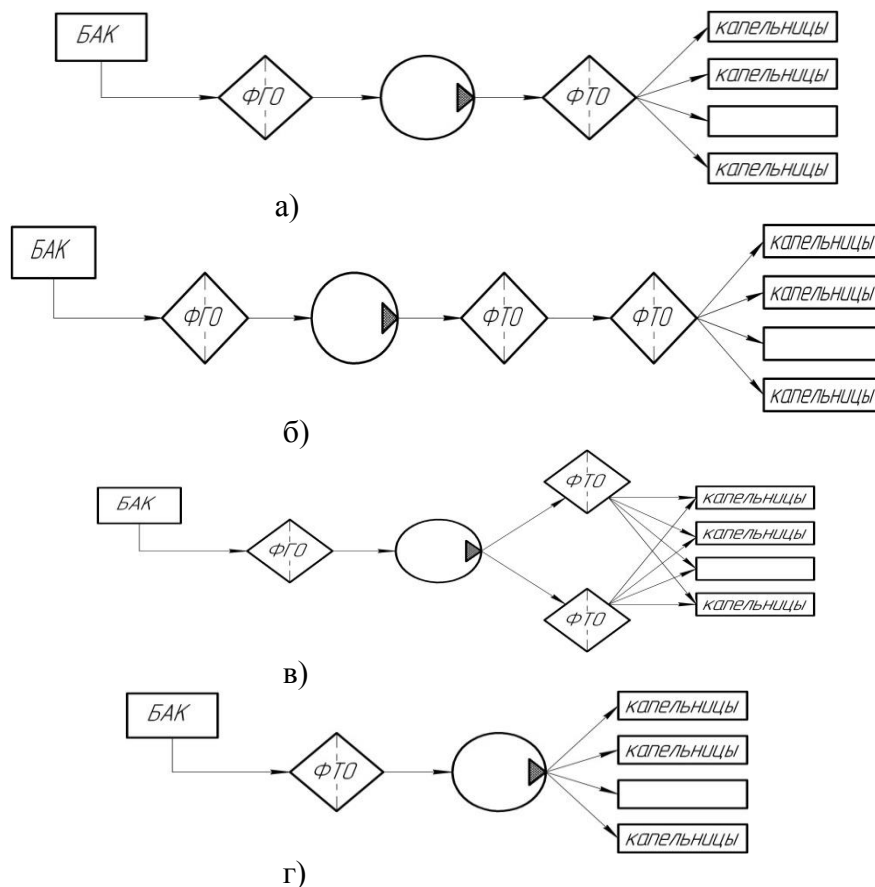
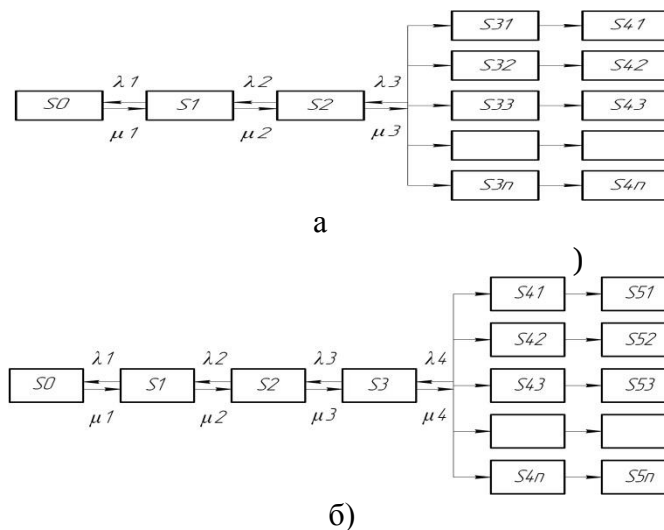


Рис. 2. Схемы систем капельного орошения плодовых насаждений
а) – с одним фильтром тонкой очистки в напорной магистрали (ФТО);
б) – с двумя и более ФТО последовательно включенными;
в) - с параллельно включенным ФТО;
г) – с ФТО включенным во всасывающую магистраль насоса.

