

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ,
АВТОМАТИЗАЦИЯ /
MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.278-286>



УДК 637.116

**Исследование режима течения жидкости при промывке
молокопровода**

© 2021. Р. А. Мамедова[✉]

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва,
Российская Федерация

Целью исследования данной работы являлось определение изменения объема жидкостной пробки при движении в молокопроводе, что позволило вычислить первоначальную длину жидкостной пробки и соответственно определить длину воздушной пробки, это предоставило возможность управлять клапаном впуска жидкости и воздуха во время циркуляционной промывки доильного оборудования с молокопроводом и способствовало образованию устойчивого пробкового режима потока воды во время промывки. В данной статье рассмотрены вопросы образования волнового и пробкового режимов течения в молокопроводе в зависимости от степени заполнения и касательного напряжения на поверхности фаз. В результате получены кривые зависимости, которые показывают, что при степени заполнения молокопровода жидкостью от 0,4d до 0,6d вероятность образования пробок снижается. Проведены математические расчеты определения потери объема жидкостной пробки при движении в молокопроводе с использованием теории пограничного слоя. В результате получены кривые времени впуска воды и воздуха в систему в зависимости от протяженности и диаметра молокопровода. Данные инженерные методы расчета позволяют задавать параметры работы клапана впуска воды и воздуха в систему во время промывки. Для расчета параметров часто применяемых в доильном оборудовании труб с внутренним диаметром 48, 63, 70 и 98 мм написана программа на базе языка программирования Delphi. Приведен пример расчета времени открытия и закрытия клапана впуска воды и воздуха во время промывки молокопровода с внутренним диаметром трубы 48 мм протяженностью 120 м и давлением в системе 48 кПа. Экспериментальные исследования подтвердили достоверность расчетов, потеря длины жидкостной пробки для молокопровода Ø50,8 мм составляет в среднем 5 см на 1 метр пути.

Ключевые слова: трехходовой клапан, касательное напряжение, расслоенный режим, жидкостная пробка, пограничный слой

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (тема № 0581-2019-0009).

Автор благодарит рецензентов за вклад в экспертную оценку работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Мамедова Р. А. Исследование режимов течения жидкости при промывке молокопровода. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(2):278-286. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.278-286>

Поступила: 24.02.2021 Принята к публикации: 31.03.2021 Опубликована онлайн: 19.04.2021

Research of the fluid flow regime during the milk pipeline washing

© 2021. Ravza A. Mamedova[✉]

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

The aim of the research was to determine the change in the volume of fluid slug moving in the milk pipeline for calculating the initial length of the fluid slug and thus the air slug length. This allows to control the fluid and air inlet valve during circulatory washing of milking equipment with milk line and provides a stable plug flow during washing. The article deals with the problems of formation of a wave flow and plug flow regime in a milk line in dependence to the degree of filling and shear stress on the surface of the phases. As the result, the dependence curves have been obtained. They show that when the degree of filling the milk line with liquid is from 0.4d to 0.6d, the probability of slug formation decreases. To determine the loss of a fluid slug volume moving in a milk line, mathematical calculations with the use of the boundary layer theory have been carried out. As the result, the curves of the time of fluid and air intake into the system depending on the length and diameter of the milk pipeline have been obtained. These engineering calculation methods allow to set the operating parameters of the valves for fluid and air inlet into the system during washing. To calculate the parameters of pipelines with an internal diameter of 48, 63, 70 and 98 mm often used in milking equipment, a Delphi-based program was written. The article provides an example of calculating the time of opening and closing the valve for the inlet of fluid and air during washing for a milk line with 48 mm pipe diameter, 120 m length and pressure in the system of 48 kPa. Experimental studies have confirmed the reliability of the calculations, the loss of the liquid plug length for the milk pipeline Ø50,8 mm is on average 5 cm per 1 meter of the fluid path.

Key words: three-way valve, shear stress, stratified mode, fluid slug, boundary layer

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Scientific Agroengineering Center VIM (theme No. 0581-2019-0009).

The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the author stated that there was no conflict of interest.

For citations: Mamedova R. A. Research of the fluid flow regime during the milk pipeline washing *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(2):278-286. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.278-286>

Received: 24.02.2021

Accepted for publication: 31.03.2021

Published online: 19.04.2021

Вопросы промывки доильного оборудования являются основными факторами, влияющими на качество получаемого молока [1]. Профессором В. Мором¹ еще в прошлом веке были предложены технологические операции по промывке доильного оборудования:

1) ополаскивание перед доением, которое включает: ополаскивание теплой водой (25...30 °C); сушка воздухом;

2) промывка после доения, состоит из следующих операций: ополаскивание теплой водой (25...30 °C); циркуляционная промывка с раствором; ополаскивание холодной водой; сушка воздухом.

Совершенствование и создание доильных установок предъявляет новые требования к системам промывки. Последнее время широкое применение на животноводческих фермах нашли доильные установки с протяженным молокопроводом. В молокопроводе при доении – спокойный режим течения молока, но в то же время для эффективной промывки трубопровода необходимо смачивание всей внутренней поверхности трубы [2, 3, 4]. Данный эффект достигается при сплошном или пробковом режимах промывки. Недостатком первого варианта является большой расход воды, учитывая, что протяженность труб может достигать сотен метров. Наиболее оптимальным вариантом при промывке трубопровода является применение пробкового режима, когда в системе периодически происходит впуск моющей воды и воздуха, что способствует образованию жидкостных и воздушных пробок.

