

УДК 637.115:62.555

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2019.49.206-212>**В. М. Пришляк**, доц., канд. техн. наук, **І. А. Бабин**, асистент*Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, Україна  
e-mail: viktor.prishlyak@i.ua*

## Результати досліджень фотодатчика визначення забрудненості молокопровідної лінії

Процес промивання молочно-доїльного обладнання є однією з найважливіших технологічних операцій, від ефективності виконання якої залежить рівень первинної забрудненості молока. Якість роботи систем промивок важко оцінити і контролювати без застосування відповідних датчиків і пристроїв оцінки забрудненості молокопровідної лінії. Метою досліджень є розробка обладнання для автоматичного визначення забрудненості молокопровідної лінії під час виконання технологічної операції промивки молокопровідних систем. В результаті досліджень встановлено доцільність використання розробленого обладнання для автоматичного визначення забрудненості молокопровідної лінії під час виконання технологічної операції промивки молокопровідних систем. Також встановлено залежність товщини шару молока, що рухається в скляній трубі, від опору фоторезистора, на який потрапляє світло, що частково поглинається шаром молока.

**доїльна установка, система промивки, миючий розчин, фотодатчик, забрудненість, молокопровідна лінія**

**В.М. Пришляк**, доц., канд. техн. наук, **І.А. Бабин**, асистент*Вінницький національний аграрний університет, г. Вінниця, Україна,*

## **Результаты исследований фотодатчика определение загрязненности молокопроводной линии**

Процесс промывки молочно-доильного оборудования является одной из важнейших технологических операций, от эффективности выполнения которой зависит уровень первичной загрязненности молока. Качество работы систем промывок трудно оценить и контролировать без применения соответствующих датчиков и устройств оценки загрязненности молокопроводной линии. Целью исследований является разработка оборудования для автоматического определения загрязненности молокопроводной линии во время выполнения технологической операции промывки молокопроводных систем. В результате исследований установлено целесообразность использования разработанного оборудования для автоматического определения загрязненности молокопроводной линии во время выполнения технологической операции промывки молокопроводных систем. Также установлена зависимость толщины слоя молока, движущегося в стеклянной трубе, от сопротивления фоторезистора, на который попадает свет, частично поглощаемый слоем молока.

**доильная установка, система промывки, моющий раствор, фотодатчик, загрязненность, молокопроводная линия**

**Постановка проблеми.** Санітарно-гігієнічний якість виробленого молока – комплексна проблема, яка визначається низкою факторів, які об'єднуються поняттям «технологія і культура виробництва». У сучасних умовах виробництва молока вирішальне значення на його якісні показники надає санітарний стан доїльного обладнання [1]. В процесі експлуатації доїльних установок на внутрішніх поверхнях їх трубопроводів утворюються різноманітні за складом, властивостями, товщині, міцності зчеплення з поверхнею, що очищується, відкладення, наявність яких призводить до забруднення молока, в результаті чого відбувається зниження його сортності та ціни за реалізацію[2]. Основна частка мікробної і механічних забруднень молока при

дотриманні всіх необхідних умов утримання тваринницьких приміщень формується за рахунок недостатньо промитого доїльно-молочного обладнання [3]. Тому процес промивання його є однією з найважливіших технологічних операцій, від ефективності виконання якої залежить рівень первинної забрудненості молока.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Якість роботи систем промивок важко оцінити і контролювати без застосування відповідних датчиків і пристроїв оцінки забрудненості молокопровідної лінії. Так Полій А.П. [4] запропонував для оперативного та достовірного оцінювання якості здійснення технологічних операцій очищення молокопровідних систем використовувати пристрій для визначення якості промивання молокопровідної лінії. Недоліком даного пристрою є те, що оцінити якість промивки можна лише після її закінчення. Також не досить зручним є постійна участь оператора машинного доїння для оцінки якості промивання молокопровідної лінії.

**Постановка завдання.** В заявку з вищезазначеним необхідно розробити обладнання для автоматичного визначення забрудненості молокопровідної лінії під час виконання технологічної операції промивки молокопровідних систем.