Используя теорию графов все эти состояния для каждой из схем компоновки фильтров можно представить в виде отдельных графов состояния рис. 3.



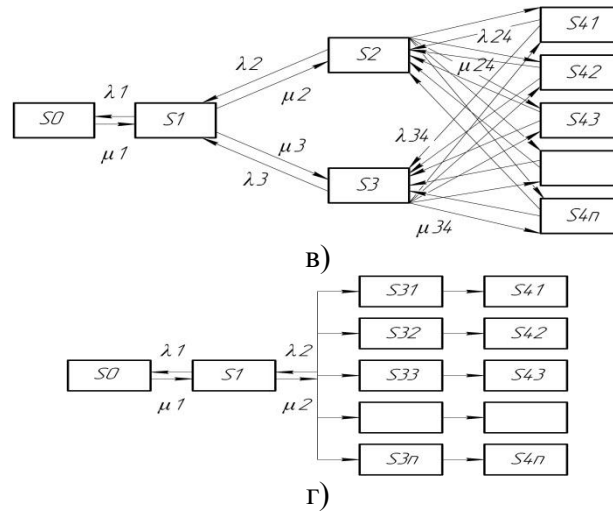


Рис. 3. Графы состояния систем капельного орошения плодовых насаждений:

а), б), в) и г) – соответствуют схемам а), б), в), и г) изображенным на рис. 2.

S_0 - работоспособное состояние системы капельного орошения

S_1 - отказ фильтров установленных на всасывающей магистрали

S_2 - отказ ФТО установленных в нагнетательной магистрали

S_{3n} ; S_{4n} - отказ капельниц.

Работоспособность системы капельного орошения как общая характеристика его состояний зависит от времени t . Если воспользоваться понятием теории множеств, то можно рассматривать область работоспособного состояния системы, как такое множество E состояний определяемых значениями параметров x_i , при которых отказа нет [5, 6].

Пусть E – множество всех состояний системы; E_+ и E_- – множество работоспособных и отказовых состояний системы. $p_i(t)$ - вероятность пребывания системы в момент времени t в состоянии i , $i \in E$; $\lambda_{i,j}$ - интенсивность перехода из состояния i в состояние j . Если переход состояния i в состояние j отсутствует, то $\lambda_{i,j} = 0$. [8, стр. 391]

В общем виде граф состояния можно представить системой линейных дифф. уравнений, описывающим процесс функционирования системы капельного орошения :

$$\frac{dp_i}{dt} = - \sum_{j \in E} \lambda_{i,j} p_i(t) + \sum_{j \in E} \lambda_{j,i} p_j(t) \quad (1)$$

Предполагая, что в момент времени $t = 0$ система полностью исправна, начальные условия функционирования имеют вид:

$$p_0(0) = 1, \quad p_i(0) = 0, \quad i \in E \setminus \{0\}.$$

Решение системы (1) с заданными начальными условиями позволяет найти вероятность безотказной работы технической системы за время t при условии, что все состояния отказа являются поглощающимися [2]:

$$P(t) = \sum_{i \in E_+} p_i(t) \quad (2)$$

Для определения среднего времени безотказной работы по графу состояний (рис. 3) составляется система линейных алгебраических уравнений относительно времени пребывания технической системы в исправных состояниях τ_i :

$$- \sum_{j \in E} \lambda_{i,j} \tau_i + \sum_{j \in E} \lambda_{j,i} \tau_j = -p_i(0), \quad i \in E_+. \quad (3)$$

