

УДК 633.854

ВЛИЯНИЕ СХЕМЫ КОМПОНОВКИ ФИЛЬТРО- СТАНЦИИ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ ПЛОДОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ

Дидур В.А. акад. МААО, д.т.н., проф.

Таврический государственный агротехнологический университет

г. Мелитополь, Украина

Ильницький Б.А. инж.

Уманский национальный университет садоводства

г. Умань, Украина

Вороновский И.Б. член-кор. МААО, к.т.н., доц.

Назарова О.П. к.т.н., доц.

Таврический государственный агротехнологический университет

г. Мелитополь, Украина

Тел. 0619-42-25-85

Аннотация. Разработаны и исследованы математические модели надежности систем капельного орошения садов и виноградников для различных схем компоновки фильтростанций включая последовательное и параллельное соединения фильтров тонкой очистки (ФТО).

Приведены результаты исследований математических моделей технологической надежности систем капельного орошения садов и виноградников. Установлено, что вероятность безотказной работы оросительной системы является наиболее высокой для компоновочной схемы фильтростанции у которой расположение фильтров включено последовательно. В частности показатель вероятности безотказной работы системы при последовательном включении двух фильтров тонкой очистки составляет 0,945, а при параллельном включении 0,7.

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

Постановка проблемы. За последние годы в развитии садоводства и виноградарства наблюдается очень четкая тенденция, которая заключается в повышении их эффективности за счет применения независимо от климатических зон, многофункциональных стационарных систем орошения. Эти системы призваны использовать принципиально новые технологии проведения комплексных агротехнических мероприятий, которые позволяют своевременно и качественно осуществлять орошение, увлажнение, подкормку и противозаморозковые поливы. Типовая схема такой системы орошения приведена на рис. 1. 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. Наиболее распространенные из современных технических средств являются дисковые фильтры. Но к сожалению и они не обеспечивают нужную степень очистки поливной воды от различных примесей. Засорение элементов поливной сети происходит в результате отложения и постепенного накопления примесей, находящихся в оросительной воде взвешенных частиц минерального и органического происхождения, солей при использовании воды из открытых источников и др. Часто причиной их засорения является скопление зоофитопланктона, бактерий, а также сине - зеленых водорослей. Исходя из этого степень загрязненности поливной воды диктует требования к функциональным характеристикам фильтров. А именно фильтры должны обеспечивать задержания частиц загрязнения, которые способны забивать каналы капельниц. Кроме этого фильтры должны иметь достаточный ресурс к плановому техническому обслуживанию.