**Матеріали і методи досліджень.** Дослідження проводилися на обладнанні, до складу якого входить розроблений фотодатчик визначення забрудненості молокопровідної лінії (далі фотодатчик), схема якого представлена на рисунку 1, а загальний вигляд на рисунку 2. Обладнання складалося з персонального комп'ютера, до якого підключено безпосередньо фотодатчик на основі пристрою Arduino Uno ATmega328, який виконує керування світлодіода LED 1Вт 100 Лм через підлаштовний резистор 5кОм. До аналогового входу пристрою Arduino Uno ATmega328 підключено відомий резистор 10 кОм, 0,1 %, який з'єднується із заземленням (GND) і фоторезистор GM20539, який з'єднується із напругою 5 В. Фоторезистор закріплений внизу скляної труби, яка розміщена під кутом  $\beta$  до горизонту, а навпроти нього встановлений світлодіод. Кут нахилу скляної труби контролювався цифровим кутоміром. Скляна труба повністю ізолювана від зовнішнього освітлення чорним непрозорим матеріалом.

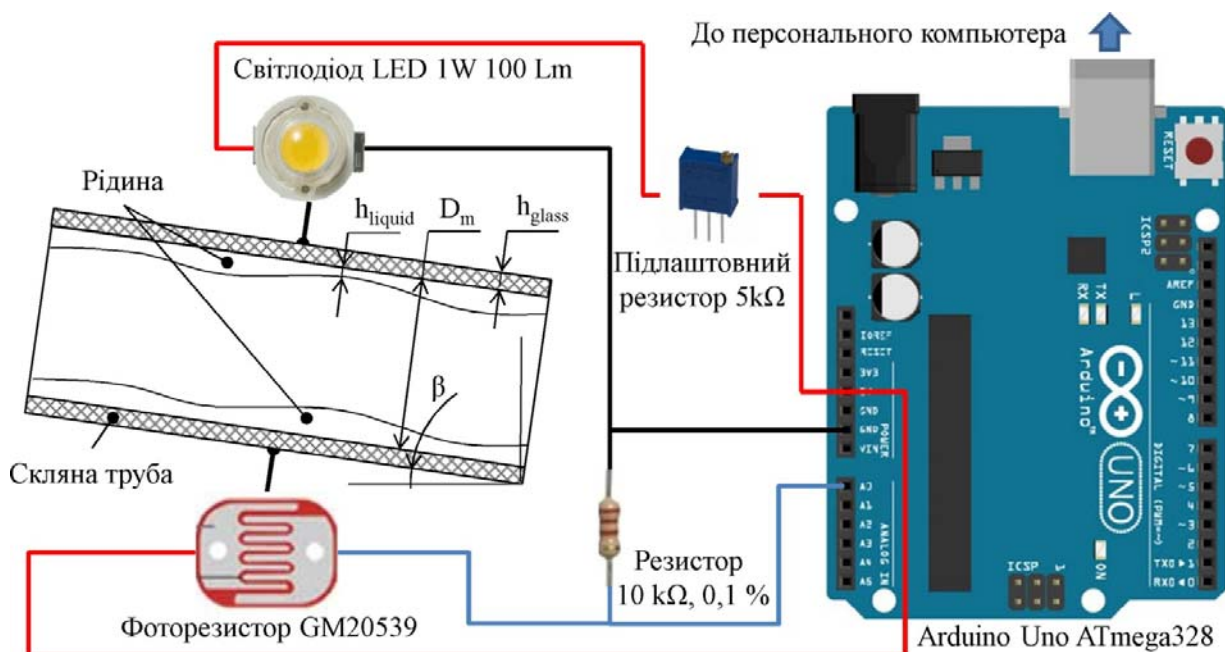


Рисунок 1 – Схема фотодатчика для визначення залежності інтенсивності світла, що поглинається молоком від товщини його шару

