

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОЛИВА ДОЖДЕВАНИЕМ НА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМАХ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИМИ СТОКАМИ

**В. И. ЖЕЛЯЗКО, В. В. КОПЫТОВСКИЙ**

*УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407*

*(Поступила в редакцию 25.03.2025)*

*Обоснована необходимость повышения качества дождевания животноводческими стоками при регулировании водно-воздушного режима почвы в соответствии с требованиями растений. Определена равномерность распределения животноводческих стоков на орошаемой площади в соответствии с изменениями скорости ветра. Установлено изменение допустимой интенсивности прерывистого дождевания во времени, что исключает поверхностный сток. Разработано устройство для обработки поверхности почвы на орошаемых землях и в условиях обычного земледелия при выпадении большого количества атмосферных осадков. Установлено, что применение поглощающего дренажа в сочетании с агро-мелиоративными мероприятиями позволяет повысить качество дождевания за счет увеличения в 1,5–2,0 раза продолжительности дождевания без образования поверхностного стока, расширения диапазона допустимой интенсивности дождевания от 0,62 до 0,10 мм/мин. Кроме того, необходимо проводить специальную мелиоративную обработку поверхности почвы, что обеспечит качественное дождевание без образования луж и поверхностного стока, а для повышения равномерности распределения стоков по площади необходимо совершенствовать конструкции дождевальных устройств.*

*Техническая задача, на решение которой была направлена разработанная конструкция, заключается в повышении равномерности увлажнения поля и упрощении технологии производства работ, повышении качества орошаемых сельскохозяйственных культур, предотвращении водной эрозии почвы и загрязнения окружающей среды.*

**Ключевые слова:** *животноводческие стоки, устройство для обработки почвы, интенсивность дождевания, поливная норма, дождевальный аппарат.*

*The necessity of improving the quality of sprinkling with livestock runoff when regulating the water-air regime of the soil in accordance with the requirements of plants is substantiated. The uniformity of distribution of livestock runoff over the irrigated area is determined in accordance with changes in wind speed. The change in the permissible intensity of intermittent sprinkling over time is established, which excludes surface runoff. A device for processing the soil surface on irrigated lands and under normal farming conditions with a large amount of precipitation is developed. It is established that the use of absorbing drainage in combination with agro-ameliorative measures can improve the quality of sprinkling by increasing the duration of sprinkling by 1.5–2.0 times without the formation of surface runoff, expanding the range of permissible sprinkling intensity from 0.62 to 0.10 mm / min. In addition, it is necessary to carry out special melioration treatment of the soil surface, which will ensure high-quality sprinkling without the formation of puddles and surface runoff, and to improve the uniformity of the distribution of runoff over the area, it is necessary to improve the designs of sprinkling devices. The technical task, which the developed design was aimed at solving, is to increase the uniformity of field moistening and simplify the technology of work, improve the quality of irrigated agricultural crops, prevent water erosion of soil and environmental pollution.*

**Key words:** *livestock runoff, soil treatment device, sprinkling intensity, irrigation rate, sprinkling apparatus.*

### **Введение**

В настоящее время в Беларуси для утилизации и обезвреживания животноводческих стоков применяют различные технологии. Одной из них является использование стоков для удобрительного орошения сельскохозяйственных культур. Для реализации этой технологии при животноводческих комплексах построены специализированные водооборотные мелиоративные системы. Опыт их эксплуатации показывает, что даже на совершенных водооборотных системах не обеспечивается экологическая безопасность. Прежде всего это относится к отдельным элементам осушительной сети, которая должна перехватывать загрязненный поверхностный и внутрипочвенный сток и отводить его в аккумулялирующие пруды с последующим использованием для орошения. Для уменьшения объема сбросного стока обычно применяют агро-мелиоративные мероприятия, которые позволяют более эффективно использовать стоки, улучшая водно-воздушный режим почвы и повышая урожайность сельскохозяйственных культур.

