

УДК 631.347:626.845

UDC 631.347:626.845

**КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ  
СХЕМЫ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН СЕРИИ  
ДКФ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ИХ ВО-  
ДОПРОВОДЯЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**CONSTRUCTIVE-TECHNOLOGICAL  
SCHEMES OF SPRINKLING MACHINES  
“SPRINKLER CONSOLE FRONT” (SCF) SE-  
RIES AND HYDRAULIC CALCULATION OF  
WATER SUPPLY COMPONENTS**

Снипич Юрий Фёдорович  
к. т. н.

Snipich Yuriy Fyodorovich,  
Cand.Tech.Sci.

*Федеральное государственное научное учреждение  
«Российский научно исследовательский институт  
проблем мелиорации», ФГНУ «РосНИИПМ»  
Новочеркасск, Россия*

*Federal State Scientific Establishment «The Russian  
scientific research institute of land Reclamation  
problems» FSSE «RSRILRP», Novocherkassk, Russia*

В статье представлены конструктивно технологиче-  
ские схемы дождевальных машин серии «Дождева-  
тель консольный фронтальный» и гидравлический  
расчет их водопроводящих элементов

The article presents constructive-technological  
schemes for sprinkling machines “Sprinkler console  
front” (SCF) series and hydraulic calculation of water  
supply components

Ключевые слова: ДОЖДЕВАЛЬНЫЕ МАШИНЫ,  
ПОТЕРИ НАПОРА, РАБОЧЕЕ И ТРАНСПОРТНОЕ  
ПОЛОЖЕНИЕ, СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИ-  
СТИКИ

Keywords: IRRIGATION MACHINES, PRESSURE  
LOSS, OPERATING AND TRANSPORT POSI-  
TION, THE COMPARATIVE CHARACTERISTICS

Засухи и суховеи последних лет еще раз убедительно показали, что орошение в России должно играть важную роль при выращивании с.-х. культур. Вместе с тем в предложениях по восстановлению и дальнейшему развитию оросительных мелиораций следует исходить из того, что в стране произошли коренные изменения в требованиях к дождевальной технике и технологиям орошения, обусловленные факторами социально-экономического характера, приведшими, в частности, к сокращению, по некоторым данным, площади орошаемых земель до 4,7 млн. га.

Дождь, создаваемый современными дождевальными машинами, отличается по своим параметрам от естественных осадков «средней» силы. Высокие энергетические показатели искусственного дождя приводят к разрушению почвенного покрова и образованию поверхностного стока, неравномерности полива, что способствует развитию ирригационной эрозии, переувлажнению почвы и вымоканию растений в одних местах, при недостаточном их увлажнении в других, снижению плодородия орошаемых земель и неэффективному использованию водных, материально-

технических, энергетических и земельных ресурсов. Поэтому значительное внимание следует уделять разработке технологий орошения и конструкций дождевальной техники, обеспечивающих, при экономически целесообразном уровне производительности, экономию воды, энергии, материально-технических и трудовых ресурсов без негативного воздействия на почву и окружающую среду. В частности, значительное внимание уделяется разработке модификаций дождевальных машин, работающих с рассредоточением водоподачи по площади и во времени.

За последнее время, по данным В. Ф. Носенко [1], трудоемкость орошения снизилась у ДДА-100 МА с 3,6 до 2,2 чел. ч. на 1000 м<sup>3</sup> водоподачи, коэффициент полезного действия возрос до 0,85, коэффициент эффективности полива достиг 0,7, коэффициент земельного использования 0,92.

Для колесных дождевальных трубопроводов коэффициент земельного использования повысился до 0,98, а трудозатраты снизилась с 2,5 до 1,9 чел. ч. на 1000 м<sup>3</sup> воды. Средняя интенсивность дождя снизилась с 0,35 до 0,2 мм/мин. Однако энергозатраты на полив возросли с 122 до 160 кВт ч на 1000 м<sup>3</sup>.