Джерело: розроблено автором

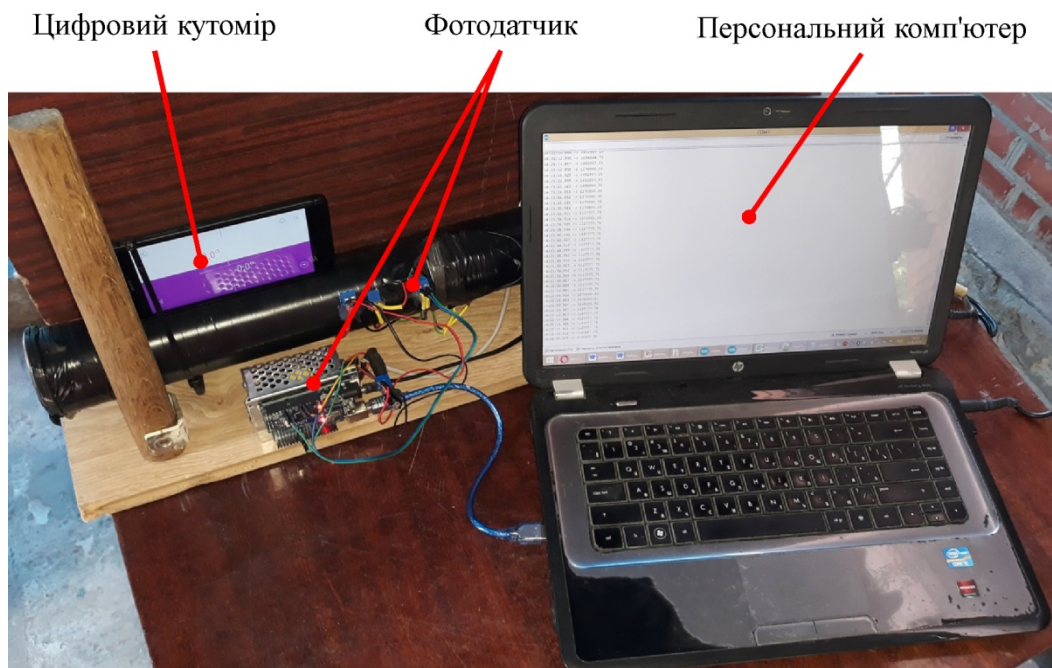


Рисунок 2 – Загальний вигляд обладнання для визначення залежності інтенсивності світла, що поглинається молоком від товщини його шару

Джерело: розроблено автором

Обладнання працює наступним чином. Скляна труба заповнюється середовищем (повітря, молоко, миючий розчин). Далі вмикається світлодіод, світло від якого проходить крізь стінки скляної труби і середовище і потрапляє на фоторезистор. При цьому опір фоторезистора змінюється і визначається з використанням пристрою ArduinoUno ATmega328. Отримані дані через кожні 2 с передаються на персональний комп'ютер.

Перед початком опису процесу дослідження встановимо деякі залежності.

Розглянемо як заповнюється горизонтальна скляна труба рідиною заданого об'єму (рис. 3, а). Згідно [5] об'єм рідини складає:

$$V = L \left( R_m^2 \text{Arc cos} \left( 1 - \frac{h}{R_m} \right) - (R_m - h) \sqrt{2R_m h - h^2} \right), \quad (1)$$

де  $L$  – довжина скляної труби,  $L = 0,2$  м;

$R_m$  – внутрішній радіус скляної труби,  $R_m = 0,025$  м;

$h$  – товщина шару рідини в скляній трубці, м.

Вирішуючи рівняння (1) в програмному пакеті Mathematica відносно  $h$  отримуємо відповідну залежність, яка представлена на рисунку 3, б.

