

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБОСНОВАНИЮ НЕРАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА ВОДЫ ПО ВЫСОТЕ ЗАГРУЗКИ ФИЛЬТРА С ЦЕНТРАЛЬНОЙ ПЕРФОРИРОВАННОЙ ТРУБОЙ

Саитов Виктор Ефимович, доктор технических наук, доцент, старший научный сотрудник отдела механизации

Котюков Анатолий Борисович, аспирант отдела механизации

ФГБНУ «НИИСХ Северо-Востока»

610007, г. Киров, ул. Ленина, 166а; тел.: 89123320494;

e-mail: vicsait-valita@e-kirov.ru

Ключевые слова: сельское хозяйство, животноводство, конструкции фильтров, очистка воды, фильтрующая загрузка, потери напора.

Улучшение состояния животноводства является приоритетной задачей развития сельскохозяйственного производства Российской Федерации. Развитие животноводства в определенной степени зависит от применения чистой питьевой воды. Использование для поения животных и птиц загрязненной воды ведет к накоплению в мясе, молоке и яйцах вредных и ядовитых веществ. Употребление такой продукции людьми значительно влияет на их здоровье, ведет к различным болезням и сокращению длительности жизни. Для фильтрации воды от различных примесей применяют фильтры. В технологической линии водоподготовки животноводческих комплексов в основном применяют фильтры, у которых центральная отводящая труба имеет отверстия в виде щелей. По высоте фильтра ширина данных отверстий не изменяется. Выдвинута гипотеза о существовании неравномерного распределения расхода воды в данной конструкции фильтра по высоте материала, которая приводит к снижению эффективности работы. Теоретические расчеты численным методом по распределению гидравлических потерь по путям прохождения воды подтвердили гипотезу о неравномерном распределении расхода воды по высоте материала фильтрующей загрузки. С учетом изложенного выше для устранения данной неравномерности предложены конструкции фильтров, в которых необходимо использовать неравномерную плотность материала фильтрующей загрузки, либо выполнить центральную отводящую трубу с отверстиями, увеличивающимися по диаметру от низа к верху трубы, либо применить встроенный дополнительный вертикальный металлический цилиндр. Предложено для исследований данных конструкций фильтров использовать наименее трудоемкий метод электрогидродинамических аналогий (ЭГДА).

Введение

Улучшение состояния животноводства является приоритетной задачей развития сельскохозяйственного производства Российской Федерации. Развитие животноводства в определенной степени зависит от применения чистой питьевой воды. Использование для поения животных и птиц загрязненной воды ведет к накоплению в мясе, молоке и яйцах вредных и ядовитых веществ. Употребление такой продукции людьми значительно влияет на их здоровье, ведет к различным болезням и сокращению длительности жизни. Поэтому к воде для поения животных предъявляют почти такие же санитарно-гигиенические требования, как и для людей. В системе водоснабжения животноводческих ферм, прежде всего, не должны содержаться патогенные микроорганизмы и яйца гельминтов, вода должна иметь оптимальный химический состав примесей, быть чистой и теплой, иметь хорошие вкусовые качества [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Выполнение данных требований возможно за счет создания и совершенствования техни-

ческих средств фильтрования воды на животноводческих комплексах и фермах. Для выполнения указанных требований применяют фильтры различных конструкций. На животноводческих комплексах и фермах для очистки воды от различных примесей наиболее часто используют фильтры с нижним подводом и отводом воды, имеющие центральную отводящую трубу, в которой выполнены отверстия в виде продольных щелей, причем площадь этих отверстий не изменяется по высоте фильтра. Однако такие технические средства фильтрования воды в животноводческих комплексах и фермах во множестве случаев не отвечают современным требованиям.

Целью исследований является теоретическое обоснование гипотезы о неравномерном распределении расхода воды по высоте материала фильтрующей загрузки щелевого фильтра, применяемого на животноводческих комплексах и фермах.

Объекты и методы исследований

Щелевой фильтр состоит из патрубков подачи очищаемой 1 и очищенной 5 воды, цен-

тральной отводящей трубы 2, входного 6 и выходного 7 отделений. Центральная отводящая труба 2 имеет щелевые отверстия 8, площадь которых не изменяется по высоте материала фильтрующей загрузки 3. Материал фильтрующей загрузки 3 состоит из УВС (углеродного волокнистого сорбента), и она выполнена в виде колец, которые плотно уложены друг на друга. Плотность упаковки материала фильтрующей загрузки 3 составляет 0,095 г/см³. Движение очищаемой от примесей воды происходит в фильтре внутрь материала фильтрующей загрузки 3. Расход воды Q через фильтр составляет 5 м³/ч (рис. 1).

