

Научная статья

УДК 637.1

DOI: 10.55196/2411-3492-2026-2-52-71-78

## Теоретические аспекты влияния режимов транспортирования молока в поточных линиях на процесс дестабилизации жировой фазы

Рамазан Курбанович Алиев<sup>✉1</sup>, Таймураз Асланбекович Уртаев<sup>2</sup>,  
Камиль Рамазанович Алиев<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Горский государственный аграрный университет, улица Кирова, 37, Владикавказ, Россия, 362040

<sup>2</sup>Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), улица Николаева, 44, Владикавказ, Россия, 362021

<sup>✉1</sup>aliev-ramazan1@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-3904-5451>

<sup>2</sup>tamu\_1984@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-9586-0862>

<sup>3</sup>kamilsnipe@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-6331-6887>

**Аннотация.** При транспортировании и первичной обработке в молочных линиях доильных установок молоко подвергается сильным гидромеханическим воздействиям с образованием пены. Уровень воздействия на дисперсный состав молочного жира зависит от многих факторов, в частности от режима движения потока молока, конфигурации и состояния поверхности коммуникаций, продолжительности транспортирования. При этом характерен неустановившийся режим движения потока молока с большими мгновенными значениями скоростей и ускорений, свидетельствующий о турбулентном характере течения. Необходимо отметить при этом большую насыщенность молока воздушными пузырьками, которые, в свою очередь, способствуют дестабилизации жировой фазы молока, образованию масляных конгломератов. Процесс образования масляных конгломератов хорошо объясняется физико-химической (флотационной) теорией маслообразования. Степень гидромеханического воздействия на жировую фазу молока в зависимости от скорости и продолжительности транспортирования может быть объяснён с позиции гидродинамической теории маслообразования Кука – Асейкина, в основу которой положена решающая роль сепарируемого эффекта микровихрей, образующихся в турбулентном потоке молока. При движении молока меняется его температура, вязкость и плотность, от которых зависит эффективность сепарирующего воздействия вихря и влияние шероховатости на отрыв потока и образование микроциклонов. Результаты исследования показали, что суммарный сепарирующий эффект вихрей будет повышаться с повышением времени транспортирования молока, так как длительность действия сепарирующего эффекта, как и время существования вихрей, прямо пропорциональна времени транспортирования. При транспортировке молока со скоростью 2,0 м/с дестабилизация жировых частиц статистически достоверно происходит при продолжительности транспортировки более 15 с и достигает 20% при продолжительности транспортировки 60 с.

**Ключевые слова:** флотация, теория маслообразования, ламинарные и турбулентные течения, скорость, ускорение, пограничный слой, температура, кинематическая и динамическая вязкость, плотность, гидравлическое сопротивление

**Для цитирования:** Алиев Р. К., Уртаев Т. А., Алиев К. Р. Теоретические аспекты влияния режимов транспортирования молока в поточных линиях на процесс дестабилизации жировой фазы // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2026. № 2(52). С. 71–78. DOI: 10.55196/2411-3492-2026-2-52-71-78

Original article

## Theoretical aspects of the influence of milk transportation modes in flow lines on the process of fat phase destabilization

Ramazan K. Aliev<sup>✉1</sup>, Taimuraz A. Urtaev<sup>2</sup>, Kamil R. Aliyev<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Gorsky State Agrarian University, 37 Kirov Street, Vladikavkaz, Russia, 362040

<sup>3</sup>North Caucasus Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), 44 Nikolaev Street, Vladikavkaz, Russia, 362021

<sup>✉1</sup>aliev-ramazan1@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-3904-5451>

<sup>2</sup>tamu\_1984@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-9586-0862>

<sup>3</sup>kamilsnipe@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-6331-6887>