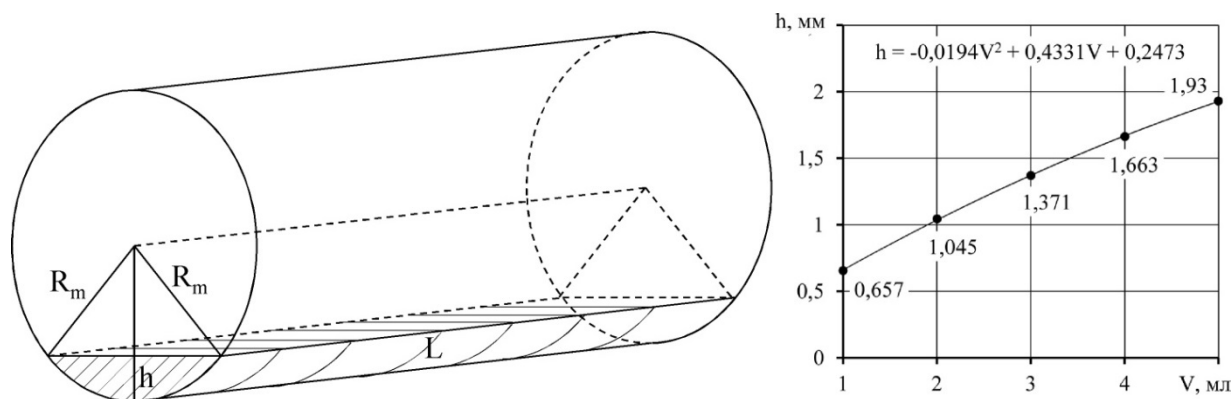


Рисунок 3 – Схема заповнення горизонтальної труба рідиною заданого об'єму (а)  
і залежність товщини шару рідини від її об'єму (б)

Джерело: розроблено автором

Відомо, що залежність ослаблення інтенсивності світла при поширенні його в поглинаючих середовищах підпорядковується закону Бугера-Ламберта-Бера [6]. В нашому випадку їх три: скло, повітря і рідина (молоко або миючий розчин). Відповідно маємо

$$I(h) = I_0 \exp(-k_\lambda h), \quad (2)$$

де  $I(h)$  – інтенсивність світла, що пройшло шар середовища товщиною  $h$ ;

$I_0$  – інтенсивність світла на вході в речовину;

$k_\lambda$  – показник поглинання світла середовищем [7].

У разі проходження світла крізь скляну труба, яка заповнена повітрям інтенсивність світла  $I_1$  можна записати у вигляді:

$$I_1 = I_0 \exp(-2k_{\lambda, \text{glass}} h_{\text{glass}} - k_{\lambda, \text{air}} D_m). \quad (3)$$

Якщо на стінках спостерігається адгезія молока, то інтенсивність світла  $I_2$  буде представлено у вигляді:

$$I_2 = I_0 \exp(-2k_{\lambda, \text{glass}} h_{\text{glass}} - k_{\lambda, \text{air}} (D_m - h_{\text{milk}}) - k_{\lambda, \text{milk}} h_{\text{milk}}), \quad \text{або} \quad (4)$$

$$I_2 = I_1 \exp(k_{\lambda, \text{air}} h_{\text{milk}} - k_{\lambda, \text{milk}} h_{\text{milk}}).$$

Приймаючи показник поглинання світла повітрям  $k_{\lambda, \text{air}} = 10^{-3} \rightarrow 0$ , маємо рівняння (4) у вигляді

$$I_2 = I_1 \exp(-k_{\lambda, \text{milk}} h_{\text{milk}}). \quad (5)$$

Так як фоторезистор обернено пропорційно змінює свій опір  $R$  в залежності від інтенсивності падаючого світла  $I$ , то перепишемо рівняння (5) у вигляді

$$R_2 = R_1 \exp(k_{\lambda, \text{milk}} h_{\text{milk}}), \quad \text{або} \quad h_{\text{milk}} = \frac{1}{k_{\lambda, \text{milk}}} \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right). \quad (6)$$

Процесу дослідження проводився в два етапи.