Изучению систем промывки доильных установок с образованием жидкостной пробки посвящены работы доктора J. Reinemann, G. A. Main, P. L. Ruegg и других [5, 6, 7, 8], в которых в основном уделено внимание конструктивным элементам автомата промывки, эксплуатационным показателям и способам впуска воды и воздуха в систему во время

промывки. В России проблеме промывки доильного оборудования посвящены работы [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16], где в основном рассмотрены конструктивные изменения в системе промывки для обеспечения смачивания всей внутренней поверхности молокопровода. В данной статье рассмотрено образование волнового и пробкового режимов течения в молокопроводе, проведены математические расчеты определения потери воды при движении жидкостной пробки в молокопроводе, дана математическая модель образования жидкостной пробки при промывке доильных установок и инженерные методы расчета параметров работы клапана впуска воды и воздуха, способствующих образованию пробкового режима течения газожидкостной смеси во время циркуляционной промывки.

Цель исследования – определение изменения объема жидкостной пробки при движении в молокопроводе.

Если определить потери жидкости при движении жидкостной пробки по трубопроводу, то можно вычислить первоначальную длину жидкостной пробки и соответственно найти длину воздушной пробки, что дало возможность управлять клапаном впуска жидкости и воздуха во время циркуляционной промывки доильного оборудования с молокопроводом и способствовало образованию устойчивого пробкового режима промывки.

Материал и методы. Физика и механика движения газа и жидкости в трубе достаточно известна и хорошо описана В. А. Мамаевым², Г. Е. Одишария и другими. Применительно к молокопроводам предъявляются противоречивые требования, а именно: во время доения необходим расслоенный режим течения молока, а во время промывки – пробковый режим течения жидкости, что требует проведения дополнительных исследований.

¹Моор В., Вольтер М. Мойка и дезинфекция в молочном деле. Пер. с нем. М.: Пищепромиздат, 1957. 163 с.

²Мамаев В.А., Одишария Г.Э., Клапчук О.В. и др. Движение газожидкостных смесей в трубах. М.: Недра, 1978. 270 с.

Основными факторами, влияющими на режим течения являются степень заполнения сечения трубы жидкостью, внутренняя шероховатость и уклон трубы, напряжение сдвига на поверхности раздела фаз [7].

При расчете двухфазного течения (жидкость – воздух) использовали гипотезу Л. Прандтля³, по которой касательное напряжение на поверхности раздела фаз определяли следующим образом:

$$\tau_e = x^2 \times h_t^2 \times \rho_{cm} \times \Delta V_0^2, \quad (1)$$

где τ_e – касательное напряжение, Па; x – первая константа турбулентности; h_t – степень заполнения, м; ρ_{cm} – плотность газожидкостной смеси, кг/м³; ΔV_0 – градиент скорости, м/с.

Определяли плотность газожидкостной смеси по следующему выражению:

$$\rho_{cm} = \varphi_g \times \rho_g + (1 - \varphi_g) \times \varphi_l, \quad (2)$$

где φ_g – объемное газосодержание; φ_l – объемное содержание жидкости; ρ_g – плотность газа, кг/м³.

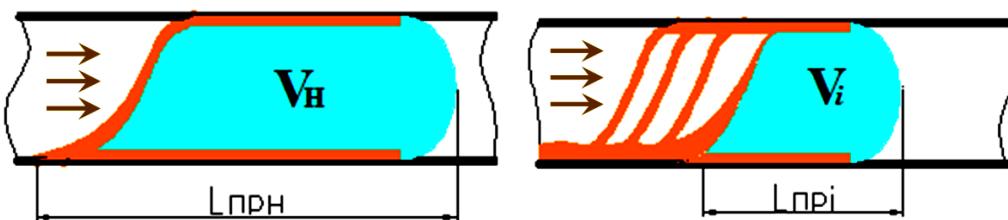


Рис. 1. Жидкостная пробка в движении: V_h – первоначальный объем, л; V_i – объем после прохождения i -й длины участка трубопровода, л; L_{pnh} – начальная длина пробки, м; L_{pni} – длина пробки после прохождения i -й длины участка трубопровода, м /

Fig. 1. Fluid plug in moving: V_h – initial volume, l; V_i – volume after passing the i length of the pipeline section, l; L_{pnh} – initial slug length, m; L_{pni} – slug length after passing the i length of the pipeline section, m

Основываясь на известных законах физики движения жидкости в трубопроводе, считаем, что необходимый объем жидкостной пробки во время промывки должен удовлетворять следующему условию, л:

$$\Delta V = V_h - V_k, V_k \geq 0; \quad (5)$$

$$\Delta V = \Delta V_{pc} + \Delta V_{kc},$$

где V_h – начальный объем; V_k – конечный объем; ΔV_{pc} – объем отставшей от пробки жидкости («потеря массы») в зоне пограничного слоя; ΔV_{kc} – объем стекающей жидкости («потеря массы») с кормовой части пробки.

