

DOI: 10.31319/2519-8106.2(53)2025.342278**UDC 629.33:628.33**

Averyanov Volodymyr, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of automobiles and transport and logistics systems

Авер'янов В.С., кандидат технічних наук, доцент, кафедра автомобілів та транспортно-логістичних систем

ORCID: 0000-0001-6594-3964

e-mail: averyanov@ukr.net

Starostenko Viktor, undergraduate student, Department of automobiles and transport and logistics systems

Старостенко В.А., здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти, кафедра автомобілів та транспортно-логістичних систем

e-mail: starostenko@ukr.net

Dniprovsky State Technical University, Kamianske

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

METHODOLOGY FOR CALCULATING TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF CHAMBERLESS FILTERED DEVICES

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ БЕЗКАМЕРНИХ ФІЛЬТРУВАНИХ ПРИСТРОЇВ

This paper develops and presents a methodology for calculating the technological parameters of chamberless filter devices used to purify wastewater from mechanical impurities and lubricants. This methodology allows you to calculate the parameters of filter units before their use, knowing the total volume and degree of liquid contamination, select effective operating conditions for the equipment, and select the necessary filter material.

Keywords: filtration, calculation method, equipment, technological modes, chamberless cleaning.

Потужним джерелом забруднення навколишнього середовища в містах є автотранспорт, кількість якого за останні 10...12 років в Україні різко зросла, в основному, за рахунок насичення міст легковими автомобілями та мікроавтобусами. Автомобілі не тільки забруднюють повітряне середовище та створюють шум, але й негативно впливають на гідросферу та ґрунти. Збільшення кількості автомобільних мийок в межах міста сприяє збільшенню кількості скидається стічної води. Обсяги відпрацьованих водних технологічних середовищ, що використовуються для миття автотранспортної техніки, агрегатів та деталей автомобілів у процесі їх ремонту, перевищує 10 млн. м³ на рік. Після миття легкового автомобіля у середньому утворюється 150—200 л забрудненої води, але в автотранспортних підприємствах під час експлуатації одного вантажного автомобіля утворюється 700—1200 л забрудненої води на добу. Вона містить 800—3000 мг/л механічних домішок, 50—900 мг/л нафтопродуктів. Для її обробки з метою видалення шкідливих речовин автомобільні мийки оснащуються очисними системами, що є комплексом спеціального обладнання, призначеного для запобігання надходженню забрудненої рідини в навколишнє середовище. Однак необхідної якості очищення стічної води, що скидається в гідросферу, що відповідає вимогам нормативних документів, вдається досягти тільки шляхом значних фінансових витрат, які кожен суб'єкт господарювання намагається зменшити.

В Україні накопичено багатий досвід створення водоочисних установок. Очищення відпрацьованої технологічної води від механічних домішок на таких установках здійснюється в дві або три стадії. Наявність у своєму складі різних пісковловлювачів і відстійників значно ускладнює їх технологічну схему. Тому створення безперервно діючих простих за конструкцією очисних установок є актуальною проблемою.

У роботі розроблена та наведена методика для розрахунку технологічних параметрів безкамерних фільтрованих пристроїв, які використовуються для очищення стічних вод від механічних домішок та мастильних матеріалів. Дана методика дозволяє розрахувати параметри фільтрувальних установок перед їхнім використанням, знаючі загальний обсяг та ступінь забруднення рідини, підібрати ефективні умови роботи обладнання та вибрати необхідний фільтрувальний матеріал.

Ключові слова: *фільтрування, методика розрахунку, обладнання, технологічні режими, безкамерне очищення.*

Problem's Formulation

A powerful source of environmental pollution in cities is motor transport, the amount of which has increased dramatically over the past 10...12 years in Ukraine, mainly due to the saturation of cities with passenger cars and minibuses. Cars not only pollute the air environment and create noise, but also negatively affect the hydrosphere and soils. An increase in the number of car washes in the city limits contributes to an increase in the amount of discharged wastewater. The volume of spent water technological media, which is used for washing motor vehicles, units and car parts during their repair, exceeds 10 million m³ per hour. After washing a car, an average of 150—200 liters of contaminated water is produced, and at motor transport enterprises, when operating one truck, 700—1200 liters of contaminated water are produced per day. It contains 800—3000 mg/l of mechanical impurities, 50—900 mg/l of petroleum products [1]. For its processing with the purpose of removing harmful substances, car washes are equipped with cleaning systems, which are a complex of special equipment designed to prevent the entry of contaminated liquid into the environment [2]. However, the required quality of waste water treatment, discharged into the hydrosphere, which meets the requirements of regulatory documents, can be achieved only through significant financial costs, which each economic entity tries to reduce.