Для установок кругового действия трудоемкость снизилась с 1,5 на 1000 м<sup>3</sup> до 1,1 чел. ч., коэффициент земельного использования увеличился до 0,98, энергозатраты остались неизменными в пределах 190 кВт.ч. на 1000 м<sup>3</sup>. Это касается и качественного улучшения ресурсосберегающих параметров – интенсивности дождя и коэффициента эффективного полива.

По сравнению с 1980-ми годами, значительно снижены энергозатраты высокопроизводительных машин. Для ДДМ-100 М, ДМ «Фрегат», ДКШ-64 с 240, 180, 160 кВт. ч. на 1000 м<sup>3</sup> до 190, 170, 165 кВт. ч. на 1000 м<sup>3</sup>; для ДМУ-А «Фрегат», ДФ-120, ДКН-80, ДКГ-80 «Ока», МДЭФ «Кубань-М», МДЭФ «Кубань-Л» – до 160, 140, 120, а для низконапорной модификации «Фрегат-Н» до 115 кВтч. на 1000 м<sup>3</sup>, т.е. технические средства

медленного и низкоинтенсивного дождевания имеют довольно высокий показатель затрат около 250 кВт. ч. на 1000 м<sup>3</sup>.

В США до 90 % широкозахватной техники переоборудовано низконапорными насадками. Снижение энергоемкости дождевания при этом может составить от 16% до 50 %, значительно повышается эффективность использования водных ресурсов [2]. Конструкции низконапорных дождевальных машин типа «Zimmatic», «Lera», «Linia», «Valley» оборудуются низконапорными насадками с поливом по сектору, монтирующихся на водопроводящем поясе на коротких патрубках в один ряд с наклоном 45° к горизонтальной плоскости. В целом экономия оросительной воды при поливе этими установками составляет не менее 20 % по сравнению с обычным дождеванием, а энергозатраты – на 15-20 %. Эффективность орошения этой системы достигает 98-99 %. Выпускаются комплекты низконапорных дождевальных аппаратов, включающие короткоструйные дефлекторные насадки с плоскими или коническими дефлекторами; пластмассовые и латунные коромысловые дождевальные аппараты с низким углом вылета струи, оборудование для приземного дождевания, присоединяемое к водопроводящему поясу на гибких шлангах. Высокое качество дождя обеспечивается не только за счет конструктивных особенностей аппаратов, но и оптимальной схемы их размещения, расчет которой осуществляется на ЭВМ с учетом параметров машины, требуемого расхода, давления, площади обслуживания, характеристики орошаемого участка.

В конечном итоге, все решения по совершенствованию технических средств для орошения направлены на создание высокопроизводительной поливной техники, обеспечивающей искусственный дождь, приближающийся по своим параметрам к качественным характеристикам идеала – естественных дождей средней силы, с каплями, падающими практически вертикально, при среднем диаметре 1-1,5 мм, с интенсивностью до 25 мм/мин и равномерностью распределения по площади не менее 0,9.

Анализ показывает, что при реализации оптимальных агротехнологий орошения большое значение приобретают вопросы выбора конструкций дождевальных машин, аппаратов и схем их размещения на водопроводящем поясе. Недостаточно высокие агротехнические характеристики искусственного дождя заставляют вести работы по совершенствованию конструкций дождевальных машин. Дальнейшее направление научных исследований заключается в значительном снижении энергетического воздействия искусственного дождя на культуры без ухудшения агротехнических характеристик дождя.

С учетом вышесказанного был сделан вывод, что наиболее целесообразным для полива овощных культур является использование поливной техники, работающей из открытых оросителей и автономными энергоносителями. В результате научных, теоретических и экспериментальных исследований в ФГНУ «РосНИИПМ» с участием автора, была создана серия дождевальных машин, ДКФ.