Требуется задать такой первоначальный впуск объема жидкости, чтобы пробка сохранилась при движении по всему трубопроводу. На рисунке 2 приведена схема жидкостной пробки с учетом распределения скорости во время движения.

$$\varphi_g = \frac{\omega_g}{\omega}; \quad \varphi_l = \frac{\omega_l}{\omega}, \quad (3)$$

где ω – площадь сечения трубы, м; ω_g – площадь заполнения поперечного сечения трубы воздухом, м².

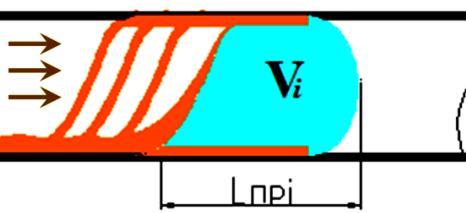
Для определения площади заполнения поперечного сечения трубы потоком жидкости использовали следующее выражение:

$$\omega_l = \pi/8 \times d^2 \times \arcsin \sqrt{4 \left(\frac{h_t}{d} \right) - 4 \left(\frac{h_t}{d} \right)^2}, \quad (4)$$

где ω_l – площадь заполнения поперечного сечения трубы потоком жидкости, м²; d – диаметр трубы, м.

Для данного выражения должно соблюдаться условие, что $\frac{h_t}{d} \leq 1$.

При определении параметров образования пробкового режима течения жидкости во время промывки необходимо также учитывать, что во время движения масса жидкостной пробки уменьшается, что обусловлено прилипанием пограничных слоев жидкости к стенке трубопровода под действием сил гравитации (рис. 1).



В расчетах были приняты допущения, что вся масса жидкости в пределах пограничного слоя будет потерянной массой пробки при движении. Чтобы оценить толщину турбулентного пограничного слоя применяют три показателя: толщина вытеснения δ_1 , толщина потери импульса δ_2 и толщина потери энергии δ_3 . Так как последние два показателя применяются при определении коэффициента сопротивления и потери энергии на трение, то использовали только толщину вытеснения по формуле Г. Шлихтинга⁴:

$$\delta_1 U = \int_{y=0}^{\infty} (U - u) dy, \quad (6)$$

$$\frac{\delta_1}{\delta} = \frac{1}{n+1},$$

где U – скорость пробки, м/с; u – средняя скорость пробки, м/с; n – показатель степени.

³Прандтль Л. Гидроаэромеханика. М.: Иностранная литература, 1949. 520 с.

⁴Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1969. 744 с.

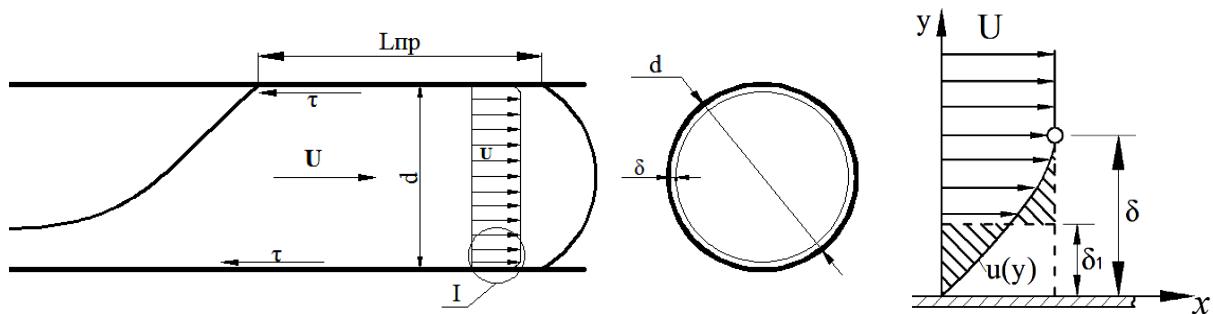


Рис. 2. Схема движения жидкостной пробки с распределением скоростей: L_{np} – длина пробки, м; U – скорость пробки, м/с; u – скорость в пограничном слое, м/с; δ – толщина пограничного слоя, мм; δ_1 – толщина вытеснения, мм /

Fig. 2. The scheme of movement of a fluid plug with a velocity distribution: L_{np} – plug length, m; U – plug speed, m/s; u – the velocity in the boundary layer, m/s; δ – boundary layer thickness, mm; δ_1 – displacement thickness, mm

Для определения касательного напряжения на стенке молокопровода использовали следующую формулу⁵:

$$\tau_e = 0,0225 \rho U^{7/4} \left(\frac{v}{R} \right)^{1/4}, \quad (7)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³; v – кинематическая вязкость жидкости, м²/с; R – радиус трубы, м.

Для определения динамической скорости во время движения жидкости применили формулу Л. Прандтля:

$$v^* = \sqrt{\frac{\tau_e}{\rho}} = \sqrt{0,0225 \cdot U^{7/4} \left(\frac{v}{R} \right)^{1/4}}. \quad (8)$$

С помощью следующего соотношения определили скорость движения в пограничном слое в зависимости от числа Re и толщины пограничного слоя:

$$\frac{v - u}{v^*} = 5,75 \lg \left(\frac{R}{h_t} \right). \quad (9)$$

При определении объема жидкости, стекающей с кормовой части во время движения пробки под действием сил гравитации, приняли следующее допущение: весь объем жидкости в кормовой части стекает по плоской поверхности без учета давления воздуха.