Перший етап починається із встановлення скляної трубки за допомогою цифрового кутоміра горизонтально. Далі за допомогою підлаштовного резистора на фотодатчику і персонального комп'ютера досягаємо такої інтенсивності світла, яке розповсюджується від світлодіода, щоб фоторезистор мав одне із значень опору 10кОм, 15кОм, 20кОм, 25 кОм, 30 кОм і 35 кОм. Цей опір відповідає інтенсивності світла  $I_1$  для випадку проходження світла крізь скляну труба, яка заповнена повітрям. Далі скляна труба заповнюється певним об'ємом молока: 1 мл, 2 мл, 3 мл, 4 мл, 5 мл. Для рівномірного розтікання по всій довжині трубки експозиція складає 15 хв. Після цього з

використанням персонального комп'ютера і фотодатчика вимірюється значення опору фоторезистора, на яке потрапило світло, що частково поглинулося молоком. В результаті необхідно встановити залежність товщини шару молока від опору фоторезистора.

Другий етап починається із встановлення скляної трубки за допомогою цифрового кутоміра на оди з кутів  $2,5^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $7,5^\circ$ ,  $10^\circ$ . Далі за допомогою підлаштовного резистора на фотодатчику і персонального комп'ютера досягаємо такої інтенсивності світла, яке розповсюджується від світлодіода, щоб опір фоторезистора складав 10кОм. Цей опір відповідає інтенсивності світла  $I_1$  для випадку проходження світла крізь скляну труба, яка заповнена повітрям. Далі найвищий край скляної труби заповнюється 5 мл молока. Після цього запускається процес вимірювання опору фоторезистора і фіксація отриманих даних. В результаті необхідно встановити динаміку опору фоторезистора і відповідного значення товщини шару молока в процесі його стікання по скляній трубці.

**Результати досліджень.** В результаті першого етапу отримані дані, які зведені в таблицю 1.

Таблиця 1 – Зведені дані першого етапу досліджень

$V, \text{мл}$	$h, \text{мм}$	$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$\ln(R_2/R_1)$	$V, \text{мл}$	$h, \text{мм}$	$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$\ln(R_2/R_1)$
1	0,657	10000	11547	0,1438	1	0,657	25000	28839	0,1428
2	1,045		13774	0,3202	2	1,045		34619	0,3255
3	1,371		15976	0,4685	3	1,371		40747	0,4885
4	1,663		18543	0,6175	4	1,663		45789	0,6052
5	1,93		21476	0,7644	5	1,93		54175	0,7734
1	0,657	15000	18257	0,1965	1	0,657	30000	34664	0,1445
2	1,045		21468	0,3585	2	1,045		41116	0,3152
3	1,371		25235	0,5202	3	1,371		47057	0,4502
4	1,663		28824	0,6532	4	1,663		56244	0,6285
5	1,93		33585	0,8060	5	1,93		63893	0,7560
1	0,657	20000	21916	0,0915	1	0,657	35000	36429	0,1942
2	1,045		26503	0,2815	2	1,045		42851	0,3565
3	1,371		30293	0,4152	3	1,371		50301	0,5168
4	1,663		35834	0,5832	4	1,663		57591	0,6522
5	1,93		41172	0,7220	5	1,93		67013	0,8037

Джерело: розроблено автором

Графічна інтерпретація таблиці 1 представлена на рисунку 4. Коефіцієнт кореляції отриманих даних з рівнянням (6) складає 0,9896. Враховуючи це можна стверджувати о правильності вибору методу оцінки товщини шару молока, що залишається на стінка молокопровідної лінії. При цьому показник поглинання світла обраного молока складає  $494,1 \text{ м}^{-1}$ .