**Abstract.** During transportation and initial processing in milking lines, milk is subjected to strong hydromechanical forces, resulting in foam formation. The degree of impact on the particle size distribution of milk fat depends on many factors, including the milk flow pattern, the configuration and surface condition of the lines, and the duration of transportation. Milk flow is typically unsteady, with high instantaneous velocities and accelerations, indicating turbulent flow. It is also important to note the high saturation of milk with air bubbles, which in turn contribute to the destabilization of the milk's fat phase and the formation of oil agglomerates. The formation of oil agglomerates is well explained by the physicochemical (flotation) theory of oil formation. The degree of hydromechanical impact on the fat phase of milk, depending on the speed and duration of transportation, can be explained by the Cook-Aseikin hydrodynamic theory of butter formation, which is based on the crucial role of the separating effect of microvortices formed in the turbulent flow of milk. As milk moves, its temperature, viscosity, and density change, which determine the effectiveness of the vortex's separating action and the influence of roughness on flow separation and microcyclone formation. The study's results showed that the overall separating effect of vortices increases with increasing milk transportation time, since the duration of the separating effect, like the lifetime of the vortices, is directly proportional to the transportation time. When transporting milk at a speed of 2.0 m/s, destabilization of fat particles statistically significantly occurs with a transportation time of more than 15 seconds and reaches 20% with a transportation time of 60 seconds.

**Keywords:** flotation, oil formation theory, laminar and turbulent flows, velocity, acceleration, boundary layer, temperature, kinematic and dynamic viscosity, density, hydraulic resistance

**For citation:** Aliyev R.K., Urtayev T.A., Aliyev K.R. Theoretical aspects of the influence of milk transportation modes in flow lines on the process of fat phase destabilization. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov.* 2026;2(52):71–78. (In Russ.). DOI: 10.55196/2411-3492-2026-2-52-71-78

**Введение.** Молоко в процессе его транспортирования и первичной обработки подвергается сильным гидромеханическим воздействиям. Уровень воздействия на дисперсный состав молочного жира зависит от многих факторов, в частности от режима движения потока молока, конфигурации и состояния поверхности коммуникаций, продолжительности транспортирования.

При этом характерен неустановившийся режим движения потока молока с большими мгновенными значениями скоростей и ускорений, свидетельствующий о турбулентном характере течения. Необходимо отметить при этом большую насыщенность молока воздушными пузырьками.

В процессе транспортировки молоко-воздушная смесь подвергается механическим ударам с образованием пены. В результате происходит дестабилизация жировой фазы молока, что проявляется образованием масляных конгломератов. Таким образом, режимы течения молока в звеньях поточной технологической молочной линии транспортирования и охлаждения молока в доильных установках при транспортировании его по прифермскому транспортному молокопроводу оказывают существенное влияние на жировую фазу молока.

**Цель исследования** – определение степени влияния гидромеханических факторов на

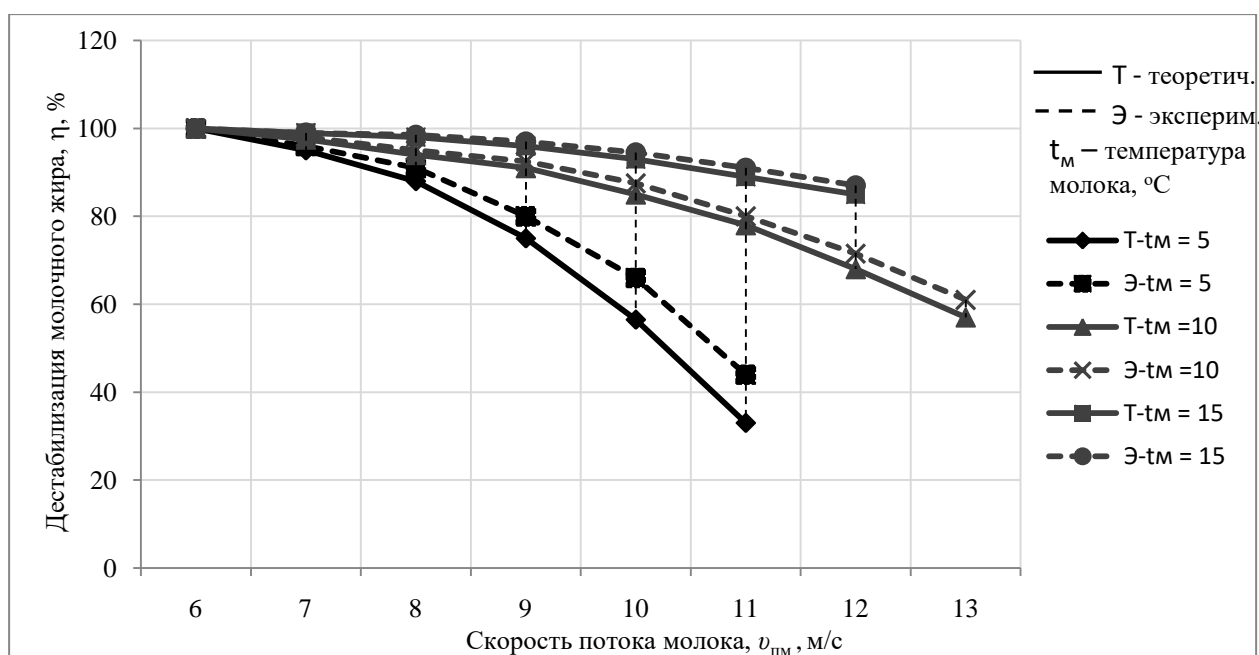
жировую фазу молока при его транспортировании и первичной обработке на прифермских молочных линиях.