Целью исследований является разработка мероприятий, повышающих качество дождевания при орошении земель стоками свиноводческих комплексов.

При этом были решены следующие задачи:

- установлена впитывающая способность почвы при прерывистом дождевании стоками свинокомплексов;
- определена допустимая интенсивность дождевания, исключая поверхностный сток;

– разработан способ и устройство мелиоративной обработки орошаемой площади, повышающее впитывающую способность почвы.

### Основная часть

Решение поставленных задач осуществлялось путем постановки полевых и производственных опытов на типичных для Республики Беларусь дерново-подзолистых почвах. Экспериментальные исследования были проведены на опытном участке в РСУП СГЦ «Заднепровский» Оршанского района Витебской области, а схема опытов включала 8 вариантов агромелиоративной обработки поверхности орошаемых полей [6]. Необходимые измерения и математическая обработка результатов выполнена по известным методикам

Общеизвестно, что условием качественного дождевания является соответствие его интенсивности впитывающей способности почвы. Результаты исследований свидетельствуют, что при поливе сточными водами впитывающая способность почвы значительно снижается [1]. Это связано с физико-механическими свойствами поливной жидкости, содержащей значительное количество взвешенных веществ, которые оказывают кольматирующее действие на почву.

Механизм этого процесса детально рассмотрен в работах В. И. Желязко, М. Г. Голченко [2–5] и других ученых, которые отмечают, что в связи с большим многообразием факторов, влияющих на интенсивность дождевания, попытка установить теоретическую зависимость допустимой интенсивности от определяющих ее величину факторов не представляется возможной. Поэтому достаточно обоснованные параметры качественного дождевания устанавливаются экспериментальным путем [3].

При проведении опытного дождевания на поверхности почвы были установлены учетные врезные рамы квадратной формы. Полив проводился с помощью дождевальной насадки, которая периодически включалась в работу с различными интервалами времени по схеме «полив – пауза – полив и т. д.». Таким образом моделировалось прерывистое дождевание. Учет поливной нормы  $m_d$  проводился с помощью почвенных дождемеров. За начало стока принимали момент времени, когда на поверхности учетной площадки образовывались лужи диаметром 2–3 см. Все измерения проводились в 3–4-кратной повторности, а поливы учетных площадок проводились при предполивной влажности около 75 % НВ. Величину допустимой интенсивности дождевания  $i_d$  определяли по формуле:

$$i_d = \frac{m_d}{t} \text{ мм/мин}, \quad (1)$$

где  $m_d$  – величина поливной нормы от начала дождевания до момента появления стока, мм;  $t$  – продолжительность дождевания до момента появления стока, мин.

Результаты проведенных полевых исследований допустимой интенсивности прерывистого дождевания приведены для наглядности на рис. 1 [6].