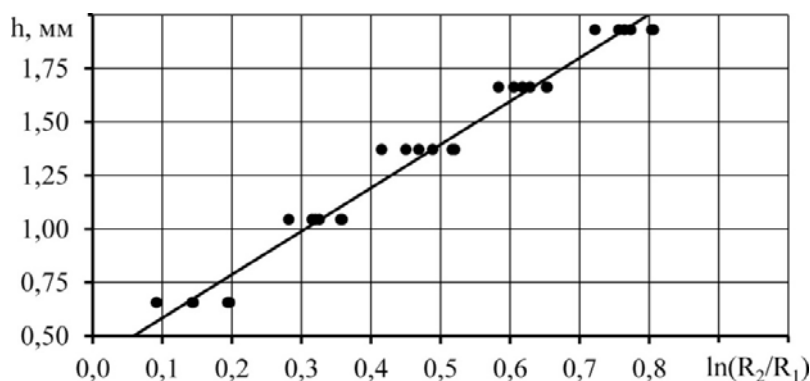


Рисунок 4 – Залежність товщини шару молока від опору фоторезистора

Джерело: розроблено автором

В результаті другого етапу отримані дані, які наведені на рисунку 5, який відображає динаміку логарифма відношення опорів фоторезистора, що пропорційно значенню товщини шару молока, в процесі його стікання по скляній трубці.

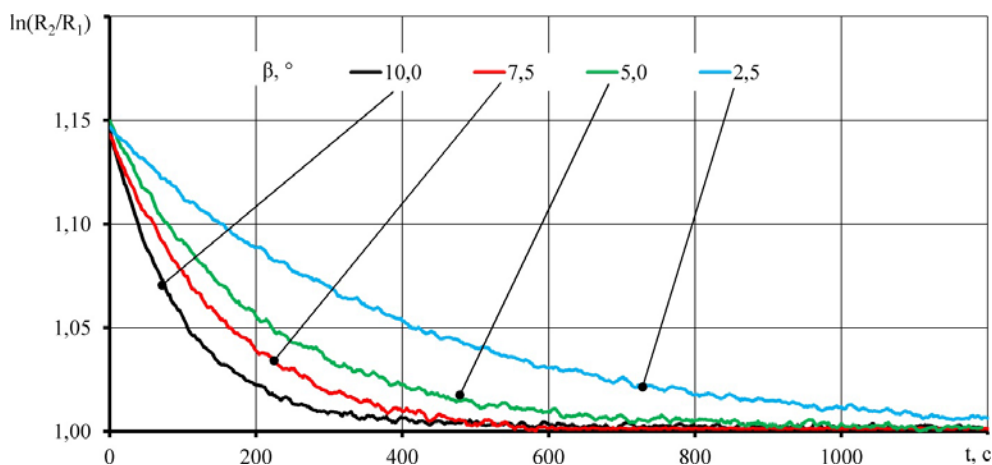


Рисунок 5 – Динаміка логарифма відношення опорів фоторезистора, що пропорційно значенню товщини шару молока, в процесі його стікання по скляній трубці

Джерело: розроблено автором

**Висновки.** В результаті проведених досліджень встановлено доцільність використання розробленого обладнання для автоматичного визначення забрудненості молокопровідної лінії під час виконання технологічної операції промивки молокопровідних систем. Також встановлено залежність товщини шару молока, що рухається в скляній трубці, від опору фоторезистора, на який потопляє світло, що частково поглинається шаром молока.

## Список літератури

1. Жмырко, А. М. Обоснование параметров и режимов работы системы мойки молокопровода доильных установок для доения коров в стойлах: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. М.: РГБ. 2005. 162 с.
2. Алієв, Е. Б. (2012). Підвищення ефективності експлуатації вакуумної системи молочно-доїльного обладнання: Дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11. 177 с.
3. Фененко, А. І. (2008). Механізація доїння корів. Теорія і практика: Монографія. К. 198 с.
4. Палій, А. П. (2018). Обґрунтування, розробка та ефективність застосування інноваційних технологій і технічних рішень у молочному скотарстві. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук. Миколаїв. 60 с.

5. Корн, Г., Корн, Т. (1970). Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука. 720 с.
6. Гагарин, А. П. (1988). Бугера-Ламберта-Бера закон. Физическая энциклопедия: [в 5 т.] / Гл. ред. А. М. Прохоров. М.: Советская энциклопедия. Т. 1: Ааронова. – Бома эффект Длинные линии. С. 232-233.
7. Сивухин, Д. В. (2005). Поглощение света и уширение спектральных линий // Общий курс физики, § 89. – М., 2005. Т. IV. Оптика. С. 582-583.