Analysis of recent research and publications

In paper [3], the author describes the methodology and algorithm for calculating filters and installations for filtering liquids. In the presented methodology, the author does not take into account the degree of contamination of wastewater and the type of contamination, which leads to a difficult choice of filter material.

In the paper [4—5], the authors reveal the issues of calculating membrane filters and liquid purification devices. These filters and filtering units have increased overall dimensions and a complex internal structure, which complicates their calculation algorithm and the possibility of modernization.

In studies [6], the authors consider the process of wastewater treatment in horizontal settling tanks. The process of wastewater treatment in such installations takes a long time and requires constant cleaning of the installations themselves after their operation. Therefore, this technology is outdated and needs improvement.

Formulation of the study purpose

In Ukraine, in order to ensure environmental safety during the location, design and construction of new ones, as well as the reconstruction of existing enterprises, constructions and other objects related to the use of water technological media, state, public and second environmental expertise is carried out in the order determined by legislation [7]. The requirements for the content of harmful substances in wastewater, which are governed by state control bodies, environmental services and SES, are quite strict.

Ukraine has accumulated rich experience in creating water treatment plants. Purification of processed technological water from mechanical impurities at such installations is carried out in two or three stages. The presence of various sand traps and clarifiers in their composition significantly complicates their technological scheme. Therefore, the creation of continuously operating simple cleaning plants is an urgent problem.

Presenting main material

Aqueous technological media must be cleaned of mechanical impurities before reuse or discharge into the environment. For this purpose, it is advisable to use filter installations with new layout schemes. The performance of chamberless filter installations must ensure the performance of the centralized system of operation of these water technological environments [8].

If a chamberless filter unit is used as a device for purifying liquids from mechanical impurities, then the calculation of its parameters is performed in the following sequence depending on the initial parameters of the liquids being purified: viscosity μ and density ρ of the liquid, and the input concentration of contaminants c_I .

Algorithm for determining the main parameters of chamberless filter units (Fig. 1):

1) Select the nozzle diameter, m:

$$d_c = (15 \dots 25) \cdot 10^{-3}. \quad (1)$$

2) Select the total liquid flow rate Q_T , m³/s, in the nozzle group of the filter unit and the ratio of the total and tangential liquid flow rates Q_t/Q_T :

$$\begin{aligned} Q_T &= (0,5 \dots 1,2) \cdot 10^{-3}; \\ \frac{Q_t}{Q_T} &= 0,12 \dots 0,5. \end{aligned} \quad (2)$$

3) Determine the angle α_c , deg., of the liquid jet opening using the formula:

$$\begin{aligned} \alpha_c = 36 + 73,96 \cdot \left(\frac{Q_t}{Q_T} \right)^2 - 2110 \cdot d_c - 102,85 \cdot \frac{Q_t}{Q_T} + 5410 \cdot \frac{Q_t}{Q_T} \cdot d_c - \\ - Q_T \left(20 \cdot Q_T - 97,9 + 175 \cdot \frac{Q_t}{Q_T} + 2700 \cdot d_c - 9020 \cdot \frac{Q_t}{Q_T} \cdot d_c \right). \end{aligned} \quad (3)$$

4) Determine the distance L from the nozzle to the plane of the filter partition, m:

$$\begin{aligned} L \cdot 10^{-3} = 957 - 1078 \cdot Q_T - 20600 \cdot d_c - 1582 \cdot \frac{Q_t}{Q_T} - 28,3 \cdot \alpha_c + 44697 \cdot Q_T \cdot d_c + \\ + 2262 \cdot Q_T \cdot \frac{Q_t}{Q_T} + 39,7 \cdot Q_T \cdot \alpha_c + 35505 \cdot d_c \cdot \frac{Q_t}{Q_T} + 600 \cdot d_c \cdot \alpha_c + 50,6 \cdot \frac{Q_t}{Q_T} \cdot \alpha_c - \\ - 107607 \cdot Q_T \cdot d_c \cdot \frac{Q_t}{Q_T} - 1632 \cdot Q_T \cdot d_c \cdot \alpha_c - 80,6 \cdot Q_T \cdot \frac{Q_t}{Q_T} \cdot \alpha_c - \\ - 1131 \cdot d_c \cdot \frac{Q_t}{Q_T} \cdot \alpha_c + 3800 \cdot Q_T \cdot d_c \cdot \frac{Q_t}{Q_T} \cdot \alpha_c. \end{aligned} \quad (4)$$