Тогда средняя наработка до отказа находится суммированием среднего времени пребывания системы в исправных состояниях:

$$T_1 = \sum_{j \in E_+} \tau_i \quad (4)$$

Суммарный риск системы за время t находится по формуле:

$$R(t) = - \sum_{i \in E} r_{k(i)} p_i(t)$$

где $r_{k(i)}$ - риск системы из-за отказа i -го элемента.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Таким образом, для схемы системы капельного орошения (рис. 2а) можно представить граф состояний (рис. 3 а) и рассматривать систему в виде системы дифференциальных уравнений. Систему можно решить аналитическим и численными способами. Однако, получить решение в виде формулы для произвольного n можно для случая ограниченного числа элементов или при фиксированных значениях интенсивностей их отказа и восстановления. Система решается методом Рунге-Кутты. Например, для графа состояний с последовательным расположением фильтров (рис. 3 б), система дифференциальных уравнений имеет вид (4):

Примем, что поток отказов фильтров простейший и время между отказами в этом потоке распределяется по показательному закону и определяется параметрами интенсивности отказов:

$$\lambda = 1/t_{\delta}, \quad (5)$$

где t_{δ} – среднее время безотказной работы фильтра.

По стрелкам вправо систему из состояния в состояние переводят отказы, а по стрелкам влево – ремонты с интенсивностью восстановления:

$$\mu = \frac{1}{t_p}, \quad (6)$$

где t_p – среднее время восстановления исправного состояния путем промывки фильтров и капельницы.

Применяя аналогичный математический аппарат, получим формулы для определения вероятностей состояний системы с параллельным соединением фильтров тонкой очистки (рис. 3 в). Для графа состояний с параллельным соединением фильтров тонкой очистки система дифференциальных уравнений имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dp_0}{dt} = -\lambda_1 p_0 + \mu_1 p_1 \\ \frac{dp_1}{dt} = \lambda_2 p_1 + \mu_2 p_2 - \lambda_3 p_3 + \mu_3 p_3 \\ \frac{dp_2}{dt} = \lambda_2 p_1 + \mu_{24} (p_{41} + p_{42} + \dots + p_{44}) - \lambda_{24} (p_{41} + p_{42} + \dots + p_{44}) \\ \frac{dp_3}{dt} = \lambda_3 p_1 - \lambda_{34} (p_{41} + p_{42} + \dots + p_{44}) + \mu_{34} (p_{41} + p_{42} + \dots + p_{44}) \\ \frac{dp_{41}}{dt} = \lambda_{24} p_2 - (\mu_{24} + \mu_{34}) p_{41} + \lambda_{34} p_3 \\ \frac{dp_{42}}{dt} = \lambda_{24} p_2 - (\mu_{24} + \mu_{34}) p_{42} + \lambda_{34} p_3 \\ \frac{dp_{43}}{dt} = \lambda_{24} p_2 - (\mu_{24} + \mu_{34}) p_{43} + \lambda_{34} p_3 \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dp_{4n}}{dt} = \lambda_{24} p_2 - (\mu_{24} + \mu_{34}) p_{4n} + \lambda_{34} p_3 \end{array} \right. \quad (7)$$

Для остальных графов состояний дифференциальные уравнения составляются аналогично. Результаты расчета вероятностей безотказной работы представлены в табл. 1.

Таблица 1 - Результаты расчета вероятностей безотказной работы системы капельного орошения p_0 и вероятностей отказов фильтров $p_1...5$

Схема соединения фильтров в поливной системе	Вероятность исправного состояния системы p_0	Вероятность отказа ФГО, p_1	Вероятность отказа ФТО №1, p_2	Вероятность отказа ФТО №2, p_3	Вероятность отказа ФТО №3, p_4
Последовательное соединение фильтров (1 ФТО, рис. 1)	0,835	0,139	0,023	0,0038	-
Последовательное соединение (2 ФТО)	0,945	0,139	0,003	0,0038	-
Параллельное соединение фильтров (рис. 3)	0,7	0,175	0,058	0,058	-
Комбинированное соединение фильтров (рис.4)	0,816	0,136	0,022	0,022	0,0036

Расчеты вероятностей состояний для различных схем систем капельного орошения производятся при единых начальных условиях. Подставляя значения интенсивностей λ и μ в формулы (4,7), получим вероятности нахождения систем капельного орошения построенных по различным схемам соединения фильтров, рис.2, в исправном состоянии p_0 и вероятности выхода из строя фильтров $p_1...5$. за сезон.