Вследствие того, что площадь щелевых отверстий центральной отводящей трубы постоянна по ее длине, происходит неравномерное распределение расхода воды по высоте материала фильтрующей загрузки. Данное обстоятельство приводит к снижению эффективности применения щелевого фильтра для очистки воды от различных загрязнений.

Результаты исследований

Исходя из гипотезы о неравномерности распределения расхода воды по высоте материала фильтрующей загрузки щелевого фильтра ввиду предполагаемой разности гидравлических сопротивлений (разности потерь напора) при прохождении воды по пути WQ (путь через загрузку из материала УВС и отверстия нижней зоны центральной трубы фильтра) и пути WZVQ (путь через входное отделение фильтра, загрузку из материала УВС, отверстия верхней зоны центральной трубы, выходное отделение фильтра), следует, что больший расход воды пойдет по пути меньшего гидравлического сопротивления, то есть по пути WQ (рис. 2).

Для теоретического подтверждения данной гипотезы были определены потери напора (гидравлические потери) по указанным путям WQ и WZVQ. Для этого были использованы формулы определения потерь напора в фильтре при j-м пути фильтрации через различные по высоте зоны материала фильтрующей загрузки:

$$Dh_j = Dh_{1j} + Dh_{2j} + Dh_{3j} + Dh_{4j} \quad (1)$$

где Dh_{1j} - потери напора во входном отделении фильтра, м; Dh_{2j} - потери напора в материале фильтрующей загрузки, м; Dh_{3j} - потери напора в выходной трубе фильтра, м; Dh_{4j} - потери напора от прохождения через отверстия центральной трубы, м.

Определение величины dh_{1j} выполняли на основе численного интегрирования следующего выражения [7]:

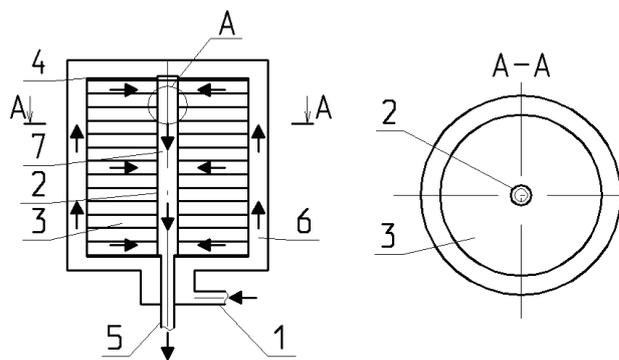


Рис. 1 - Схема щелевого фильтра, применяемого на животноводческих комплексах и фермах: 1 и 5 - патрубки подачи очищаемой и очищенной воды; 2 - центральная отводящая труба; 3 - материал фильтрующей загрузки; 4 - прижимное устройство; 6 и 7 - входное и выходное отделения; 8 - щелевое отверстие; \rightarrow - направление движения воды

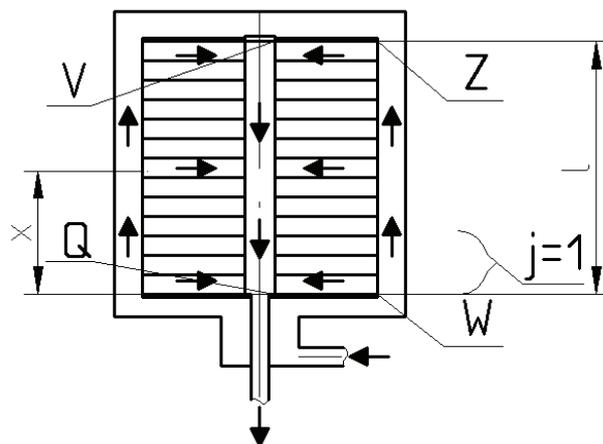


Рис. 2 - Схема щелевого фильтра для очистки воды с обозначениями путей прохождения воды: \rightarrow - направления движения воды

$$dh_{1j} = i \cdot dx = \left[\frac{(Q_m + Q_p)^2}{K^2} - \frac{2Q_p}{l \cdot K^2} (Q_m + Q_p)x + \frac{Q_p^2}{l^2 \cdot K^2} x^2 \right] dx, \quad (2)$$

где dx - малый отрезок (элемент) по высоте l загрузки фильтра, м; Q_m - транзитный расход во входном отделении, м³; Q_p - расход, непрерывно раздаваемый вдоль высоты l , м³; K - расходная характеристика.