Из рисунка 2 видно, что при увеличении длины кормовой части жидкостной пробки по оси X возрастает толщина пограничного слоя $\delta(x)$. Использовали уравнение расчета турбулентного пограничного слоя⁶:

$$\delta(x) = 0,37x \left(\frac{w}{v} \right)^{-1/5}, \quad (10)$$

где $x = \sqrt{d^2 + (\gamma d)^2}$, а γ – величина деформации сдвига объема моющей жидкости в кормовой части пробки при движении.

Пример расчета: подставляем значение диаметра молокопровода $d = 50,8$ мм, $\gamma = 0,415$, тогда $x = 55$ мм. Скорость движения жидкостной пробки $U = 9$ м/с, кинематическая вязкость моющей жидкости $v = 3 \cdot 10^{-6}$ м²/с, число Рейнольдса $Re = 1,5 \cdot 10^5$. Из выражения (8) динамическая скорость $v^* = 0,33$. Подставляем значения в формулу (9) и определяем $u = 0,968$ м/с. Подставляя значения в формулу (10) определяем $\delta = 2,8$ мм. Значение толщины подтекающего слоя жидкости δ , позволяет определить потери жидкостной пробки при прохождении 1 м пути. Объем потери жидкости при прохождении 1 м трубы $d = 50,8$ мм составил 0,092 л (удельной длины 4,54 см).

Результаты и их обсуждение. Получены теоретические зависимости определения касательного напряжения на поверхности раздела фаз в зависимости от уклона молокопровода (рис. 3). Анализируя зависимости, заметим, что касательное напряжение на поверхности раздела фаз при $h_t/d \approx 0,2$ и $h_t/d \geq 0,6$ увеличивается, следовательно, возрастает вероятность образования пробок, а при степени заполнения трубы $0,4 \div 0,5d$, касательное напряжение на поверхности раздела фаз минимальное, что говорит о волновом режиме течения жидкости.

Зная значение диаметра и протяженность молокопровода, можно определить необходимый начальный объем жидкости, а, следовательно, и определить время открытия клапана для впуска воды в молокопровод. На рисунке 4 приведены кривые расчета времени впуска жидкости и воздуха в зависимости от диаметра и длины молокопровода.

⁵Прандтль Л. Указ. соч.

⁶Шлихтинг Г. Указ. соч.