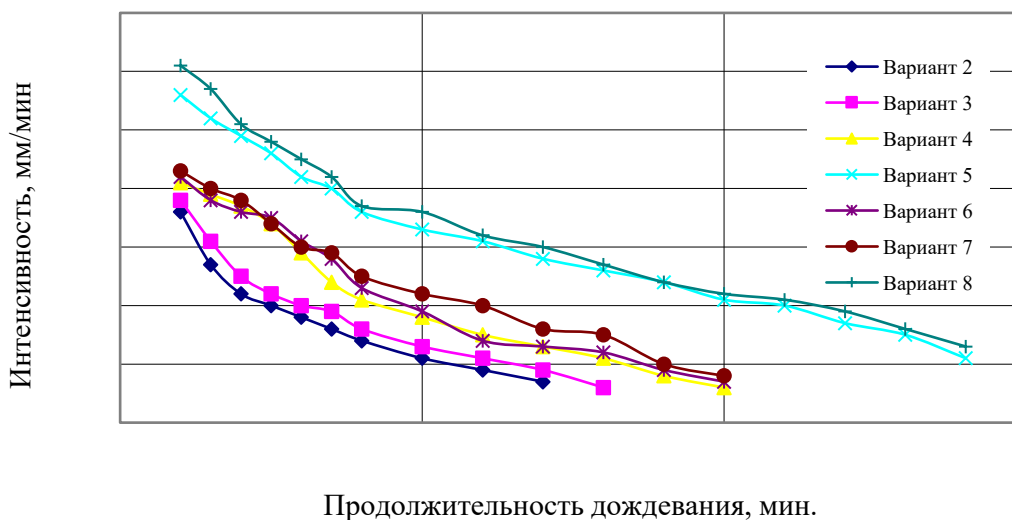


Рис. 1. Изменение допустимой интенсивности прерывистого дождевания во времени в вариантах опыта

Анализ полученных данных показывает, что допустимая интенсивность дождевания зависит от продолжительности полива и значительно изменяется по вариантам. Наибольшее значение допустимой интенсивности отмечено в вариантах 5 и 8, соответственно 0,56 и 0,62 мм/мин при продолжительности воздействия дождя на почву 18 мин. При снижении допустимой интенсивности до 0,10–0,12 мм/мин продолжительность дождевания до появления стока в этих вариантах составляет 110 и 140 мин. соответственно.

Исследованные в опыте агрономелиоративные мероприятия проводились специальным устройством, разработанным нами в соавторстве.

Устройство состоит из кротователя-щелереза, который дополнительно оборудуется штифтователем «в виде прикатывающего катка, на изогнутой оси которого установлены диски с шарнирно закрепленными на них штифтами и жестко закрепленными ограничителями угла поворота штифтов. Оси вращения штифтовальных дисков расположены в вертикальной плоскости, которая проходит через ось вращения прикатывающего катка так, что плоскости, в которых вращаются штифтовальные диски, расположены симметрично плоскости, проходящей через продольную и вертикальную оси рабочего органа кротователя или щелереза и под острым углом к ней (рис. 2).