Анализ табл. 1 позволяет констатировать, что максимальной вероятностью нахождения фильтров в исправном состоянии обладает система с последовательным соединением фильтров, ($p_0=0,945$). Увеличение количества фильтров тонкой очистки и включение их в схему капельного орошения параллельно, не увеличивает вероятности безотказной работы системы, такой путь является мало эффективным. Максимальную вероятность отказа из всех фильтров имеет фильтр грубой очистки, особенно при параллельном соединении фильтров тонкой очистки ($p_1=0,175$), а затем, на порядок меньше, фильтры тонкой очистки.

ВЫВОДЫ: Исходя из полученных теоретических данных, можно сделать вывод, что наиболее эффективной системой соединения фильтров следует считать последовательное соединение, состоящее из фильтра грубой очистки и двух фильтров тонкой очистки. При этом необходимо разработать мероприятия по повышению эффективности работы фильтра грубой очистки, увеличив его фильтрующие свойства. Такие мероприятия позволят уменьшить вероятность отказа фильтров тонкой очистки, обеспечив их надежную работу. Установлено, что наиболее эффективным с точки зрения обеспечения технологической надежности систем капельного орошения, является последовательное включение фильтров грубой и тонкой очистки. При этом характеристики фильтров должны обладать, как можно меньшей тонкостью фильтрации при их максимальной грязеемкости.

Литература

1. **Кондратов В.В.** К вопросу о выборе схемы системы фильтрации дизельного топлива тракторных двигателей / *В.В. Кондратов* – Труды ЦНИТА, 1963 – № 18 С.60-65
2. **Вороновский И.Б.** Повышение эффективности эксплуатации машинно-тракторных агрегатов в условиях запыленности воздуха технологической средой. /*И.Б. Вороновский* Автореф. дис. канд. техн. наук. – Мелитополь, 2011.– 21 с.
3. **Никитин Г.А.** Проблемы чистоты жидкостей топливных, масляных и гидравлических систем. / *Г.А. Никитин* – Общество «Знание» 1978. – 18 с.
4. **Рыбаков К.В.** Повышение чистоты нефтепродуктов /*К.В. Рыбаков, Т.Н. Корпенкина* – М.: Агропромиздат, 1986 –112 с.
5. **Половко А.М.,** Основы теории надежности. /*А.М. Половко, С.В. Гуров* Практикум. – СПб.: БХВ – Петербург, 2006. – 560 с.
6. **Венуэль Е.С.** Исследование операций. /*Е.С. Венуэль* – М.: Советское радио – 1972.– 552 с.

И.Б. Вороновский

**Влияние схемы расположения фильтров на надежность систем капельного орошения
плодовых насаждений**

Исследованы системы капельного орошения садов и виноградников для различных схем компоновки фильтров, включая последовательное и параллельное соединение фильтров тонкой и грубой очистки, математически обоснована надежность элементов для указанных схем.

Ключевые слова: системы капельного орошения, фильтр грубой очистки, фильтр тонкой очистки, надежность, отказ, вероятность, множество состояний, граф состояний.

I.B. Voronovsky

Influence of layout filters on the reliability of the systems of drip irrigation of orchards

The systems of drip irrigation of orchards and vineyards for the various layouts of filters, including serial and parallel connection of fine and coarse filters clean, mathematically proved the reliability of the elements for these schemes.

Keywords: drip irrigation system, coarse filter, fine filter, reliability, failure probability, a set of states, the state graph.