Величину Dh_{2j} определяли путем интегрирования представленного выражения [8]:

$$dh_{2j}(t) = \Delta h_{2j}(0) \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} r^4 F_n(r) dr \left\{ \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} r^4 F_n(r) \left(1 - \frac{\beta^2 \pi r^2}{S} \right)^{\varphi(r)} \left(t - \frac{H}{v} \right)^{-1} dr \right\}^{-1}, \quad (3)$$

где t - момент времени, c ; r – радиус поры (капилляра), m ; $F_n(r)$ – функция распределения пор материала фильтрующей загрузки по размерам; $\beta^2\pi r^2$ - площадь поперечного сечения поры на поверхности материала фильтрующей загрузки (перегородки), m^2 ; S – площадь сечения поры, m^2 ; $\varphi(r)$ – функция описания задерживаемых частиц; H – расстояние до фильтрующей перегородки, m ; n - концентрация частиц.

Для определения величины Dh_{3j} выполняли численное интегрирование выражения (2) по аналогии с определением величины dh_{1j} .

Величину Dh_{4j} определяли по следующей формуле [9]:

$$h_{4j} = \frac{\mu}{2\pi k h} \cdot C_j, \quad (4)$$

где μ - динамическая вязкость, $kg/(m \cdot c)$; k – проницаемость; h - высота материала фильтрующей загрузки, m ; C_j - геометрическая характеристика, зависящая от количества отверстий и их диаметра.

Результаты численного расчета по указанным выше формулам дали следующий результат: гидравлические потери по пути WQ прохождения воды в фильтре $Dh_{WQ} = 1,171$ м, а по пути $WZVQ$ - $Dh_{WZVQ} = 1,178$ м. Величина гидравлических потерь Dh_{WQ} меньше величины гидравлических потерь Dh_{WZVQ} , соответственно больший расход воды пойдет по пути меньшего гидравлического сопротивления.

Поэтому в сравнении со всей площадью материала фильтрующей загрузки нижняя ее часть будет больше загрязняться различными примесями. Это приводит к неэффективному использованию площади фильтрующего элемента, снижению качества очистки фильтром воды от различных загрязнений и значительно уменьшает срок использования фильтрующего пакета.

Выводы

Теоретические расчеты численным методом по распределению гидравлических потерь по путям прохождения воды подтвердили гипотезу о неравномерности распределения ее расхода по высоте материала фильтрующей загрузки щелевого фильтра. Это обстоятельство ведет к снижению эффективности использования щелевого фильтра при очистке воды от различных загрязнений. Для устранения данного недостатка предложены конструкции фильтров, в которых необходимо использовать неравномерную плотность материала фильтрующей загрузки, либо выполнить центральную отводящую трубу с отверстиями, увеличивающимися по диаметру

от низа к верху трубы, либо применить встроенный дополнительный вертикальный металлический цилиндр. Для исследований указанных конструкций фильтров предпочтительно использовать наименее трудоемкий метод электрогидродинамических аналогий (ЭГДА) [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16].

Библиографический список

1. ГОСТ Р 51232-98. Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества. - М.: Госстандарт России, 1998. - 21 с.
2. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. - М.: Минздрав России, 2002. - 62 с.
3. Саитов, В.Е. Анализ существующих загрязнений в источниках водоснабжения животноводства / В.Е. Саитов, А.Б. Котюков // Состояние и перспективы развития АПК Центрального Нечерноземья: сб. материалов Международной заочной научно-практ. конф., посвященной 120-летию создания ФГБНУ Смоленской ГОСХОС. - Стодолище: ФГБНУ Смоленская ГОСХОС, 2016. - С. 273-277.
4. Саитов, В.Е. Санитарно-гигиенические требования к питьевой воде для животноводческих ферм / В.Е. Саитов, А.Б. Котюков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - № 6 (часть 5). - С. 830-833.
5. Henry, J.G. Water pollution / J.G. Henry // Environmental science and engineering. - New Jersey, 1989. - 728 p.
6. Grieves, C.G. Powdered versus granular carbon for oil rafmery wastewater treatment / C.G. Grieves, L.W. Crame, D.G. Verandos, Wei-Chi-Ying // Water Pollution Control Federation. - 1980. - № 3. - P. 483-497
7. Альтшуль, А.Д. / Гидравлика и аэродинамика / А.Д. Альтшуль, Л.С. Животовский, Л.П. Иванов. - М.: Стройиздат, 1987. - 414 с.
8. Методика определения удельного гидравлического сопротивления пористых СВС-материалов / В.В. Евстигнеев, Д.В. Колесников, В.И. Пролубников, Н.П. Тубалов, Н.Ю. Щетинкина // Ползуновский вестник. - 2005. - № 2. - С. 227-229.
9. Башта, Г.И. Машиностроительная гидравлика: Справочное пособие / Г.И. Башта. - М.: Машиностроение, 1975. - 696 с.
10. Саитов, В.Е. Способы и применяемые материалы для очистки воды на животновод-

ческих комплексах / В.Е. Саитов, А.Б. Котюков // Научное обеспечение устойчивого развития АПК в современных условиях: материалы Всероссийской научно-практ. конф., посвященной 80-летию Нижегородского НИИСХ. – Нижний Новгород, 2016. – С. 232-235.