5) Determine the speed v_I of liquid movement in front of the filter partition, m/s:

$$v_I = \frac{\int_0^{L \cdot \operatorname{tg}(\alpha_c/2) + d_c} -9 \cdot 10^{-7} x^4 + 0,0001 x^3 - 0,0086 x^2 + 0,2158 x dx}{L \cdot \operatorname{tg}(\alpha_c/2) + d_c}. \quad (5)$$

6) Select the filter material and parameters:

S_o, S_y — the number of threads per 10 mm of the filter partition length, respectively, for the warp and weft; d_o, d_y — the diameters of the warp and weft threads, mm.

7) Select the angle of inclination of the filter partition in the horizontal plane:

$$\alpha = 0^\circ - 90^\circ. \quad (6)$$

8) Determine the flow rate of purified liquid from the filter unit with one nozzle in the nozzle group, m³/s:

$$Q_{cl} = \frac{\left(\rho \cdot v_I^2 + \frac{G \cdot \cos \alpha}{S_1} \right) \cdot \left(1 - \frac{S_2 - S_{2z}}{S_1} \right) \cdot (S_2 - S_{2z}) \cdot 1000}{\frac{\rho \cdot S_1 \cdot v_I^2 + G \cdot \cos \alpha}{Q_T} \cdot \left(1 - \frac{S_2 - S_{2z}}{S_1} \right) + S_o \cdot S_y \cdot \left(\frac{10}{S_o} - d_o \right)^2 \cdot \left(\frac{10}{S_y} - d_y \right)^2 \cdot \mu \cdot v_I \cdot c_I \cdot \tau \cdot 10^{-2}}, \quad (7)$$

$$\text{where } G = \left[\left(L \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha_c}{2} \right) \right)^2 + \left(\frac{d_c}{2} \right)^2 + L \cdot \frac{d_c}{2} \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha_c}{2} \right) \right] \cdot \frac{\pi \cdot L \cdot \rho}{3}, \text{ kg};$$