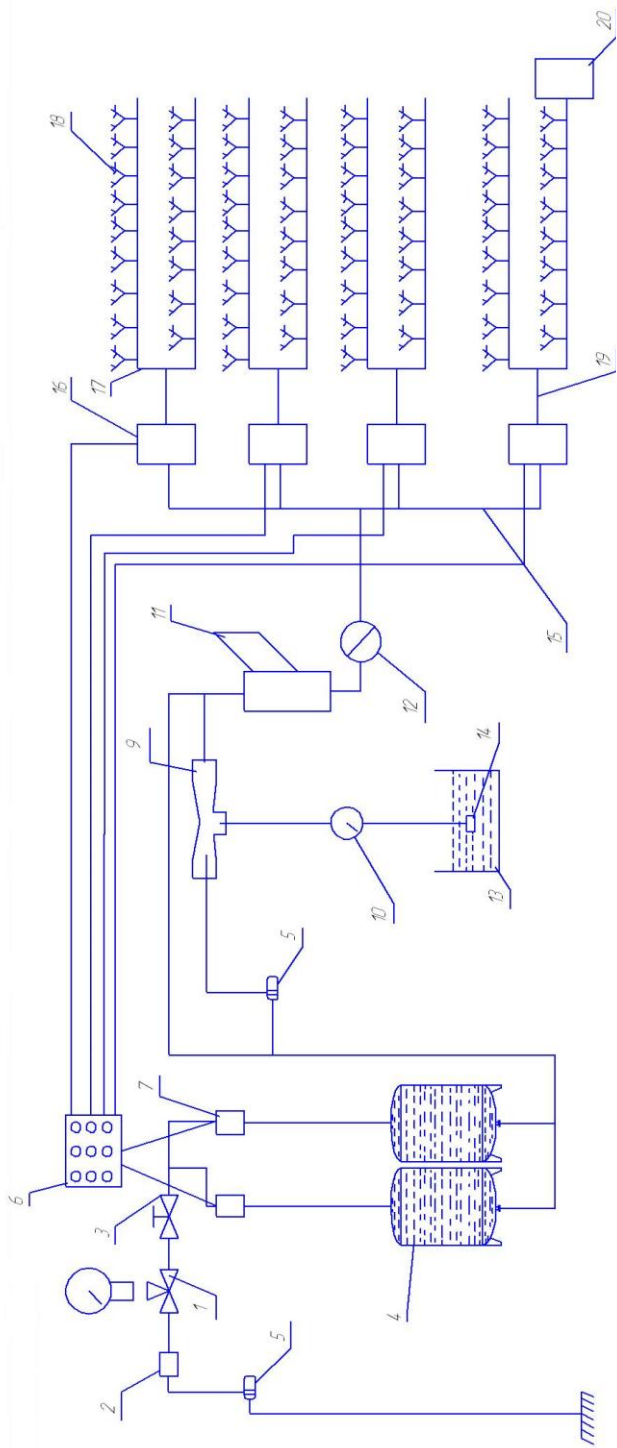


Рисунок 1 - Конструктивная схема системы капельного орошения плодовых культур

1 – манометр; 2 – обратный клапан; 3 – заслонка; 4 – фильтр песчано-гравельный; 5 – насос; 6 – контроллер; 7 – клапан; 8 – насос; 9 – инжектор; 10 – регулятор; 11 – дисковый фильтр; 12 – счетчик; 13 – раствор удобрений; 14 – фильтр; 15 – магистральный трубопровод; 16 – электроклапан; 17 – местный трубопровод; 18 – растение; 19 – распределительный трубопровод; 20 – датчик влажности

На рис. 1 приведена схема компоновки оросительной системы с последовательным включением фильтров грубой и тонкой очистки.

А это значит что наряду с тонкостью фильтрации фильтры должны обладать максимальной грязеемкостью от которой зависит надежность всей оросительной системы. Обеспечение всех названных требований в значительной степени зависит от компоновки фильтров в фильтростанции.

На практике встречаются различные варианты схем компоновки. 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.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросам обеспечения чистоты жидкостей с помощью фильтрационных систем посвящено целый ряд научно-исследовательских и опытно конструкторских работ [5,7.].

Однако все эти работы, как правило, направлены на повышение надежности гидравлических и масляных систем мобильной техники, летательных аппаратов, металлорежущих станков и др. В некоторых из этих работ впервые было обращено внимание влияния компоновочных схем включения фильтров на степень очистки жидкости [1,3,4,6]. 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 фильтростанций в настоящее время 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 машиностроения.

Цель исследования - повышение технологической надежности систем капельного орошения садов и виноградников путем обоснования схемных решений компоновки фильтростанций.

Основная часть. Анализ схемных решений поливных и гидравлических систем позволяет свести множество различных вариантов включения фильтров к трем вариантам: первый вариант – последовательное включение; второй вариант – па-

раллельное включение; третий вариант когда используется только один фильтр тонкой очистки и включен во всасывающую магистраль насоса