Дождевальная машина ДКДФ-1 (рисунок 1) «Ростовчанка» имеет две противоположно направленные консоли, которые состоят из пяти секций каждая. Каждая секция консоли подвешена на растяжках к центральной стойке. Агрегат забирает воду из оросителя через всасывающую линию, далее через напорную линию вода подается в поворотную раму, а затем в консоли и распределяется дефлекторными насадками и концевыми средне-струйными дождевальными аппаратами. В 2002 г. ДКДФ-1 «Ростовчанка» прошла государственные испытания на Зерноградской МИС.

ДКФ-1П имеет две консоли с переменным сечением, которые состоят из 11-ти секций каждая (рисунок 2). Первая секция крепится к фланцам поворотной рамы, вторая – к первой и т.д. Между 3 и 4, 6 и 7, 9 и 10 секциями устанавливаются распорные треугольники. Первые три секции консоли подвешены посредством растяжек напрямую к центральной стойке. Остальные секции подвешены к центральной стойке через распорные треугольники.

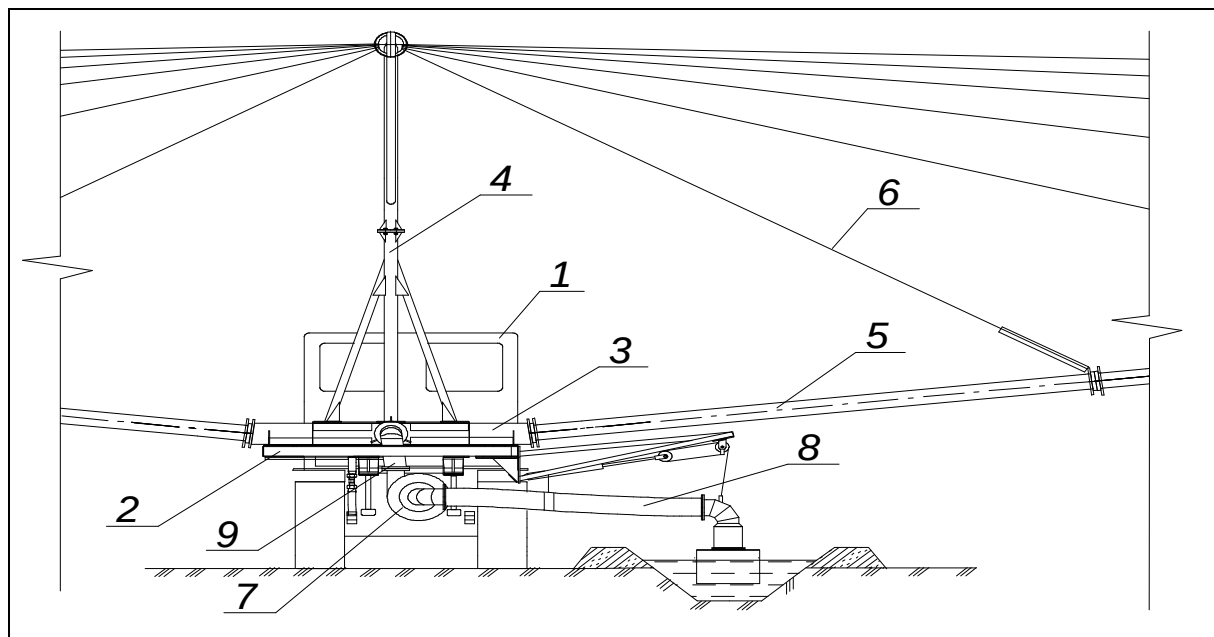


Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема ДКДФ-1 «Ростовчанка»

1 – трактор; 2 – основная рама; 3 – поворотная рама; 4 – центральная стойка; 5 – консоль; 6 – растяжка; 7 – насос с приводом; 8 – всасывающая линия; 9 – напорная линия