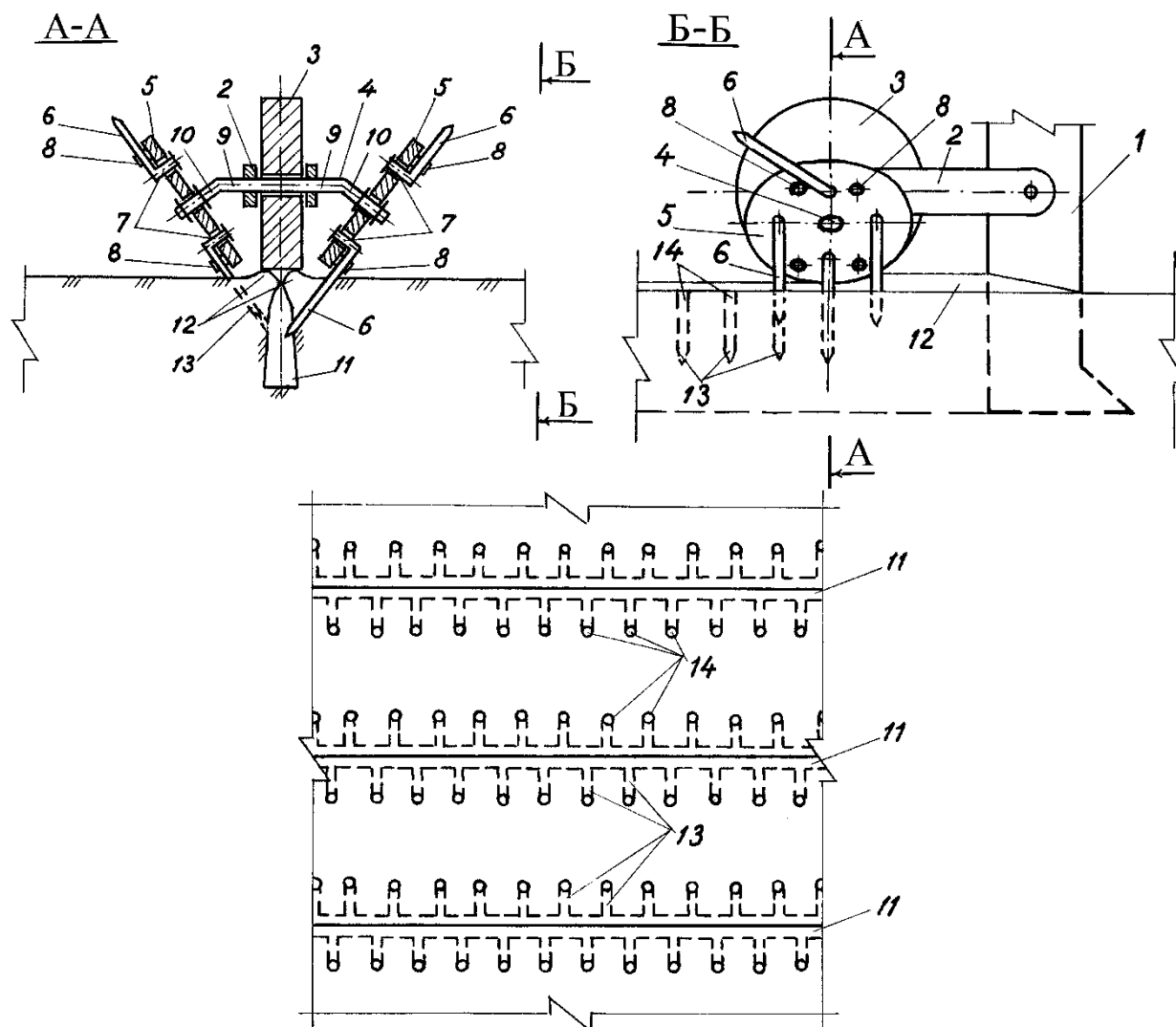


Рис. 2. Принципиальная схема устройства для обработки поверхности поля [6]: 1 – рабочий орган щелереза; 2 – кронштейн; 3 – прикатывающий каток; 4 – ось катка; 5 – штифтовальный диск; 6 – штифт; 7 – шарнир; 8 – ограничитель; 9 – оси вращения прикатывающего катка; 10 – ось вращения штифтовальных дисков; 11 – щель в почве; 12 – почвенный валик; 13 – вертикальные отверстия в почве

Разработанное устройство может применяться не только на орошаемых сельскохозяйственных землях, но и в условиях обычного земледелия для повышения эффективности использования естественных атмосферных осадков.

Техническая задача, на решение которой была направлена разработанная конструкция, заключается в повышении равномерности увлажнения поля и упрощении технологии производства работ, по-

вышении урожайности и повышении качества орошаемых сельскохозяйственных культур, предотвращении водной эрозии почвы и загрязнения окружающей среды.

При использовании предлагаемой конструкции нарезка кротовин или щелей осуществляется в направлении, перпендикулярном направлению господствующего ветра, с сообщением их полостей с дневной поверхностью поля каналами, каналы выполняются наклонными, с выходом на поверхность поля за пределами почвенного валика, образующегося при прорезании корневой системы растений рабочим органом кротователя или щелереза.

Разработанное устройство работает следующим образом. При движении по полю рабочим органом *1* щелереза прорезаются щели *11*, при этом образуется почвенный валик *12*. Одновременно с этим штифты прокалывают почву и соединяют полость щелей *11* вертикальными отверстиями *13* с дневной поверхностью поля, причем из-за острого угла наклона плоскостей вращения штифтовальных дисков *5*, а следовательно, и штифтов *6* к плоскости, проходящей через продольную и вертикальную оси рабочего органа щелереза, выходы *14* каналов *13* и дневная поверхность поля осуществляются за пределами почвенного валика *12*.