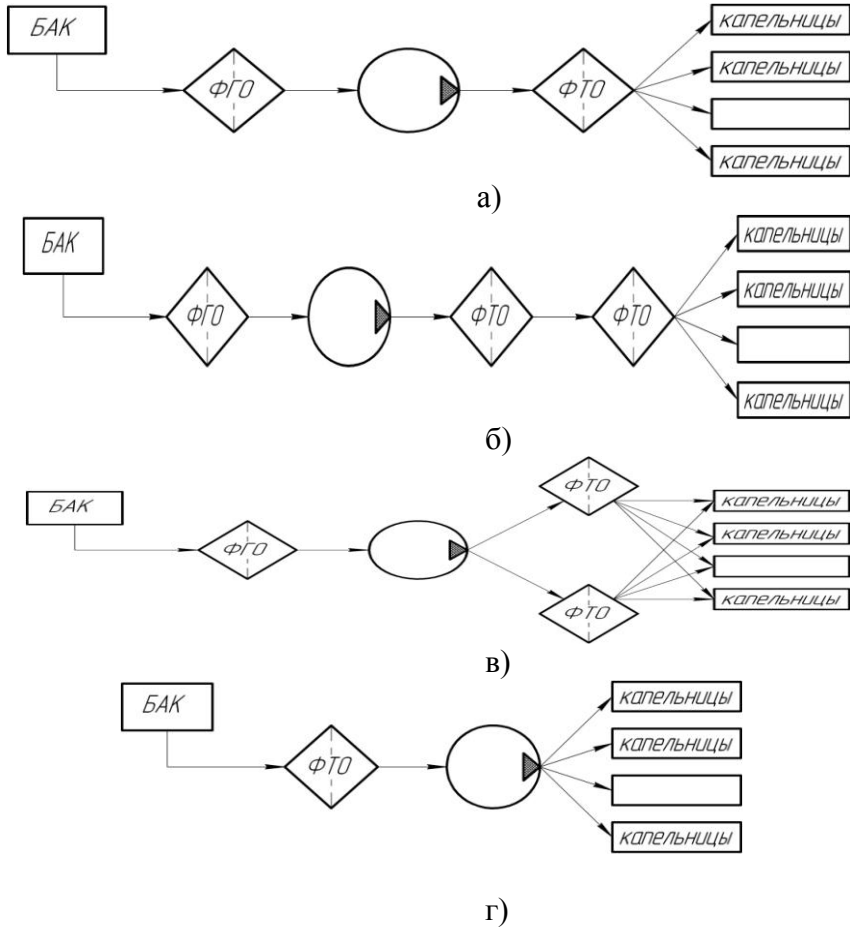


Рисунок 2 Схемы систем капельного орошения плодовых насаждений

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.