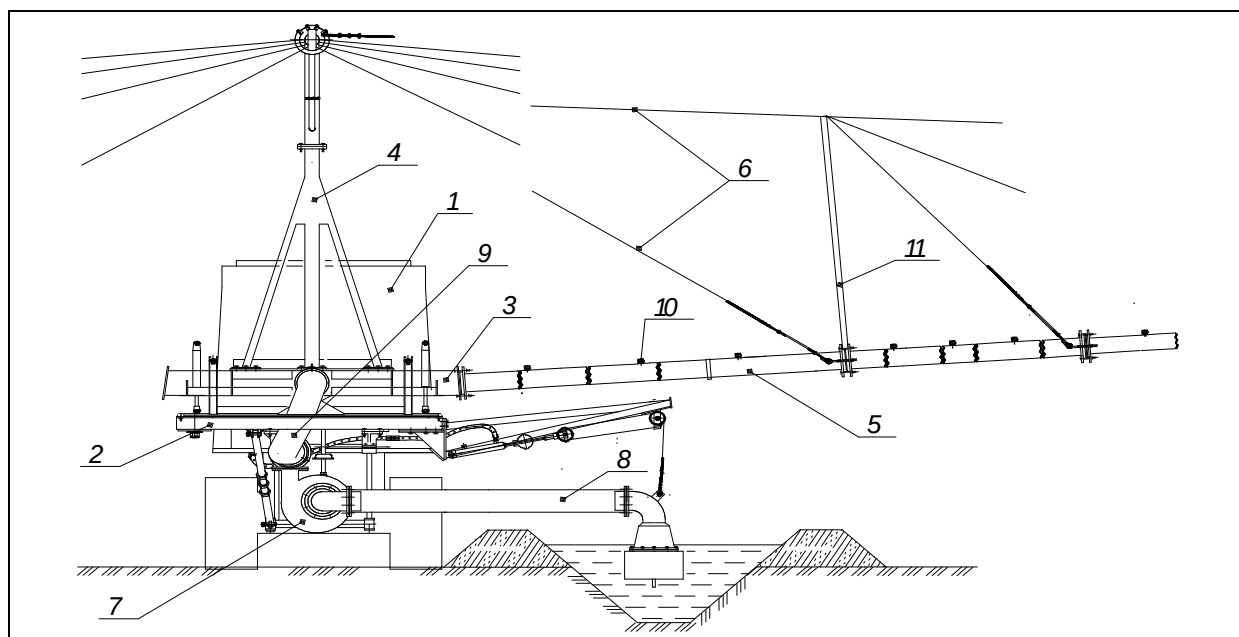


Рисунок 2 – Конструктивно-технологическая схема ДКДФ 1П

1 – трактор; 2 – основная рама; 3 – поворотная рама; 4 – центральная стойка; 5 – консоль; 6 – растяжка; 7 – насос с приводом; 8 – всасывающая линия; 9 – напорная линия; 10 – секторная насадка; 11 – распорный треугольник

Наиболее перспективной является ДКФ-1ПК (рисунок 3). Эта машина обладает преимуществом вышеупомянутых типов дождевателей, но в отличие от них имеет возможность изменения высоты консоли над поверхностью орошаемого участка, что позволяет практически устранить вредное влияние ветра на дождь, уменьшить энергетическое воздействие дождя на растения, чем устраняется недостаток у предыдущих типов поливной техники. ДМ ДКФ-1ПК имеет относительно высокие показатели по мобильности и работает с забором воды из открытых оросителей.