Закрепление штифтов *6* на штифтовальных дисках *5* посредством шарниров позволяет прокалывать каналы *13* без изгибающих нагрузок на штифты *6*, что также способствует минимальному повреждению растений вследствие прокола их только в осевом направлении штифтов *6*.

При вращении штифтовальных дисков *5* ограничители угла поворота *8* штифтов *6* переводят штифты *6* в рабочее состояние и обеспечивают оптимальный угол вхождения их в почву.

Прикатывающий каток *3* частично сминает и выравнивает почвенный валик, перекрывает верх щели *11* и формирует ее свод. Кроме того, прикатывающий каток *3* уплотняет почву вокруг штифтов *6* в момент прокалывания ими каналов *13*, чем повышает устойчивость этих каналов *13*.

«Оси вращения *10* штифтовальных дисков *5* расположены в вертикальной плоскости, проходящей через ось вращения *9* прикатывающего катка *3* так, что плоскости, в которых вращаются штифтовальные диски, *5* расположены симметрично плоскости, проходящей через продольную и вертикальную оси рабочего органа щелереза, то есть оси вращения *10* и *9* штифтовальных дисков *5* и прикатывающего катка *3* расположены в одной вертикальной плоскости, перпендикулярной плоскости, проходящей через продольную и вертикальную оси рабочего органа *1* щелереза». Это обеспечивает максимальное давление на почву (и уплотнение ее вокруг штифтов *6*) от прикатывающего катка *3* в момент времени, соответствующий максимальному погружению штифтов *6* в почву, чем предотвращается разрушение каналов *13*. «Штифтовальные диски *5* расположены симметрично относительно плоскости, проходящей через продольную и вертикальную оси рабочего органа *1* щелереза», что обеспечивает работу агрегата без поперечных нагрузок.

Рекомендуется следующая технология производства работ с предлагаемым устройством.

На поле, поперек господствующего направления ветра, предлагаемым устройством нарезаются щели *11*. Штифты *6* устройства соединяют их полости с дневной поверхностью поля за пределами почвенного валика *12*, образующегося при прорезании корневой системы растений рабочим органом *1* кротователя или щелереза. Щели *11* прорезают с минимальной глубиной, обеспечивающей их устойчивость (30–60 см).

«Наиболее эффективно способ осуществляется тогда, когда щели *11* нарезают с уклоном из зоны избыточного полива к зоне недостаточного полива». Кроме выполнения щелей с переменной глубиной, для этой цели можно «использовать рельеф поля – необходимо стремиться к выполнению щелей *13* под углом к горизонталям. Этот угол должен быть минимальным, так как данный способ является также эффективным мероприятием для перехвата поверхностного и внутрипочвенного стока, возникающего вследствие выпадения осадков и весеннего снеготаяния» [3].

При выпадении осадков, превышающих впитывающую способность, образуется «поверхностный сток, который перехватывается выходами *14* каналов *13* и по ним поступает в щели *11*.

Протекая по щелям *11*, избыток поливной жидкости перераспределяется по площади поля и впитывается в почву».

Повышение равномерности увлажнения почвы и распределения биогенных элементов по площади поля способствует увеличению урожайности и качества сельскохозяйственных культур. Особенно эффективен данный способ обработки по трассам поглощающих дрен. Это связано с тем, что со временем засыпка траншеи поглощающей дрены уплотняется и ее водопримная способность снижается, что в конечном счете затрудняет нормальную работу всей системы.

Анализ изменения интенсивности прерывистого дождевания во времени показал, что интенсивность дождевальных устройств, которые применяются в производственных условиях, колеблется в пределах 0,25–0,32 мм/мин. При такой интенсивности, согласно опытным данным, продолжительность полива без стока колеблется от 22 мин. на необработанных участках до 70 мин на поливаемых

вариантах. За такое время выдать требуемую поливную норму без появления стока затруднительно, а порой просто невозможно.