11. Саитов, В.Е. Определение электрического сопротивления различных материалов для создания модели фильтра для очистки воды методом электрогидродинамических аналогий / В.Е. Саитов, А.Б. Котюков // Современные тенденции развития науки и технологий: периодический науч. сб. по материалам XVIII Международ. научно-практ. конф. - Белгород, 2016. - № 9-1. - С. 57-59.

12. Пат. 2535856 Российская Федерация, МПК В01D 25/26. Фильтрующий элемент для очистки питьевой воды / Котюков А.Б. Петров Ю.П.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». - № 2013151466/05; заявл. 19.11.13; опубл. 20.12.14, Бюл. № 35. - 11 с.

13. Пат. 173754 Российская Федерация, МПК В01D 29/11, С02F 1/28, D01B 29/23. Фильтр цилиндрический / Саитов В.Е., Котюков А.Б., Курбанов Р.Ф., Саитов А.В.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное

образовательное учреждение высшего профессионального образования «Вятская госуд. с.-х. академия». - № 2017118142; заявл. 24.05.2017; опубл. 11.09.2017, Бюл. № 26. – 2 с.

14. Пат. 175288 Российская Федерация, МПК В01D 29/11. Фильтр перфорированный с двойной загрузкой / Саитов В.Е., Котюков А.Б.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Вятская госуд. с.-х. академия». - № 2017119575; заявл. 05.06.2017; опубл. 29.11.2017, Бюл. № 34. – 2 с.

15. Совершенствование конструкций фильтров для очистки воды в животноводческих комплексах / В.Е. Саитов, П.А. Савиных, А.Б. Котюков, В. Романюк, М. Лукажук // Проблемы интенсификации животноводства с учетом охраны окружающей среды и производства альтернативных источников энергии, в том числе биогаза: Монография / Под науч. ред. проф. докт. Вацлава Романюка. - Фаленты-Варшава, 2016. - С. 187-194.

16. Saitov, V.E. Requirements for materials to create an effective model filters for cleaning water by electrohydrodynamic analogy / V.E. Saitov, A. B. Kotyukov // International Journal of Applied and Fundamental Research. - 2016. - № 2. - P. 6. - URL: www.science-sd.com/464-25111.

THEORETICAL RESEARCH ON SUBSTANTIATION OF DISTRIBUTION UNIFORMITY OF WATER CONSUMPTION ALONG THE HEIGHT OF FILTER WITH CENTRAL SLOTTED PIPE

Saitov V. E., Kotyukov A.B.
FSBSI SRIA of the North-East
610007, Kirov, Lenin st, 166a;
tel: 89123320494; e-mail: vicsait-valita@e-kirov.ru

Key words: agriculture, animal breeding, filter designs, water purification, filtering load, pressure loss.

Improvement of the animal breeding sector is a priority task for the development of agricultural production of the Russian Federation. The development of livestock production depends on the usage of clean drinking water to a certain extent. Usage of polluted water for drinking of animals and birds leads to the accumulation of harmful and poisonous substances in meat, milk and eggs. Eating of such products by people significantly affects their health, leads to various illnesses and shortens life duration. To filter water from various impurities filters are used. In the technological line of water purification of livestock complexes, mainly, filters with central slotted pipe are used. The width of the holes does not change along the height of the filter. A hypothesis has been put forward that there is uneven distribution of water flow in a given filter design along the height of the material, which leads to a decrease in the efficiency of work. Theoretical calculations with the numerical method on the distribution of hydraulic losses along the water flow confirmed the hypothesis of uneven distribution of water flow along the height of the material of the filtering load. Taking into account the above mentioned facts, in order to eliminate this unevenness, filter designs are proposed where it is necessary to use the uneven density of the material of the filtering load either to make the central slotted pipe with holes increasing in diameter from the bottom to the top of the pipe or to use an integrated additional vertical metal cylinder. It has been proposed to use the least labor-consuming method of electrohydrodynamic analogies (EHDD) to study these filter designs.