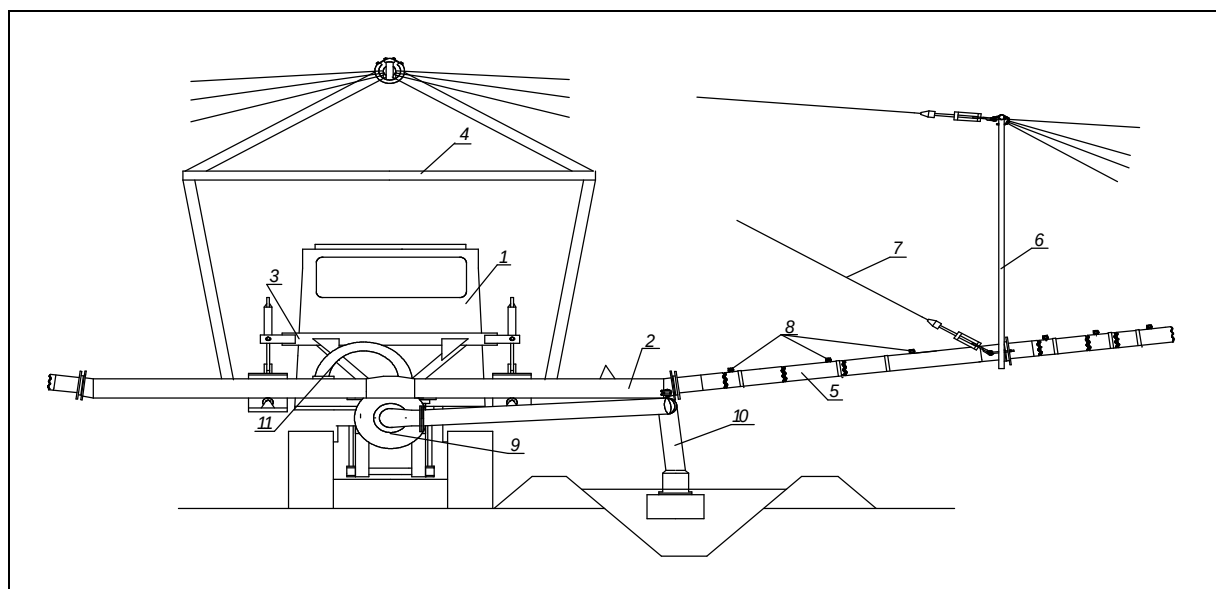


Рисунок 3 – Конструктивно-технологическая схема ДКФ-1ПК

1 – трактор; 2 – водопроводящее кольцо; 3 – стойки с гидравлической системой; 4 – центральная стойка; 5 – консоль; 6 – распорные панели вантовой подвески; 7 – растяжка; 8 – короткоструйные секторные насадки; 9 – насос с приводом; 10 – всасывающая линия; 11 – напорная линия.

В конструкции дождевателя предусмотрено рабочее (консоли расположены перпендикулярно направлению движения трактора) и транспортное (консоли расположены параллельно движению трактора) положение консолей. Для удобства транспортировки и сборки водопроводящее кольцо разделено на три полусферы, соединяющиеся на фланцах. Откидная полу-

сфера в передней части кольца, используемая для освобождения трактора, закреплена с одной стороны на поворотном пальце, с другой – на фланцах с отверстиями для крепежных элементов. Для установки дождевальной машины на хранение или выезда трактора на водопроводящем кольце предусмотрены откидные опоры.

В данной разработке внедрена возможность использования водопроводящих труб из полимерных материалов, что приводит к уменьшению веса дождевальной машины по сравнению с аналоговой поливной техникой. В отличие от металлических труб, полимерные стойки к коррозии, эластичны, долговечны и удобны при монтаже. Дождевальная машина ДКФ-1ПК оборудована низконапорными насадками секторного действия, дождевой поток которых ориентирован к земле, что дает стабильное дождевое облако под дождевальной машиной при воздействии ветра.

Однако при создании новой дождевальной машины ДКФ-1ПК встает необходимость обработки показателей лабораторно-полевых испытаний и анализа агротехнической оценки.