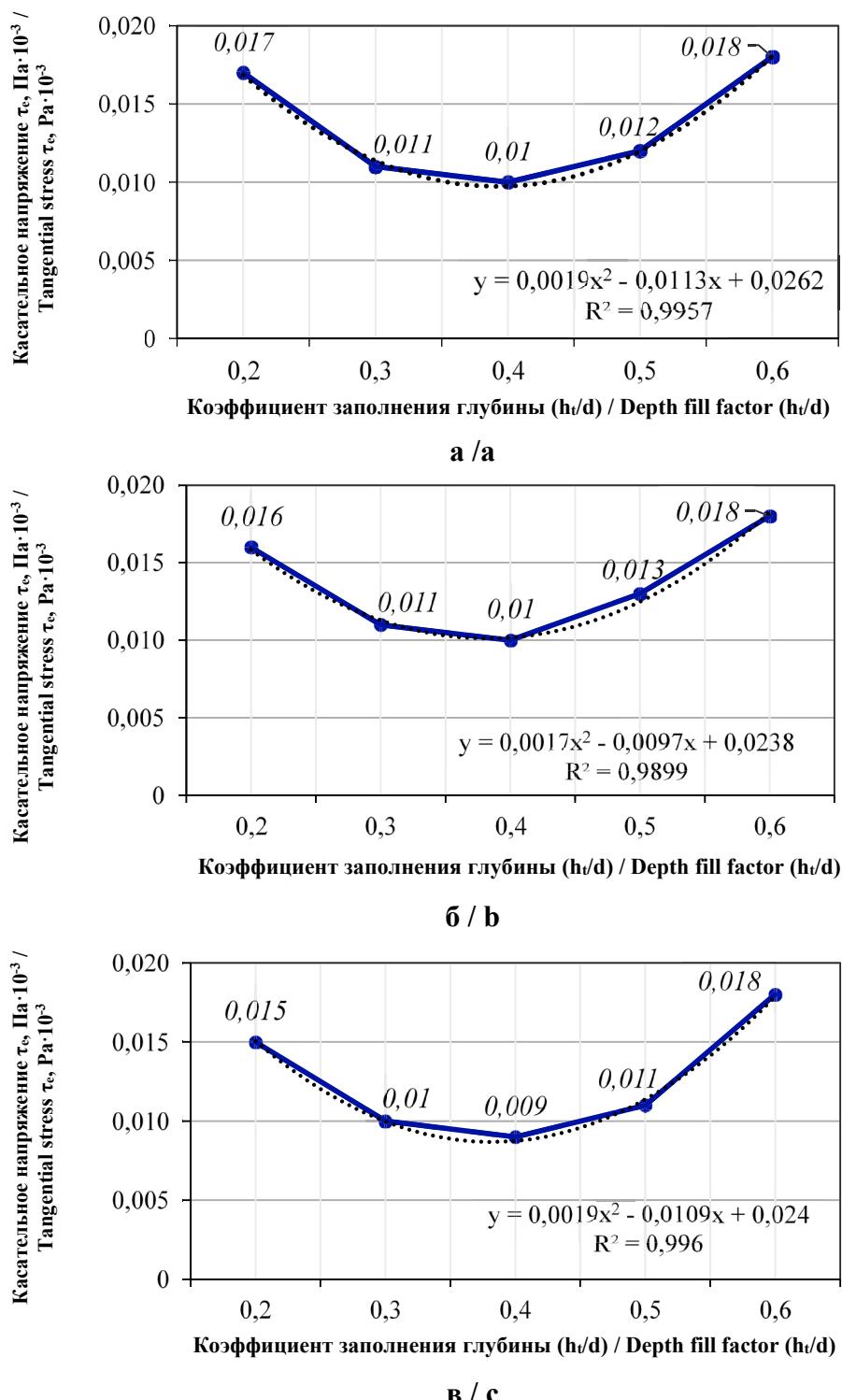


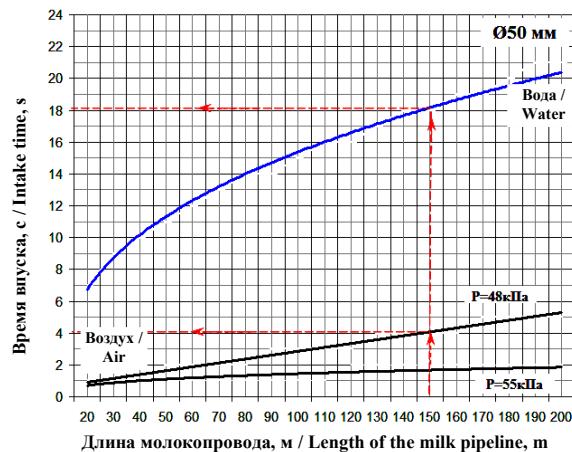
Рис. 3. Теоретическая зависимость касательного напряжения на поверхности раздела фаз на жидкость от коэффициента глубины заполнения: уклон молокопровода: а – 0,5%; б – 1,0%; в – 1,5%; д = 52 мм /

Fig. 3. Theoretical dependence of the shear stress on the milk interface upon the filling depth factor: milk pipeline slope: a – 0.5%; b – 1.0%; c – 1.5%; d = 52 mm

Анализируя зависимости рисунка 4, видно, что разные значения вакуума в системе влияют только на изменение времени впуска воздуха, а временные параметры впус-

ка воды не зависят от изменения давления в системе. Разность давления будет влиять только на скорость жидкостной пробки при движении в молокопроводе. При протяжен-

ности молокопровода более 50 метров зависимость времени впуска жидкости становится линейной, даже при изменении диаметра трубы молокопровода.



*Rис. 4. Зависимости времени впуска жидкости и воздуха от длины молокопровода /
Fig. 4. Dependence of the liquid and air intake time on the length of the milk pipeline*

Экспериментальные исследования движения жидкостной пробки в молокопроводе во время промывки проводили на стенде с про-

зрачным трубопроводом с помощью регистрации перепада вакуума пульсотестером фирмы Westfalia (рис. 5).

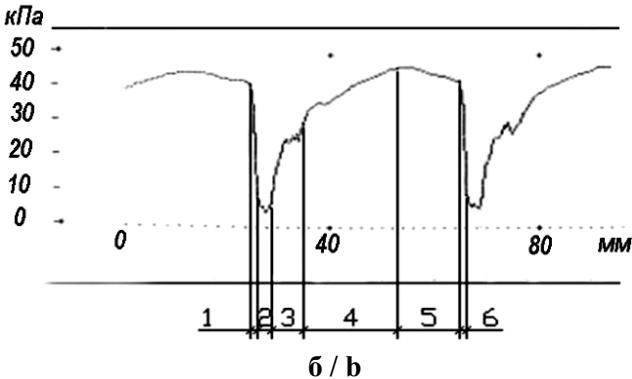
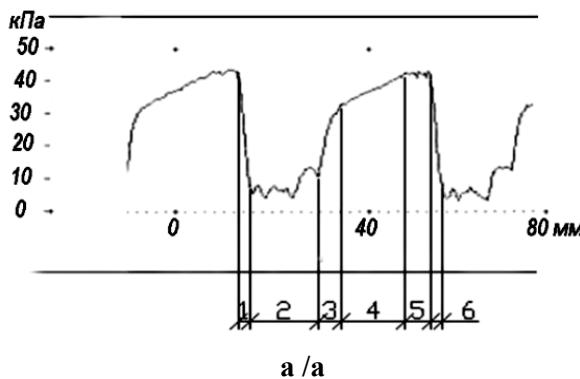


Рис. 5. График перепада давления при прохождении жидкостной и воздушной пробки: а) в начале молокопровода; б) в конце молокопровода; 1 – прохождение жидкостной пробки; 2 – интервал прохождения волнового хвоста жидкостной пробки; 3 – интервал прохождения воздушной пробки; 4 – интервал уменьшения толщины подстилающего слоя жидкости в трубопроводе; 5 – увеличение толщины подстилающего слоя жидкости в трубопроводе; 6 – прохождение жидкостной пробки /

Fig. 5. The graph of pressure drop during fluid and air slug moving: a) at the start of milk pipeline; b) at the end of milk pipeline; 1 – fluid slug moving; 2 – interval of fluid slug wave tail moving; 3 – interval of air slug moving; 4 – interval of decreasing the thickness of the underlying fluid layer in the pipeline; 5 – interval of increasing the thickness of the underlying fluid layer in the pipeline; 6 – fluid slug moving

При проведении экспериментальных исследований установили, что потеря длины жидкостной пробки для молокопровода Ø50,8 мм составляет в среднем 5 см на 1 метр пути, что подтверждает теоретические расчеты.