Bibliography

1. National State Standard R 51232-98. Drinking water. General requirements for the organization and methods of quality control. - Moscow: Gosstandart of Russia, 1998. - 21 p.

2. Sanitary regulations and standards 2.1.4.1074-01. Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control. - M.: Ministry of Health of Russia, 2002. - 62 p.

3. Saitov, V.E. Analysis of the existing contaminants in the sources of livestock water supply / V.E. Saitov, A.B. Kotyukov // State and prospects for the development of the agroindustrial complex of the Central Non-Black soil region: a collection of materials of the International distance scientific and practical conference dedicated to the 120th anniversary of the creation of FSBSI Smolensk State Agricultural Experimental Station. - Stodolishche: FSBSI Smolensk State Agricultural Experimental Station, 2016. - P. 273-277.

4. Saitov, V.E. Sanitary and hygienic requirements for drinking water of livestock farms / V.E. Saitov, A.B. Kotyukov // International Journal of Applied and Fundamental Research. - 2016. - No. 6 (Part 5). - P. 830-833.

5. Henry, J.G. *Water pollution / J.G. Henry // Environmental science and engineering*. - New Jersey, 1989. - 728 p.
6. Powdered versus granular carbon for oil rafmery wastewater treatment / C.G. Grieves, L.W. Crame, D.G. Verandos, Wei-Chi-Ying // *Water Pollution Control Federation*. - 1980. - № 3. - P. 483-497
7. Altshul, A.D. *Hydraulics and aerodynamics / A.D. Altshul, L.S. Zhivotovsky, L.P. Ivanov*. - Moscow: Stroizdat, 1987. - 414 p.
8. Method for estimating the specific hydraulic resistance of porous SHS-materials / V.V. Evstigneev, D.V. Kolesnikov, V.I. Prolubnikov, N.P. Tubalov, N.Yu. Shchetinkina // *Polzunovsky Vestnik*. - 2005. - №2. - P. 227-229.
9. Bashta, G.I. *Machine-building hydraulics: A reference book / G.I. Bashta*. - M.: Mechanical Engineering, 1975. - 696 p.
10. Saitov, V.E. *Methods and applied materials for water purification on livestock complexes / V.E. Saitov, A.B. Kotyukov // Scientific support of sustainable development of agro-industrial complex in modern conditions. Materials of the All-Russian scientific and practical conference, dedicated to the 80th anniversary of Nizhny Novgorod Research Institute*. - Nizhny Novgorod, 2016. - P. 232-235.
11. Saitov, V.E. *Specification of electrical resistance of various materials for making a model of a filter for water purification by electrohydrodynamic analogies / V.E. Saitov, A.B. Kotyukov // Modern trends in the development of science and technology: a periodic scientific collection of the materials of the XVIII International scientific and practical conference*. - Belgorod, 2016. - № 9-1. - P. 57-59.
12. Pat. 2535856 Russian Federation, IPC B01D 25/26. *Filter element for drinking water purification / Kotyukov A.B., Petrov Yu.P. applicant and patent holder Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional Education "Perm National Research Polytechnic University"*. - № 2013151466/05; appl. 19.11.13; publ. 20.12.14, Bul. № 35. - 11 p.
13. Pat. 173754 Russian Federation, IPC B01D 29/11, C02F 1/28, D01B 29/23. *A cylindrical filter / Saitov V.E., Kotyukov A.B., Kurbanov R.F., Saitov A.V.; applicant and patent holder Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education "Vyatka State Agricultural Academy"*. - № 2017118142; appl. 24.05.2017; publ. 09/11/2017, Bul. № 26. - 2 p.
14. Pat. 175288 Russian Federation, IPC V01D 29/11. *Perforated filter with double loading / Saitov V.E., Kotyukov A.B.; applicant and patent holder Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education "Vyatka State Agricultural Academy"* - № 2017119575; claimed. 05.06.2017; publ. 29.11.2017, Bul. № 34. - 2 p.
15. *Improvement of filter designs for water purification in cattle-breeding complexes / V.E. Saitov, P.A. Savinykh, A.B. Kotyukov, V. Romanyuk, M. Lukazhuk // Problems of livestock intensification taking into account environment protection and production of alternative energy sources, including biogas: monograph / under scientific supervision of Prof. Doct. Vaclav Romanyuk*. - Falenta-Warsaw, 2016. - P. 187-194.
16. Saitov, V.E. *Requirements for materials to create an effective model filters for cleaning water by electrohydrodynamic analogy / V.E. Saitov, A. B. Kotyukov // International Journal of Applied and Fundamental Research*. - 2016. - № 2. - P. 6. - URL: www.science-sd.com/464-25111.