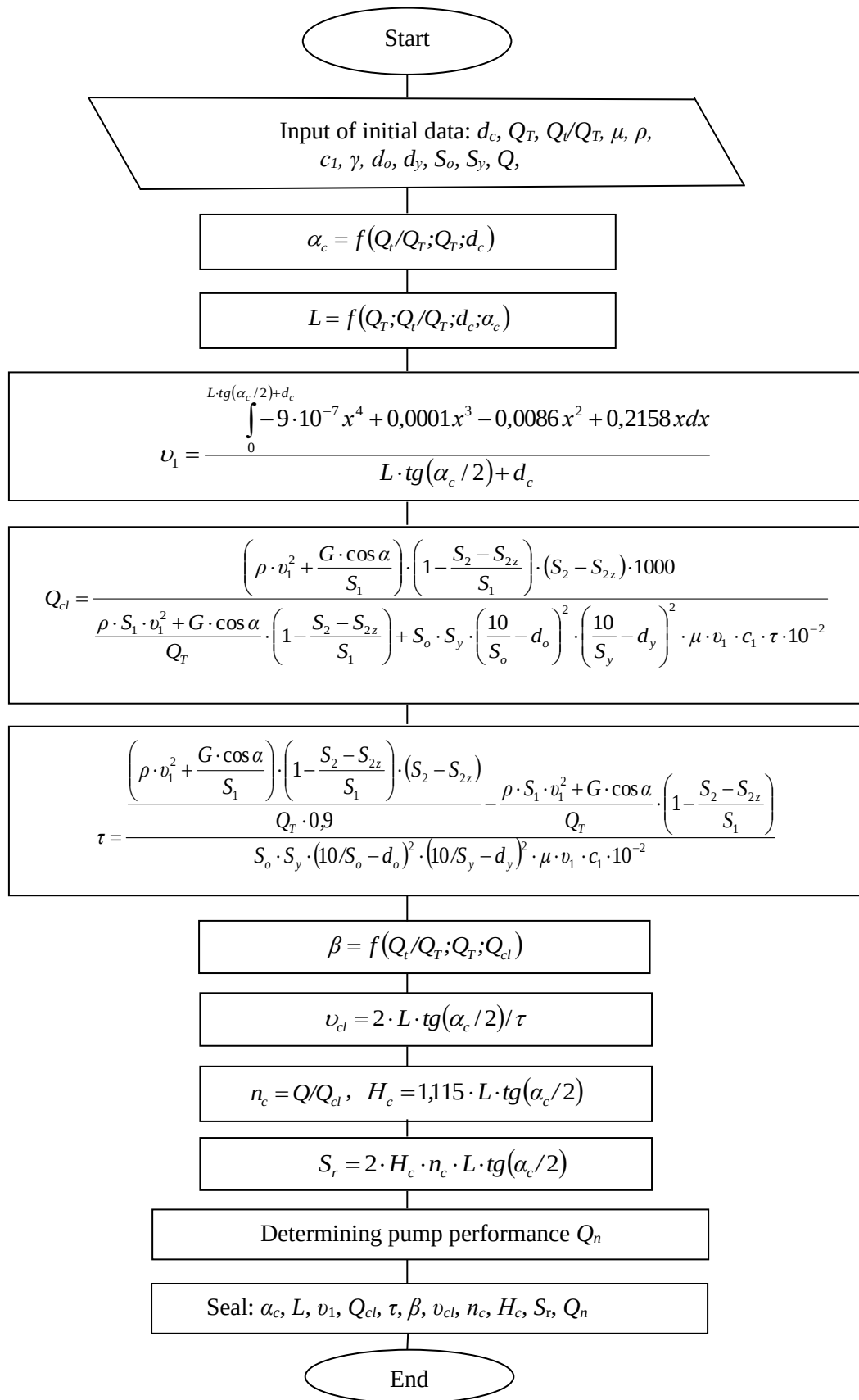


Fig. 1. Algorithm for calculating chamberless filter units

$$S_1 = \pi \cdot \left(L \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha_c}{2} \right) \right)^2, \text{ m}^2;$$

$$S_2 = \frac{S_1 \cdot (10 - S_o \cdot d_o) \cdot (10 - S_y \cdot d_y)}{100}, \text{ m}^2;$$

$$S_{2z} = \frac{S_o \cdot S_y \cdot \left(\frac{10}{S_o} - d_o \right)^2 \cdot \left(\frac{10}{S_y} - d_y \right)^2}{100} \cdot c_1 \cdot v_1 \cdot S_1 \cdot \tau, \text{ m}^2.$$

9) Determine the angle of rotation of the nozzle β in the horizontal plane:

$$\beta = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \quad (8)$$

where $a = -0,001$;

$$b = 0,02 \cdot Q_T - 0,02 + 0,03 \cdot \frac{Q_t}{Q_T} - 0,01 \cdot Q_T \cdot \frac{Q_t}{Q_T} + 0,07 \cdot \left(\frac{Q_t}{Q_T} \right)^2;$$

$$c = 0,065 + 3,37 \cdot Q_T - 0,24 \cdot \frac{Q_t}{Q_T} + 0,27 \cdot Q_T \cdot \frac{Q_t}{Q_T} - Q_{cl}.$$

10) Determine the operating time of the filter partition until the pores of the filter material are completely blocked, s:

$$\tau = \frac{\left(\rho \cdot v_1^2 + \frac{G \cdot \cos \alpha}{S_1} \right) \cdot \left(1 - \frac{S_2 - S_{2z}}{S_1} \right) \cdot (S_2 - S_{2z})}{Q_T \cdot 0,9} - \frac{\rho \cdot S_1 \cdot v_1^2 + G \cdot \cos \alpha}{Q_T} \cdot \left(1 - \frac{S_2 - S_{2z}}{S_1} \right).$$

$$S_o \cdot S_y \cdot \left(\frac{10}{S_o} - d_o \right)^2 \cdot \left(\frac{10}{S_y} - d_y \right)^2 \cdot \mu \cdot v_1 \cdot c_1 \cdot 10^{-2} \quad (9)$$

11) Determine the speed of movement of the filter cloth, m/s:

$$v_{cl} = \frac{2 \cdot L \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha_c}{2} \right)}{\tau}. \quad (10)$$

12) Determine the number of nozzles in the nozzle group of the filter unit:

$$n_c = \frac{Q}{Q_{cl}}. \quad (11)$$

13) Determine the distance between the axes of the nozzles in the nozzle group, m:

$$H_c = 1,115 \cdot L \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha_c}{2} \right). \quad (12)$$

14) Determine the working area of the filter partition, m²:

$$S_r = 2 \cdot H_c \cdot n_c \cdot L \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha_c}{2} \right). \quad (13)$$

15) Determine the required pump capacity for a given time τ of continuous operation of a filter partition with an area S_1 .