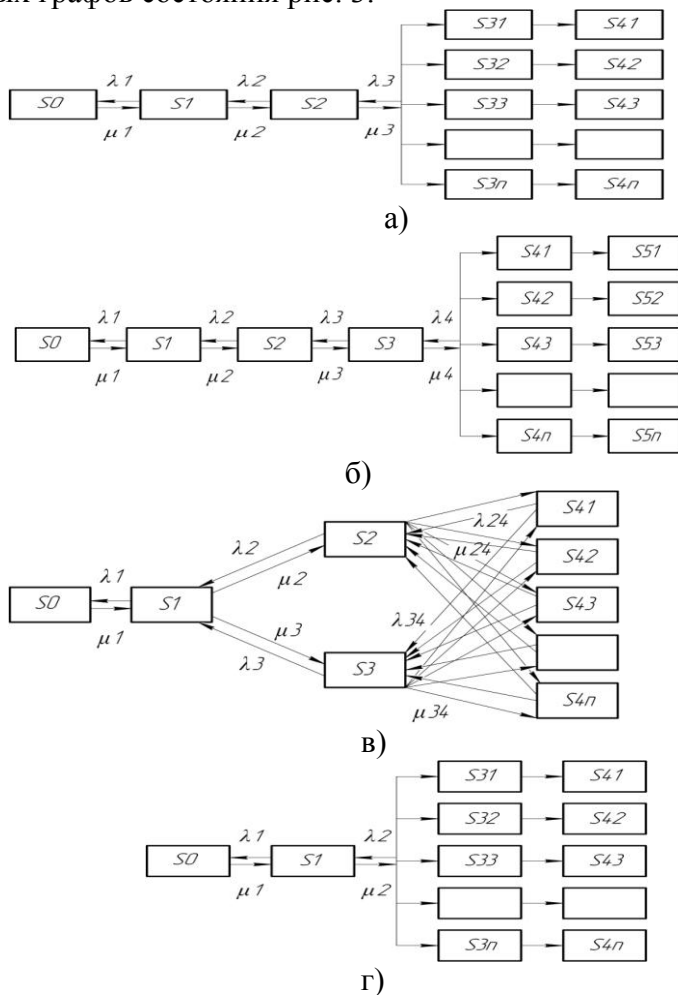


Рисунок 3 Графы состояния систем капельного орошения плодовых насаждений:

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.

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 дифференциальных 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:

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

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:

$$T_l = \sum_{j \in E_+} \tau_j \quad (4)$$

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.

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 численным 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:

$$\lambda = 1/t_0, \quad (5)$$

где t_6 – среднее время безотказной работы фильтра.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dp_0}{dt} = -\lambda_1 p_0 + \mu_1 p_1 \\ \frac{dp_1}{dt} = \lambda_1 p_0 - \lambda_2 p_1 + \mu_2 p_2 \\ \frac{dp_2}{dt} = \lambda_2 p_1 + \mu_3 p_2 - \lambda_3 p_3 \\ \frac{dp_3}{dt} = \lambda_3 p_2 + \mu_4 p_3 - \lambda_4 (p_{41} + p_{42} + \dots + p_{4n}) + \\ + \mu_4 (p_{41} + p_{42} + \dots + p_{4n}) \\ \frac{dp_{41}}{dt} = \lambda_4 p_3 - \lambda_{51} p_{41} \\ \frac{dp_{42}}{dt} = \lambda_4 p_3 - \lambda_{52} p_{52} \\ \frac{dp_{43}}{dt} = \lambda_4 p_3 - \lambda_{53} p_{53} \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dp_{4n}}{dt} = \lambda_4 p_3 - \lambda_{5n} p_{5n} \\ \frac{dp_{51}}{dt} = \lambda_5 p_{41} \\ \frac{dp_{52}}{dt} = \lambda_5 p_{42} \\ \frac{dp_{53}}{dt} = \lambda_5 p_{43} \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dp_{5n}}{dt} = \lambda_5 p_{4n} \end{array} \right. \quad (6)$$

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

$$\lambda = 1/t_6, \quad (7)$$

где t_6 – среднее время безотказной работы.

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

$$\mu = \frac{1}{t_p}, \quad (8)$$

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:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dp_0}{dt} = -\lambda_1 p_0 + \mu_1 p_1 \\ \frac{dp_1}{dt} = \lambda_2 p_1 + \mu_2 p_2 - \lambda_3 p_3 + \mu_3 p_3 \\ \frac{dp_2}{dt} = \lambda_2 p_1 + \mu_{24}(p_{41} + p_{42} + \dots + p_{44}) - \lambda_{24}(p_{41} + p_{42} + \dots + p_{44}) \\ \frac{dp_3}{dt} = \lambda_3 p_1 - \lambda_{34}(p_{41} + p_{42} + \dots + p_{44}) + \mu_{34}(p_{41} + p_{42} + \dots + p_{44}) \\ \frac{dp_{41}}{dt} = \lambda_{24} p_2 - (\mu_{24} + \mu_{34}) p_{41} + \lambda_{34} p_3 \\ \frac{dp_{42}}{dt} = \lambda_{24} p_2 - (\mu_{24} + \mu_{34}) p_{42} + \lambda_{34} p_3 \\ \frac{dp_{43}}{dt} = \lambda_{24} p_2 - (\mu_{24} + \mu_{34}) p_{43} + \lambda_{34} p_3 \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dp_{4n}}{dt} = \lambda_{24} p_2 - (\mu_{24} + \mu_{34}) p_{4n} + \lambda_{34} p_3 \end{array} \right. \quad (9)$$

Для остальных графов состояний дифференциальные уравнения составляются аналогично.