В настоящее время в основном на доильных установках применяются трубопроводы с внутренним диаметром 48, 63, 70 и 98 мм [5, 7], совместно с аспирантом А. В. Смирновым была написана программа для определения параметров впуска воды и воздуха в

систему во время циркуляционной промывки (рис. 6).

Для определения времени впуска жидкости сначала необходимо выбрать диаметр молокопровода, указать его длину, давление в системе, длину питательного трубопровода и диаметр всасывающей трубы. При нажатии кнопки «Расчет» в правой стороне окна появляются данные необходимого объема жидкостной пробки, время открытия и закрытия клапана впуска воды и воздуха.

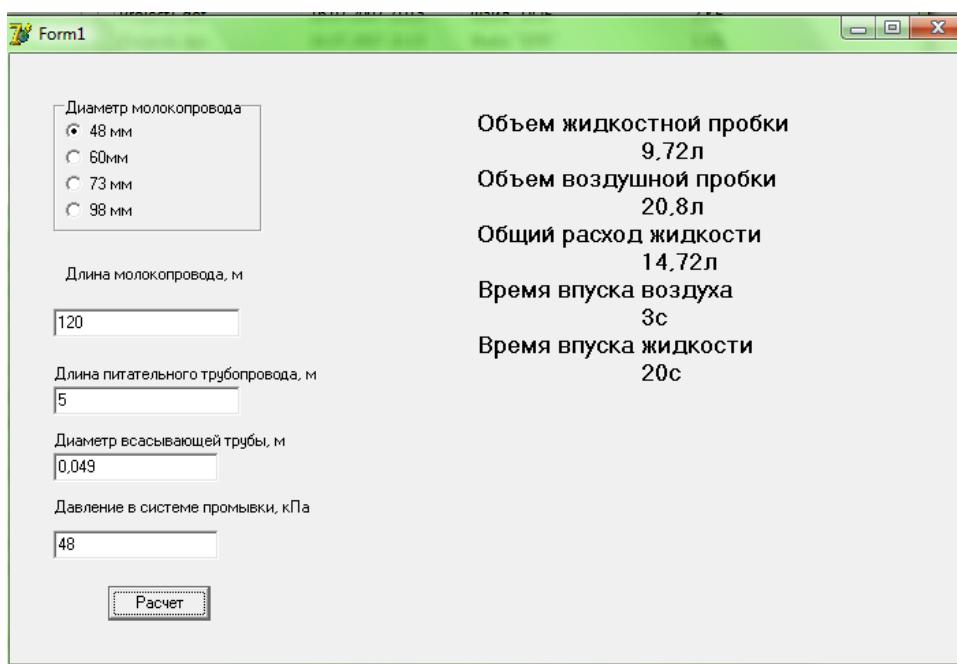


Рис. 6. Фрагмент расчета по программе для определения параметров работы клапана впуска воды и воздуха в систему во время циркуляционной промывки доильных установок /

Fig. 6. Fragment of the calculation according to the program for determining the operating parameters of the valve for the inlet of water and air into the system during circulation washing of milking installations

Выходы. На основе проведенного математического моделирования образования жидкостной пробки были построены кривые зависимости, которые позволяют в системе промывки определить время впуска воды и воздуха от длины молокопровода, уровня

вакуума и диаметра трубы молокопровода. Экспериментальные исследования подтвердили достоверность расчетов, что потеря длины жидкостной пробки для молокопровода Ø50,8 мм составляет в среднем 5 см на 1 метр пути.

Список литературы

1. Матвеев В. Ю. Меры санитарной обработки молочных линий. Вестник НГИЭИ. 2017;(3 (70)):32-40. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28862832>
2. Костюкевич С. А. Усовершенствованная технология промывки доильно-молочного оборудования. Вестник Курской сельскохозяйственной академии. 2017;(6):35-38. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30114095>
3. Руденко А. Д. Технология системы промывки современного доильного оборудования. Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам: сб. научн. тр. по результатам работы IV Международ. молодежной научн.-практ. конф. Вологда: Вологодская ГМХА им. Н. В. Верещагина, 2019. С. 295-298.
4. Кравченко В. Н., Мазаев Ю. В., Панахов Д. А. Способ дезинфекции оборудования на молочных фермах и комплексах. Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2019; (3 (35)):118-122. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposob-dezinfektsii-oborudovaniya-na-molochnyh-fermakh-i-kompleksah/viewer>
5. Reinemann D. J., Book J. Airflow requirements, design parameters and troubleshooting for cleaning milking systems. Proc. ASAE/NMC International Dairy Housing Conference, 31 January – 4 February, 1994, Orlando, Florida, USA. 16 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/238066575_AIRFLOW_REQUIREMENTS DESIGN PARAMETERS AND TROUBLESHOOTING FOR CLEANING MILKING SYSTEMS
6. Penry J. F., Leonardi S., Upton J., Thompson P. D., Reinemann D. J. Assessing liner performance using on-farm milk meters. J. Dairy Sci., 2016;99(8):6609-6618. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10310>
7. Gaworski M., Szlachta J., Luberański A., Dróżdż B., Tucki K., Krzywonos M., Wojdalski J., Kupczyk A. A Slug flow model in a long milk tube for designing a milking unit control system. Journal of Animal and Plant Sciences. 2019;29(5):1238-1246. URL:

[https://www.researchgate.net/publication/336653149_A_SLUG_FLOW_MODEL_IN_A_LONG_MILK_TUBE_F
OR DESIGNING A MILKING UNIT CONTROL SYSTEM](https://www.researchgate.net/publication/336653149_A_SLUG_FLOW_MODEL_IN_A_LONG_MILK_TUBE_FOR_DESIGNING_A_MILKING_UNIT_CONTROL_SYSTEM)

8. Murko V., Khyamyalyainen V., Baranova M. Use of ASH-and-SLAG wastes after burning of fine-dispersed coal-washing wastes. E3S Web of Conferences. 3rd International Innovative Mining Symposium. 2018;41(6):01042. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184101042>
9. Сапожников Ф. Д., Колончук В. М., Назаров Ф. И., Борисенко А. С. Автоматизированные системы промывки молокоохладительных установок. Агропромышленный комплекс: контуры будущего: мат-лы IX Международ. научн.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Курск: Курская ГСХА им. И. И. Иванова, 2018. С. 297-299. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35615859>
10. Матвеев В. Ю., Крупин А. Е. Исследование и обоснование параметров механического устройства промывки с активными рабочими органами. Труды ГОСНИТИ. 2015;120:54-58. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24345814>
11. Далалеев Э. Р., Гаязиев И. Н., Зиганшин Б. Г., Дмитриев А. В., Нафиков И. Р. Эффективная система промывки молокопровода. Сельский механизатор. 2017;(6):28-29.
12. Матвеев В. Ю., Маслов М. М., Заикин В. П., Филиппов Д. В. Структурно-логическая схема функционирования системы санитарной обработки доильных установок с молокопроводом и автоматом промывки. Аграрный научный журнал. 2020;(6):111-115. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i6pp111-115>
13. Матвеев В. Ю. Сокращение затрат на мойку молокопроводов доильных установок. Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2020;(5):41-45. DOI: <https://doi.org/10.33920/sel-10-2005-07>
14. Филонов Р. Ф., Кравченко В. Н. Интенсификация промывки доильных аппаратов с использованием гидромеханических устройств. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020;(1(81)):113-117. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42459680>
15. Иванов Б. Л., Нафиков И. Р., Лушнов М. А., Хохмут Т. Автоматизированная система промывки доильного оборудования. Научное сопровождение технологий агропромышленного комплекса: теория, практика, инновации: научн. тр. I-ой Международ. научн.-практ. конф. Казань: Казанский ГАУ, 2020. С. 258-263.
16. Демешко А. А. Обоснование оптимизации процесса промывки магистралей молокопровода. Актуальные вопросы развития производства пищевых продуктов: технологии, качество, экология, оборудование, менеджмент и маркетинг: мат-лы II Всеросс. научн.-практ. конф. Уссурийск: Приморская государственная сельскохозяйственная академия, 2018. С. 96-100.

References

1. Matveev V. Yu. *Mery sanitarnoy obrabotki molochnykh liniy*. [Measures of sanitizing of milk lines]. *Vestnik NGIEI* = Bulletin NGII. 2017;(3 (70)):32-40. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28862832>
2. Kostyukevich S. A. *Usovremenizovannaya tekhnologiya promyvki doil'no-molochnogo oborudovaniya*. [Advanced technology washing milking and dairy equipment]. *Vestnik Kurskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2017;(6):35-38. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30114095>
3. Rudenko A. D. *Tekhnologiya sistemy promyvki sovremennogo doil'nogo oborudovaniya*. [The technology of the washing system of modern milking equipment]. *Molodye issledovateli agropromyshlennogo i lesnogo kompleksov – regionam: sb. nauchn. tr. po rezul'tatam raboty IV Mezhdunarod. molodezhnoy nauchn.-prakt. konf.* [From young researchers of agro-industrial and forest complexes to the regions: collection of scientific works based on the results of the IV International Youth scientific and practical Conference]. Vologda: Vologodskaya GMKhA im. N. V. Vereshchagina, 2019. pp. 295-298.
4. Kravchenko V. N., Mazaev Yu. V., Panakhov D. A. *Sposob dezinfektsii oborudovaniya na molochnykh fermakh i kompleksakh*. [Method of disinfection of equipment on dairy farms and complexes]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva* = Journal of VNIIMZH. 2019;(3 (35)):118-122. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposob-dezinfektsii-oborudovaniya-na-molochnyh-fermah-i-kompleksah/viewer>
5. Reinemann D. J., Book J. Airflow requirements, design parameters and troubleshooting for cleaning milking systems. Proc. ASAE/NMC International Dairy Housing Conference, 31 January – 4 February, 1994, Orlando, Florida, USA. 16 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/238066575_AIRFLOW_REQUIREMENTS_DESIGN_PARAMETERS_AND_TROUBLESHOOTING_FOR_CLEANING_MILKING_SYSTEMS
6. Penry J. F., Leonardi S., Upton J., Thompson P. D., Reinemann D. J. Assessing liner performance using on-farm milk meters. *J. Dairy Sci.*, 2016;99(8):6609-6618. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10310>
7. Gaworski M., Szlachta J., Luberański A., Dróżdż B., Tucki K., Krzywonos M., Wojdalski J., Kupczyk A. A Slug flow model in a long milk tube for designing a milking unit control system. *Journal of Animal and Plant Sciences*. 2019;29(5):1238-1246. URL: [https://www.researchgate.net/publication/336653149_A_SLUG_FLOW_MODEL_IN_A_LONG_MILK_TUBE_F
OR DESIGNING A MILKING UNIT CONTROL SYSTEM](https://www.researchgate.net/publication/336653149_A_SLUG_FLOW_MODEL_IN_A_LONG_MILK_TUBE_FOR_DESIGNING_A_MILKING_UNIT_CONTROL_SYSTEM)