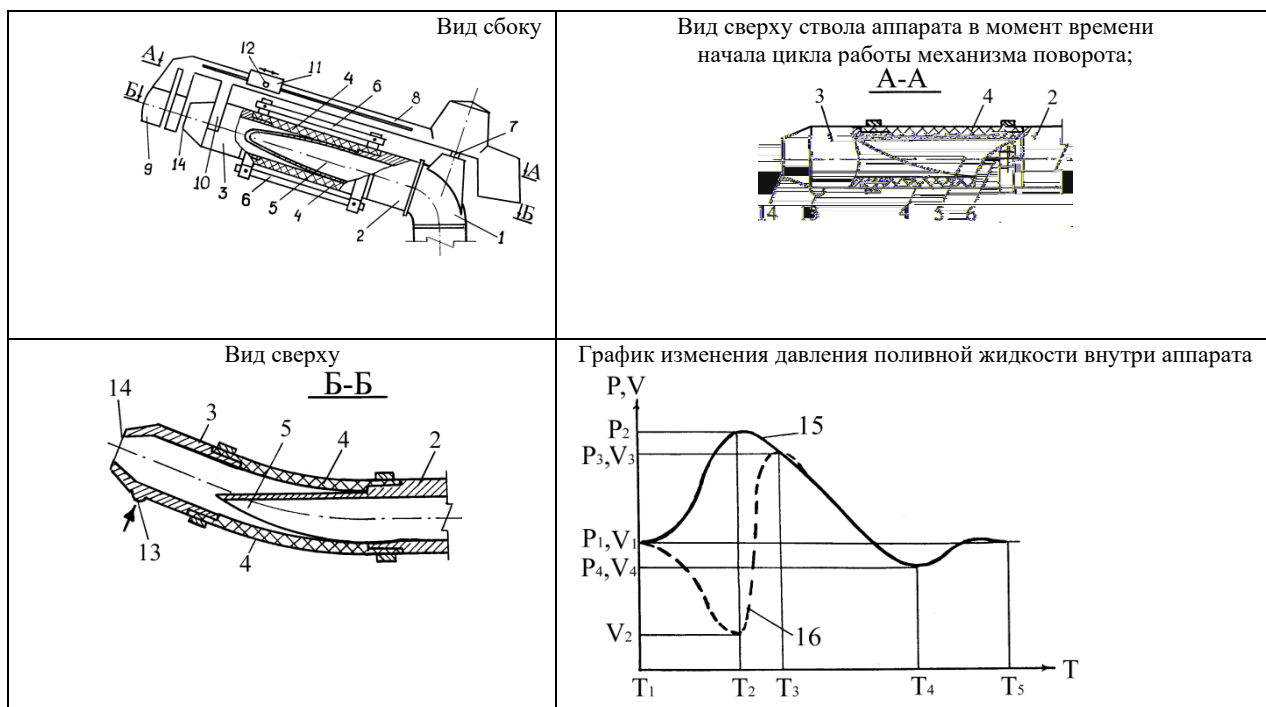


Рис. 3. Принципиальная схема дождевального аппарата [6]:

1– корпус; 2– входная часть ствола; 3–выходная часть ствола; 4– втулка; 5– дросселирующее устройство; 6– элементы жесткости; 7– ось; 8 – коромысло; 9 –лопатка; 10– упорный кронштейн; 11– регулировочный груз; 12 –винт фиксации;