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 ФГО №1, p_2	Вероятность отказа ФГО №2, p_3	Вероятность отказа ФГО №3, p_4
Последовательное соединение фильтров (1 фильтр тонкой очистки) рис.1	0,835	0,139	0,023	0,0038	-
Последовательное соединение (2 фильтра тонкой очистки, рис. 2	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: 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.

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.

Выводы: 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 максимальной их грязеемкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратов В.В. К вопросу о выборе схемы системы фильтрации дизельного топлива тракторных двигателей – Труды ЦНИТА, 1963 - № 18 с.60-65
2. Венуель Е.С Исследование операций. – М.: Советское радио, 1972, – 552 с.

3. Т.М. Башта, Гидравлика, Гидромашины и гидроприводы// Башта Т.М., Руднев С.С. М.: Машиностроение 1982 с.422

4. Т.М. Башта Гидропривод и гидропневмоавтоматика М.: Машиностроение 1972 с.320

5. Рыбаков К.. Повышение чистоты нефтепродуктов/ К.В. Рыбаков Т.Н. Корпенкина – М.: Агропромиздат, 1986 - 112 с.

6. Изучение гидропривода машин отрасли с целью унификации гидравлических схем и гидроагрегатов, повышение технического уровня и качественных характеристик гидропривода. Научно-технический отчет № ГР 75042787 Мелитополь, 1976. – 54 с.

7. Никитин Г.А. Проблемы чистоты жидкостей топливных, масляных и гидравлических систем. – Киев: Общество «Знание» 1978. – 18 с.

8. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. Практикум. –СПб.: БХВ-Петербург, 2006.-560с.

BIBLIOGRAPHY

1. Kondratov V.V. To question about scheme option of diesel fuel filter system of tractor engine/ V.V. Kondratov. – Trudy TsNITA, 1963 - № 18- S.60-65

2. Venuel' E.S. Operations research/ E.S. Venuel' – М.: Sovetskoe radio, 1972, – 552 s.

3. Bashta T.M. Hydrolics, Hydromachines and hydrolic drives / T.M. Bashta, S.S.Rudnev. -M.: Mashinostroenie, 1982- 422 s.

4. Bashta T.M. Hydrolic drive and hydraulic and pneumatic control systems / T.M. Bashta.- М.: Mashinostroenie, 1972- 320 s

5. Rybakov K.V. Increasing the oil products purity / K.V.Rybakov, T.N. Korpenkina. – М.: Agropromizdat, 1986 - 112 s.

6. Study of branch machine hydraulic drive with the purpose of standardization of hydraulic systems and hydraulic units, improvement of technical level and quality characteristics of hydraulic drive. Scientific report № GR 75042787 - Melitopol, 1976. – 54 s.

7. Nikitin G.A. Problems of liquid purity of fuel, lubricating and hydraulic systems/ G.A. Nikitin. – Kyiv: Obshchestvo «Znanie», 1978. – 18 s.

8. Polovko A.M. The foundations of the reliability theory. Case study / A.M. Polovko, S.V. Gurov, –SPb: BHV-Peterburg, 2006.-560s.

EFFECT OF FILTER STATION LAYOUT DRAWING ON TECHNOLOGICAL RELIABILITY OF FRIUT PLANTATIONS DROP IRRIGATION SYSTEMS

V.A Didur, B.A. Il'nitskiy, I.B. Voronovskiy, O.P. Nazarova

Summary

Mathematical models of reliability of garden and vineyard drop irrigation systems for various filter stations layout drawing including series and parallel connections of fine filters (FF) have been developed and studied.

The research results of technical reliability mathematical models of garden and vineyard drop irrigation systems have been given. It was determined that probability of failure-free operation was the highest one for filter station layout drawing where filter location was series-connected. Particularly, the probability parameter of system failure-free operation under serial connection of two fine filters is 0 945 and under parallel connection- 07.

Key words: drop irrigation systems, filter station, primary filter, fine filter, reliability, failure, probability of failure-free operation, set of states, state graph.