Параметры дождевальных машин определяются на этапах разработки исходных требований, технических заданий, конструкторской документации и отражают в основном преобладающие в конкретный период времени воззрения на техническое и технологическое совершенство дождевальных машин, а также достигнутый уровень научно-технического развития общественного производства. К примеру, в восьмидесятые годы особое внимание уделялось автоматизации полива, а уже в девяностые на первый план стало выходить энергосбережение. При всем этом требования к качественным показателям искусственного дождевания непрерывно повышаются. В связи с этим, особую актуальность приобретают вопросы оптимизации параметров дождевальных машин, исходя из необходимости соответствия их основных характеристик условиям размещения и возможности реализации экологически безопасных технологий полива при по-

требных уровнях урожайности. Особое значение, следует придавать вопросам замены на дождевальную технику всех узлов и деталей, содержащих цветные металлы, ибо выход ее из строя по причине разукomплектования принял катастрофические масштабы. Так, в последние годы в области водного хозяйства все более широкое применение находят трубы из полимерных материалов. В отличие от металлических, они стойки к коррозии, легки, эластичны, долговечны, легко поддаются обработке, их удобно монтировать и перевозить. Меньшие потери напора в таких трубах позволяют значительно снизить напор и мощность насосов, уменьшить расчетные диаметры трубопроводов, то есть сэкономить значительное количество электроэнергии. Благодаря эластичности стенок пластмассовых труб, гидравлические удары в них ослаблены.

Одним из основных показателей, определяющих параметры дождевальной машины, является характеристика трубопровода. Она представляет собой зависимость потребного напора, затрачиваемого на перемещение воды и образование искусственного дождя.

Для определения потерь напора водопроводящие узлы агрегатов ДКФ были разделены на три участка: всасывающая линия, центральная часть и консоль фермы.

Величина напора может быть представлена зависимостью:

$$H = H_q + H_z + \sum h_z, \quad (1)$$

где  $H_q$  – напор, затрачиваемый на образование дождя, м;

$H_z$  – геометрическая высота подъема жидкости, м;

$\sum h_z$  – сумма гидравлических сопротивлений, м.

Как видно из сводного графика  $\frac{1}{\sqrt{l}} = f(\lg Re)$ , представленного на рисунке 4, полиэтиленовые трубы работают в первой трети переходной области сопротивления. Коэффициент гидравлического трения  $\lambda$  для таких



труб зависит как от числа Рейнольдса, так и от относительной шероховатости трубы ( $\bar{\Delta}$ ):