13– упор; 14 – сопло; 15 – график изменения входного давления  $P$  поливной жидкости (перед дросселирующим устройством); 16 – график изменения выходного давления  $V$  поливной жидкости (на входе в сопло 14 аппарата);  $T_2$ ,  $P_2$  и  $V_2$  – момент времени, соответствующий максимальному изгибу втулки из упругого материала (началу движения реактивной лопатки 9 на выход из струи поливной жидкости) и соответствующие ему значения входного и выходного давления;  $T_3$ ,  $P_3$  и  $V_3$  – момент времени, соответствующий окончанию выпрямления втулки 4 из упругого материала (реактивная лопатка вышла из струи поливной жидкости) и соответствующие ему значения входного и выходного давления;  $T_4$  – момент времени, соответствующий минимальному значению входного  $P_4$  и выходного  $V_4$  давления при неработающем дросселирующем устройстве 5;  $T_5$  – момент времени окончания цикла работы механизма поворота аппарата

Данное обстоятельство указывает на то, что наряду с проведением агрономических мероприятий требуется совершенствование и самих дождевальных устройств. Поэтому проведенные исследования по изучению качества дождевания позволили выработать направление совершенствования дождевальных устройств, и нами в соавторстве с В. И. Желязко и др. была разработана конструкция дождевального аппарата, которая может быть использована в дождевальных машинах (рис. 3).

При разработке аппарата решалась задача –повышение равномерности полива и увеличение его площади с одной позиции работы дождевального аппарата.

Поставленная задача решается тем, что у дождевального аппарата, включающего механизм поворота в виде коромысла с реактивной лопаткой, ствол аппарата выполнен из двух частей, соединенных втулкой из упругого материала, причем на одной из частей ствола закреплено дросселирующее устройство, расположенное во втулке из упругого материала и имеющее форму пустотелого усеченного цилиндра или конуса. Кроме того, обе части ствола аппарата дополнительно соединены элементом жесткости, выполненным, например, в виде двух плоских пружин, установленных вдоль верхней и нижней образующих ствола аппарата.

Дождевальный аппарат состоит из корпуса 1, входной 2 и выходной 3 частей ствола, соединенных втулкой 4 из упругого материала. «На одной из частей ствола, например входной, жестко закреплено дросселирующее устройство 5. Части 2 и 3 ствола дополнительно соединены элементом жесткости 6, выполненным, как это показано на рис. 3, в виде двух плоских пружин (возможна также установка одной цилиндрической пружины). На оси 7 установлено коромысло 8 механизма поворота с реактивной лопаткой 9 и упорным кронштейном 10. На коромысле 8 закреплен регулировочный груз 11». с возможностью перемещения его вдоль коромысла 8 с последующей фиксацией винтом 12. На выходной части 3 ствола закреплен упор 13 и сопло 14.

Аппарат работает следующим образом. В момент времени  $T_1$  коромысло 8 движется под действием возвратной пружины (не показана). Реактивная лопатка 9 начинает входить в струю поливной жидкости. Входное  $P_1$  и выходное  $V_1$  давление близко по значению к исходному давлению в подво-

дующем трубопроводе. В промежуток времени  $T_1 - T_2$  реактивная лопатка 9 входит в струю поливной жидкости, упорный кронштейн 10 надавливает на упор 13 и начинается поворот аппарата, а также изгиб втулки 4 из упругого материала. При этом дросселирующее устройство 5 частично перекрывает полость ствола аппарата, создавая значительные гидравлические сопротивления. Выходное давление и расход аппарата резко снижаются. Происходит полив с максимальной интенсивностью дождя вблизи аппарата. В то же время из-за торможения потока жидкости возрастает входное давление (гидравлический удар).

Под действием силы реакции искривленной струи поливной жидкости реактивная лопатка 9 начинает двигаться в обратном направлении – на выход из струи. Втулка 4 из упругого материала выпрямляется. Этому способствует также элемент жесткости 6. К моменту времени  $T_3$  ствол аппарата полностью выпрямляется, дросселирующее устройство 5 отключено, входное давление  $P_3$  близко по значению к выходному  $V_3$ . Происходит полив при повышенном давлении. В дальнейшем входное и выходное давление падает и к какому-то моменту времени  $T_4$  снижается до минимальной величины, а затем возвращается к исходному давлению (момент времени  $T_5$ ). Цикл повторяется.