## References

1. Zhmyrko, A.M. (2005). Obosnovaniye parametrov i rezhimov raboty sistemy moyki molokoprovoda doil'nykh ustanovok dlya doeniya korov v stoylakh [Substantiation of the parameters and modes of operation of the milking system for milking milking plants for milking cows in stalls]. *Dis. ... Cand. tech. Sciences: 05.20.01.M.: RGB*, 162 [in Russian].
2. Aliyev, E.B. (2012). Pidvyshchennya efektyvnosti ekspluatatsiyi vakuumnoyi systemy molochno-doyil'noho obladnannya [Improving the efficiency of the vacuum system of milking and milking equipment]. *Dis. ... Cand. tech. Sciences: 05.05.11.*, 177 [in Ukrainian].
3. Fenenko, A. I. (2008). Mekhanizatsiya doyinnya koriv. Teoriya i praktyka [Mechanization of milking cows. Theory and Practice]. *Monograph. K.* 198 [in Ukrainian].
4. Pali, A.P. (2018). Obgruntuvannya, rozrobka ta efektyvnist' zastosuvannya innovatsiynykh tekhnolohiy i tekhnichnykh rishen' u molochnomu skotarstvi [Substantiation, development and efficiency of application of innovative technologies and technical solutions in dairy cattle]. *Abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Agricultural Sciences. Mykolayiv.* 60 [in Ukrainian].
5. Korn, G., Korn, T. (1970). Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov [Handbook of Mathematics for Scientists and Engineers]. М.: Science, 720 [in Russian].
6. Gagarin, A.P. (1988). Bugera-Lamberta-Bera zakon [Bouguereau-Lambert-Beera law]. *Physical Encyclopedia: [in 5 volumes] / Chap. ed. AM Prokhorov. M.: Soviet Encyclopedia. Volume 1: Aaron. - Boom effect Long lines*, 232-233 [in Russian].
7. Sivukhin, D.V. (2005). Pogloshcheniyeveta i ushireniyespektral'nykhliniy [Absorption of light and broadening of spectral lines] // *General course of physics. § 89. M., 2005.V. IV. Optics.* 582-583 [in Russian].

**Viktor Pryshliak**, Assoc. Prof., **PhD tech. sci**, **Igor Babyn**, Assist.  
Vinnitsia National Agricultural University, Vinnitsia, Ukraine

### Results of the Photosensor Visibility of the Milk Production Line

The aim of the research is to develop equipment for the automatic determination of contamination of the milk line during the technological operation of washing milk systems, which will provide the necessary quality of produced milk that meets sanitary and hygienic requirements.

The provision of a high-quality technological process for the production of milk at livestock enterprises largely depends on the washing of milk-milking equipment. Thus, washing is one of the most important technological operations and the level of primary contamination of milk depends on the effectiveness of the washing. The quality of the operation of washing systems is difficult to evaluate and monitor without the use of appropriate sensors and devices for assessing the contamination of the milk line. The studies were carried out on equipment, which includes the developed photosensor for determining the contamination of the milk line. Laboratory equipment operates as follows. The glass tube is filled with medium (air, milk, washing solution). Next, the LED turns on, the light from which passes through the walls of the glass pipe and the medium, and then falls on the photoresistor. In this case, the resistance of the photoresistor is changed and determined using the ArduinoUno ATmega328 device. The received data is transmitted to a personal computer every 2 seconds.

As a result of the studies, the expediency of using the developed equipment for the automatic determination of the contamination of the milk line during the technological operation of washing the milk line systems was established. The dependence of the thickness of the layer of milk moving in the glass tube on the resistance of the photoresistor, which receives light partially absorbed by the layer of milk, has also been established.

**milking unit, washing system, washing solution, photosensor, contamination, milk line**

Одержано (Received) 10.09.2019

Прорецензовано (Reviewed) 16.10.2019  
Прийнято до друку (Approved) 23.12.2019