$$L = f(Re, \bar{\Delta}) \quad (2)$$

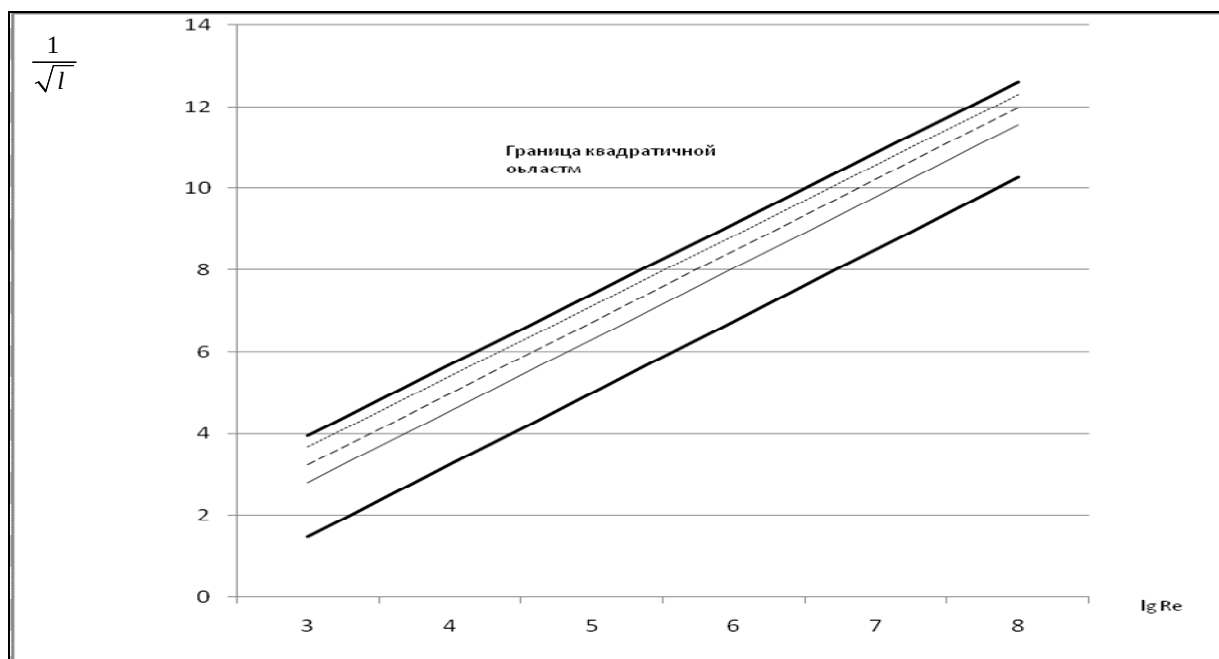


Рисунок 4 – Зависимость  $\frac{1}{\sqrt{l}} = f(\lg Re)$  для определения сопротивления полиэтиленовых труб.

Согласно данному графику, имеем следующую зависимость для определения коэффициента гидравлического трения в трубах ПНД:

$$l = \frac{0,29 - 0,000238d}{Re^{0,22}}, \quad (3)$$

где  $d$  – внутренний диаметр, мм;

$Re$  – коэффициент Рейнольдса.

В приведенной формуле не учитываются потери напора в стыковых соединениях пластмассовых труб. Коэффициент гидравлического трения  $\lambda$  в полиэтиленовых трубах соответствует коэффициенту для гидравлически гладких труб. При определении потерь напора в таких трубах

( $4000 < Re < 400000$ ) использовались формулы для гидравлического расчета гладких труб с введением в них коэффициента запаса, равного 2-3 %.

Напор, расходуемый на преодоление гидравлических сопротивлений, является суммарной величиной потерь напора всех элементов системы, в данном случае элементов трубопровода центрального пролета и водопроводящего пояса с дефлекторными насадками секторного действия.

Входящие в формулы коэффициенты гидравлического трения  $\lambda$  и местного сопротивления  $\zeta$  учитывают влияние таких факторов, как вязкость жидкости, состояние внутренних стенок трубы, конструктивные особенности арматуры. Для нахождения значений коэффициентов  $\lambda$  и  $\zeta$  использовались справочные данные [3].

Результаты расчетов гидравлических потерь в водопроводящих узлах ДМ ДКФ представлены в таблице 4.1 и на рисунке 4.9-4.11. Сравнительные данные аналогичной дождевальной машины ДДА-100М были взяты из исследований Н. И. Рычкова [4].

В результате обработки на ПЭВМ полученных гидравлических данных водопроводящих узлов двухконсольного дождевального агрегата ДДА – 100М и ДКФ были получены следующие зависимости потерь напора:

а) для всасывающей линии:

$$\text{ДДА-100М} - H = 0,0003Q^2 - 0,0373Q + 2,4923; \quad (4)$$

$$\text{ДКФ} - H = 0,0003Q^2 - 0,0362Q + 2,303; \quad (5)$$

где  $H$  – потери напора, м.вод.ст.;  $Q$  – расход, л/с.

б) для центральной части:

$$\text{ДДА-100М} - H = 0,0011Q^2 - 0,0791Q + 2,6615; \quad (6)$$

$$\text{ДКФ} - H = 0,0003Q^2 - 0,0006Q - 0,0278; \quad (7)$$

в) для консоли фермы:

$$\text{ДДА-100М} - H = 0,0011Q^2 - 0,0254Q + 1,0646; \quad (8)$$

$$\text{ДКФ} - H = 0,0005Q^2 - 0,0345Q - 0,8816; \quad (9)$$

в) для суммарной кривой потерь напора:

$$\text{ДДА-100М} - H = 0,0025Q^2 - 0,1418Q + 6,2184; \quad (10)$$

$$\text{ДКФ} - H = 0,0011Q^2 - 0,0012Q + 1,3935; \quad (11)$$

Таким образом было установлено, что потери напора в водопроводящих узлах агрегатов ДКФ при расходе 100 л/с составляют 12,47 м вод. ст., которые слагаются из потерь напора во всасывающей линии – 1,71 м вод. ст., в напорной линии от насоса до начала консолей фермы – 3,49 м вод. ст. и в консолях фермы – 7,27 м вод. ст. Это достигнуто применением полиэтиленовых труб, оптимизацией диаметра водопроводящего трубопровода и уменьшением числа фасонных деталей (местных сопротивлений).