Известно, что дальность полета струи у дождевального аппарата значительно зависит от выходного давления. Таким образом, предлагаемая конструкция, осуществляя полив с переменным давлением, существенно повышает равномерность распределения поливной жидкости по радиусу полива, а также увеличивает его, так как некоторый промежуток времени полив осуществляется с давлением выше исходного давления в подводящем трубопроводе.

Настройка аппарата осуществляется изменением жесткости возвратной пружины механизма поворота, а также перемещением регулирующего груза 11 вдоль коромысла 8, чем изменяется его момент инерции. Таким образом, можно регулировать амплитуду и фазу колебаний давления поливной жидкости в аппарате.

Дросселирующее устройство 5 может быть закреплено и на выходной части 3 ствола аппарата. При этом потребуются значительно меньше усилия на искривление втулки 4 из упругого материала. Но такая конструкция может работать только с чистой поливной жидкостью, в то время как в аппарате, изображенном на фиг. 1, 2 и 3, может применяться и загрязненная, например животноводческие стоки, так как пульсации давления способствуют самопромывке аппарата.

Колебания давления в подводящем трубопроводе будут гаситься за счет несинхронности работы группы аппаратов, а при необходимости могут быть и сглажены специальными гасителями.

### **Заключение**

С учетом изложенного необходимо отметить, что для повышения экологической безопасности специализированной мелиоративной системы необходимо постоянное совершенствование способов внесения животноводческих стоков. Применение поглощающего дренажа в сочетании с агро-мелиоративными мероприятиями позволяет повысить качество дождевания за счет увеличения в 1,5–2,0 раза продолжительности дождевания без образования поверхностного стока, расширения диапазона допустимой интенсивности дождевания от 0,62 до 0,10 мм/мин. Кроме того, необходимо проводить специальную мелиоративную обработку поверхности почвы, что обеспечит качественное дождевание без образования луж и поверхностного стока, а для повышения равномерности распределения стоков по площади необходимо совершенствовать конструкции дождевальных устройств.

### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Анженков, А. С. Пути повышения качества дождя, получаемого струйными дождевальными аппаратами / А. С. Анженков // Влияние природных и антропогенных факторов на биоэкологические системы: межрегиональный сборник научных трудов, посвященный 40-летию медико-профилактического факультета; под редакцией А. А. Ляпкало. – Рязань: ОГУП «Рязоблтипография», 2002. – С. 90–93.
2. Голченко, М. Г. Способы повышения экологической безопасности утилизации стоков животноводческих комплексов / М. Г. Голченко, В. И. Желязко, Н. Н. Михальченко // Современные проблемы изучения использования и охраны природных комплексов Полесья: тезисы докладов международной конференции, 22–25 сентября 1998 г. – Минск: БелСЭНС, 1998. – С. 161.
3. Желязко, В. И. Использование бесподстильного навоза на мелиорируемых агроландшафтах Нечерноземья: монография / В. И. Желязко, П. Ф. Тиво, Ю. А. Мажайский. – Рязань: Мещерский филиал Всероссийского НИИ гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова, 2006. – 304 с.
4. Желязко, В. И. Повышение качества полива дождевальными аппаратами / В. И. Желязко, Н. Н. Михальченко // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: сборник научных трудов; под общей редакцией Ю. А. Мажайского. – Рязань: Мещерский филиал ГНУ ВНИИГиМ, 2004. – С. 138–144.
5. Желязко, В. И. Эколого-мелиоративные основы орошения земель стоками свиноводческих комплексов / В. И. Желязко. – Горьки, 2003. – 168 с.
6. Копытовский, В. В. Повышение качества дождевания при использовании животноводческих стоков / В. В. Копытовский // Вестник БГСХА. – 2014. – № 1. – С. 159–162.