**Материалы, методы и объекты исследования.** Процесс образования масляных конгломератов хорошо объясняется физико-химической (флотационной) теорией маслообразования, предложенной в работе [1, 2], и применительно к молочным линиям доильных установок (до молокоприемника) подробно рассмотрен в работах [3–5].

При движении молока через звенья молочной линии, а также через повороты и стыки

транспортного молокопровода образуются турбулентные течения со значительными скоростями и ускорениями, при которых на жировые шарики молока оказывают влияние такие гидромеханические факторы, как усилия сдвига и центробежные силы.

Исследование влияния гидромеханических факторов на жировую фазу молока при различных скоростях, температурах и времени эвакуации изображено на рисунке 1, где содержание жира  $\eta=100\%$  соответствует исходному сырому молоку, полученному при ручном доении.



**Рисунок 1.** Характеристики влияния гидромеханических факторов на жировую фазу молока при разных скоростях эвакуации и его температуры

**Figure 1.** Characteristics of the influence of hydromechanical factors on the fat phase of milk at different evacuation rates and its temperature

Установлено, что процесс образования конгломератов начинается в турбулентной области при скорости транспортирования 6 м/с и зависит от времени воздействия.

Степень гидромеханического воздействия на жировую фазу молока в зависимости от скорости и продолжительности транспортирования может быть объяснен с позиции гидродинамической теории маслообразования Кука – Асейкина [6], в основу которой положена решающая роль сепарируемого эффекта

микро-вихрей, образующихся в турбулентном потоке молока.

Таким образом, жировые шарики молока захватываются вихрями и двигаются к их оси, попадая в условия, способствующие их столкновению и сцеплению. Очевидно, помимо поступательного движения к оси жировые шарики совершают и относительное движение в слоях, расположенных на разном расстоянии от оси вихря. При этом жировые шарики совершают вращательное движение, обусловли-

вая повышенный разрушительный эффект на оболочку жировых шариков.

При рассмотрении процесса осаждения жировой частицы можно предположить, что вихри (циклоны) отрываются от пограничного слоя потока молока. На основании данных, представленных в работах [3, 6, 7, 9], время перемещения жировой частицы с эквивалентным радиусом  $r_3$  в центр вихря и время образования масляного конгломерата рассчитываем из выражения:

$$\tau_{oc} = \frac{9\mu}{2\Delta\rho r_3^2 \left(\frac{\zeta v_{nm}}{16\nu}\right)^2}, \quad (1)$$

где

$v_{nm}$  – скорость молока на границе потока, м/с;

$\nu$  – кинематическая сила внутреннего трения (вязкость), м<sup>2</sup>/с;

$\mu$  – динамическая сила внутреннего трения (вязкость), кг/м·с;

$r_3$  – эквивалентный радиус жировой частицы, м;

$\Delta\rho$  – разность плотностей плазмы и жира молока, кг/м<sup>3</sup>;

$\zeta$  – гидравлический коэффициент трения.

Из выражения (1) видно, что увеличение скорости потока приводит к уменьшению времени осаждения  $\tau_{oc}$ , что, в свою очередь, вызывает увеличение размеров жировых шариков.