8. Murko V., Khyamyalyainen V., Baranova M. Use of ASH-and-SLAG wastes after burning of fine-dispersed coal-washing wastes. E3S Web of Conferences. 3rd International Innovative Mining Symposium. 2018;41(6):01042. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184101042>
9. Sapozhnikov F. D., Kolonchuk V. M., Nazarov F. I., Borisenco A. S. *Avtomatizirovannye sistemy promyvki molokoohladitel'nykh ustyanovok.* [Automated systems for washing milk-cooling plants]. *Agropromышленный комплекс: контуры будущего: мат-лы IX Mezhdunarod. nauchn.-prakt. konf. studentov, aspirantov i молодых ученых.* [Agro-industrial complex: contours of the future: Proceedings of the IXth International scientific and practical Conference of students, postgraduates and young scientists]. Kursk: *Kurskaya GSKhA im. I. I. Ivanova*, 2018. pp. 297-299. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35615859>
10. Matveev V. Yu., Krupin A. E. *Issledovanie i obosnovanie parametrov mekhanicheskogo ustroystva promyvki s aktivnymi rabochimi organami.* [Research and validation of the parameters of a mechanical device washing with active working bodies]. *Trudy GOSNITI.* 2015;120:54-58. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24345814>
11. Dalaleev E. R., Gayaziev I. N., Ziganshin B. G., Dmitriev A. V., Nafikov I. R. *Effektivnaya sistema promyvki molokoprovoda.* [Efficient milk line flushing system]. *Sel'skiy mekhanizator.* 2017;(6):28-29. (In Russ.).
12. Matveev V. Yu., Maslov M. M., Zaikin V. P., Filippov D. V. *Strukturno-logicheskaya skhema funktsionirovaniya sistemy sanitarnoy obrabotki doil'nykh ustyanovok s molokoprovodom i avtomatom promyvki.* [Structural-logical scheme of sanitary processing of milking machines with milk pipeline and washing machine]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal.* 2020;(6):111-115. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i6pp111-115>
13. Matveev V. Yu. *Sokrashchenie zatrata na moyku molokoprovodov doil'nykh ustyanovok.* [Reduced cleaning costs]. *Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont.* 2020;(5):41-45. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33920/sel-10-2005-07>
14. Filonov R. F., Kravchenko V. N. *Intensifikatsiya promyvki doil'nykh apparatov s ispol'zovaniem gidromekhanicheskikh ustroystv.* [Intensification of milking machines washing out using hydraulic and mechanical devices]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University.* 2020;(1(81)):113-117. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42459680>
15. Ivanov B. L., Nafikov I. R., Lushnov M. A., Khokhmut T. *Avtomatizirovannaya sistema promyvki doil'nogo oborudovaniya.* [Automated milking equipment washing system]. *Nauchnoe soprovozhdenie tekhnologiy agropromyshlennogo kompleksa: teoriya, praktika, innovatsii: nauchn. tr. I-oy Mezhdunarod. nauchn.-prakt. konf.* [Scientific support of technologies of the agro-industrial complex: theory, practice, innovations: scientific works of the 1st International scientific and practical Conference] Kazan': *Kazanskiy GAU*, 2020. pp. 258-263.
16. Demeshko A. A. *Obosnovanie optimizatsii protessa promyvki magistraley molokoprovoda.* [Justification of optimization of the process of flushing the milk pipeline lines]. *Aktual'nye voprosy razvitiya proizvodstva pishchevykh produktov: tekhnologii, kachestvo, ekologiya, oborudovanie, menedzhment i marketing: mat-ly II Vse-ross. nauchn.-prakt. konf.* [Actual issues of food production development: technologies, quality, ecology, equipment, management and marketing: Proceedings of the 2nd All-Russian scientific and practical Conference]. Ussuriysk: *Primorskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya*, 2018. pp. 96-100.

Сведения об авторе

✉ **Мамедова Равза Анвяровна**, кандидат техн. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: yim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9145-4478>, e-mail: rozamamedova@mail.ru

Information about author

✉ **Ravza A. Mamedova**, PhD in Engineering, senior researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Agroengineering Center VIM», 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: yim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9145-4478>, e-mail: rozamamedova@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author