Таблица 4.1 – Сравнительная оценка потерь напора в водопроводящих узлах ДДА-100 М и ДКФ

| Q,<br>л/с | Потери напора, м вод. ст. |        |         |          |                   |        |         |          |               |        |         |          |
|-----------|---------------------------|--------|---------|----------|-------------------|--------|---------|----------|---------------|--------|---------|----------|
|           | Всасывающая линия         |        |         |          | Центральная часть |        |         |          | Консоль фермы |        |         |          |
|           | ДКДФ 1                    | ДКФ 1П | ДКФ 1ПК | ДДА 100М | ДКДФ 1            | ДКФ 1П | ДКФ 1ПК | ДДА 100М | ДКДФ 1        | ДКФ 1П | ДКФ 1ПК | ДДА 100М |
| 60        | 1,21                      | 1,24   | 1,27    | 1,33     | 1,02              | 1,21   | 1,40    | 1,77     | 1,9           | 2,3    | 3,1     | 4,0      |
| 70        | 1,28                      | 1,32   | 1,36    | 1,40     | 1,40              | 1,52   | 1,86    | 2,46     | 2,8           | 3,3    | 4,2     | 4,9      |
| 80        | 1,39                      | 1,43   | 1,47    | 1,52     | 1,68              | 1,92   | 2,47    | 3,37     | 3,9           | 4,4    | 5,6     | 6,3      |
| 92        | 1,52                      | 1,55   | 1,61    | 1,66     | 2,22              | 2,81   | 3,49    | 4,47     | 4,9           | 5,6    | 7,2     | 8,1      |
| 100       | 1,65                      | 1,70   | 1,76    | 1,85     | 3,20              | 3,85   | 4,60    | 5,54     | 6,3           | 7,1    | 8,9     | 9,8      |
| 110       | 1,87                      | 1,96   | 2,04    | 2,14     | 4,27              | 4,55   | 5,83    | 7,03     | 7,6           | 8,6    | 11      | 12       |

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что потери напора по выбранным узлам машины меньше, чем у ДДА-100М. Это объясняется следующим:

- уменьшена длина всасывающей линии дождевальной машины ДКФ и исключены из конструкции шарнирные муфты, создающие дополнительные потери напора;

- увеличен диаметр напорного трубопровода до 220 мм, по сравнению с ДДА-100М ( $d = 135$  мм) и уменьшена длина всасывающей линии, что значительно уменьшает потери напора как местные, так и по длине;
- применена вантовая подвеска с одним трубопроводом большего диаметра из полиэтиленовых труб низкого давления;
- снижен коэффициент шероховатости, потерь напора по длине и коэффициент местных сопротивлений.

В результате малых потерь по длине, в крыле консоли возможно применение насадок с меньшим количеством типоразмеров.

### Литература

1. Носенко В.Ф. Оценка гидравлических характеристик дождевальных машин «Кубань» / В.Ф. Носенко, В.Г. Луцкий, С.С. Савушкин // Гидротехника и мелиорация. – 1983. - №5. – С.41-43.
2. Дождевание в США. М.: Минводхоз СССР, 1973. – 177 с.
3. Идельчих И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. - М.: Машиностроение, 1975.
4. Рычков Н.И. Исследования водопроводящих узлов и выявление технико-эксплуатационных показателей двухконсольного дождевального агрегата ДДА-100М в условиях Московской области. Автореф. дис. канд. наук М.,1972.