Исследования показывают, что суммарный сепарирующий эффект вихрей будет повышаться с повышением времени транспортирования молока, так как длительность действия сепарирующего эффекта, как и время существования вихрей, прямо пропорциональна времени транспортирования  $\tau_{mp}$ . [7]. Время существования сепарирующего эффекта  $\tau_{cs}$  с учетом результатов, полученных авторами [2, 7], находим из выражения:

$$\tau_{cs} \approx k_{cs} \tau_{mp}, \quad (2)$$

где

$k_{cs}$  – коэффициент пропорциональности, учитывающий частоту появления и время существования вихрей.

Исследования показывают, что время осаждения для частиц разных размерных классов

будет различно [4, 7]. Поэтому за заданное время транспортирования одни частицы успеют переместиться к центру вихря, а другие нет. С увеличением времени транспортирования число размерных классов, подвергнувшихся сепарации, будет повышаться, и суммарный объем жира, перешедшего в масляный конгломерат, можно найти из выражения:

$$V_{жс} = \sum_{i=1}^m \left| k_{cs} \cdot \tau_{mp} - \tau_{oci} \right|^{-1} (k_{cs} \cdot \tau_{mp} - \tau_{oci} + |k_{cs} \cdot \tau_{mp} - \tau_{oci}|) n_i r_i^2 V_i, \quad (3)$$

где

$V_i$  – объем жаровой частицы, м<sup>3</sup>;

$r$  – радиус жировой частицы, м;

$n$  – количество жировых частиц.

Выражение

$$\frac{(k_{cs} \cdot \tau_{mp} - \tau_{oci} + |k_{cs} \cdot \tau_{mp} - \tau_{oci}|)}{|k_{cs} \cdot \tau_{mp} - \tau_{oci}|} \quad (4)$$

является коэффициентом, определяющим соотношение между продолжительностью транспортирования и временем, которое необходимо для осаждения жировой частицы  $\tau_{oc}$ . При определении значения  $k_{cs}$  необходимо предварительно определить из выражения (1) время  $\tau_{oc}$ , за которое жировая частица с эквивалентным радиусом  $r_3$  переместится к центру вихря, но предварительно необходимо определить коэффициент гидравлического трения  $\zeta$ , а потом скорость молока  $v_{nm}$  на границе потока у стенки молокопровода. Коэффициент гидравлического трения при турбулентном режиме находим из выражения Блазиуса [9, 10]:

$$\zeta = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{\frac{v_m d}{\nu}}}, \quad (5)$$

где

$v_m$  – скорость молока на границе потока, м/с;

$d$  – диаметр молокопровода, м.

Скорость молока на границе потока определяем из выражения [7]:

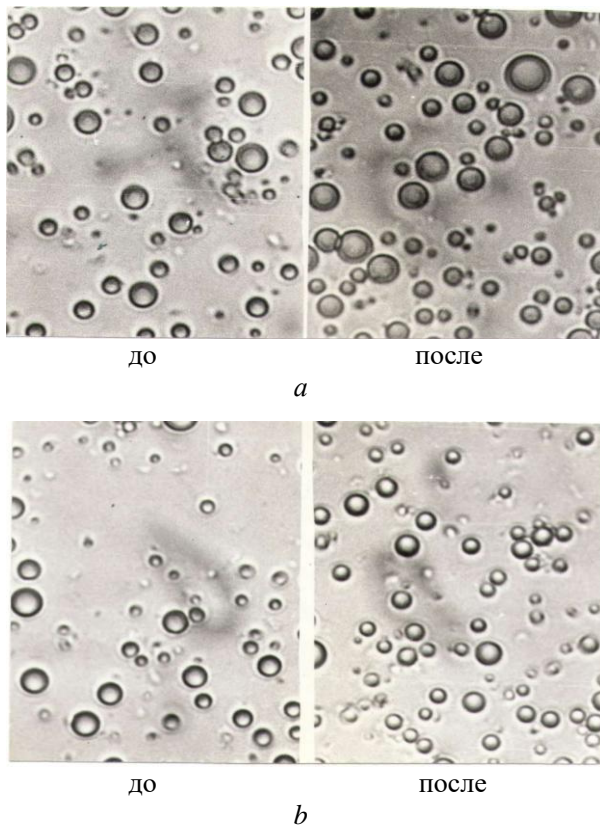
$$v_{mn} = 3,9 v_m \sqrt{\xi}. \quad (6)$$