Conclusions

The use of chamberless filtration for cleaning aqueous media from mechanical impurities when washing cars, their units and parts ensures high productivity with a purification degree of 95—98 % and a purification fineness of 10—30 microns, which allows their reuse in the conditions of water circulation systems of transport enterprises.

References

- [1] Sereda B., Cherneta O., Sasov O., Shmatko D., Averyanov V. (2023). *Innovative aspects of the development of road transport in Ukraine [Innovatsiini aspekti rozvitku avtomobilnogo transportu Ukraïni]*. Kam'yanske: DSTU [in Ukrainian].
- [2] Cherneta O., Sereda B., Kubich V. (2023). *Fundamentals of technological production and repair of automobiles. Textbook [Osnovi tekhnologichnogo virobnitstva ta remontu avtomobiliv]*. Kam'yanske: DSTU [in Ukrainian].
- [3] Merentso N., Balashov V. (2019). Modeling and Calculation of Flow Filter. *Conference Series Earth and Environmental Science*. Vol. 224. 189–196.
- [4] Yixuan S., Pejman S., Lou K. (2020). Modeling and design optimization for pleated membrane filters. *Physical review fluids*. Vol. 5. 135–150.
- [5] Hoslett J., Massara T., (2018). Surface water filtration using granular media and membranes. *Sci. Total Environ.* № 639. 68–77.
- [6] Kozachyna V., Shynkarenko V. (2019). Water Cleaning Modeling in a Horizontal Settler. *Science and Transport Progress*, Vol. 5(83), 36–42 [in Ukrainian].
- [7] Averyanov V., Shmatko D., Sasov O., Cherneta O. (2020). Mathematical modeling of the wastewater treatment process using paper filter materials [Matematichne modelyuvannya protsesu ochishchennya stichnikh vod pri vikoristanni papеровikh filtruvalnikh materialiv]. *Mathematical modeling: Scientific journal*. Kam'yanske: DSTU. Vol. 1(42). P. 85–92. [in Ukrainian].
- [8] Averyanov V., Svystun A. (2024) Development and research of a technological scheme for chamberless filtering water technological environments. *Mathematical modeling: Scientific journal*. Kam'yanske: DSTU. Vol. 2(51). P. 125–132. [in Ukrainian].

Список використаної літератури

- 1. Середя Б.П., Чернета О.Г., Сасов О.О., Шматко Д.З., Авер'янов В.С. Інноваційні аспекти розвитку автомобільного транспорту України. Кам'янське: ДДТУ, 2023. 293 с.
- 2. Чернета О.Г., Середя Б.П., Кубіч В.І. Основи технологічного виробництва та ремонту автомобілів. Навчальний посібник Кам'янське: ДДТУ, 2023. 163 с.
- 3. Merentso N., Balashov V. Modeling and Calculation of Flow Filter. *Conference Series Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 224. P. 189–196.
- 4. Yixuan S., Pejman S., Lou K. Modeling and design optimization for pleated membrane filters. *Physical review fluids*. 2020. Vol. 5. P. 135–150.
- 5. Hoslett J., Massara T. Surface water filtration using granular media and membranes. *Sci. Total Environ.* 2018. № 639. P. 68–77.
- 6. Kozachyna V., Shynkarenko V. Water Cleaning Modeling in a Horizontal Settler. *Транспорт: наука та прогрес*. 2019. № 5(83), С. 36–42.
- 7. Авер'янов В.С., Шматко Д.З., Сасов О.О., Чернета О.Г. Математичне моделювання процесу очищення стічних вод при використанні паперових фільтрувальних матеріалів. *Математичне моделювання: Науковий журнал*. Кам'янське: ДДТУ, 2020. №1(42). С. 85–92.
- 8. Averyanov V., Svystun A. Development and research of a technological scheme for chamberless filtering water technological environments. *Математичне моделювання: Науковий журнал*. Кам'янське: ДДТУ, 2024. №2 (51). С. 125–132.

Надійшла до редколегії 08.10.2025

Прийнята після рецензування 15.10.2025

Опублікована 23.10.2025