Таким образом, решая выражение (3) относительно  $k_{сз}$  и учитывая, что  $k_{сз}$  может иметь только значение  $k_{сз} \geq 0$ , получим:

$$k_{сз} = \tau_{ос} / \tau_{тр}. \quad (7)$$

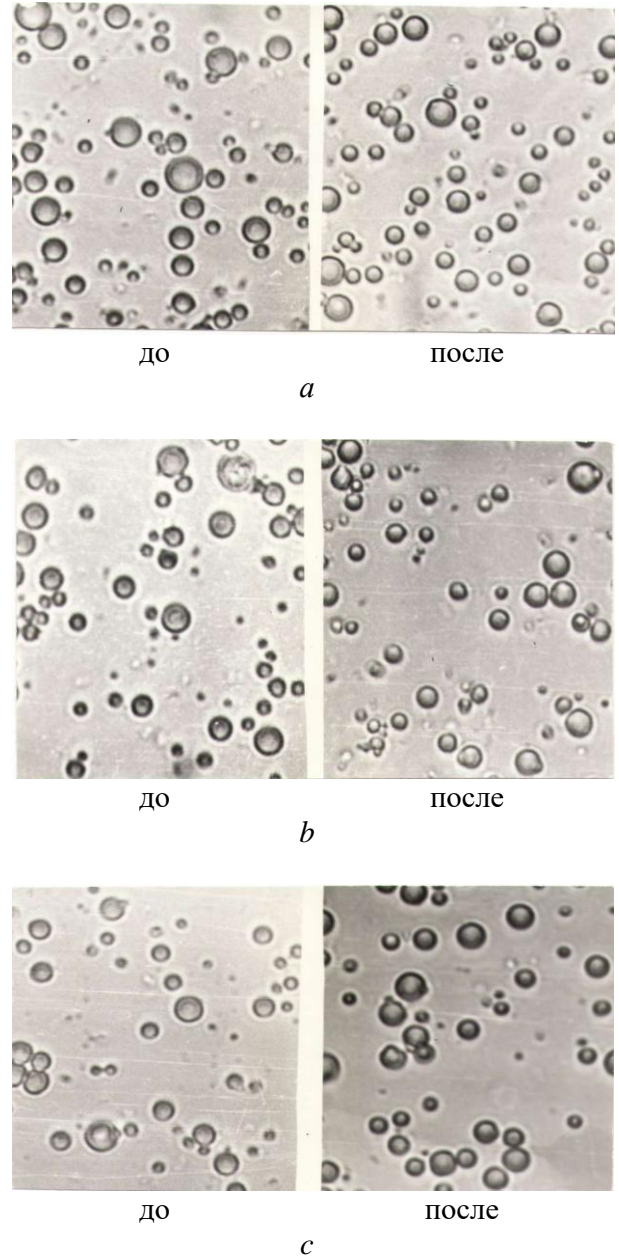
**Результаты исследования.** Результаты исследования подтвердили правомочность основных выводов «гидродинамической» гипотезы процесса дестабилизации жировых частиц в молоке при его движении в молочных линиях ферм.

Жировые шарики молока в поле зрения микроскопа при транспортировании его со скоростью 0,22 и 0,5 м/с соответственно на расстояние до 500 и 1000 м изображены на рисунке 2, а при транспортировании на расстояние до 100 м (при скоростях 0,22, 0,5 и 2,0 м/с) – на рисунке 3.



**Рисунок 2.** Жировые шарики молока в поле зрения микроскопа при увеличении в 600 раз при транспортировании на расстояние: *a* – 500 м со скоростью 0,22 м/с; *b* – 1000 м со скоростью 0,5 м/с

**Figure 2.** Milk fat globules in the field of view of a microscope at a magnification of 600 times during transportation over a distance of: *a* – 500 m at a speed of 0.22 m/s; *b* – 1000 m at a speed of 0.5 m/s



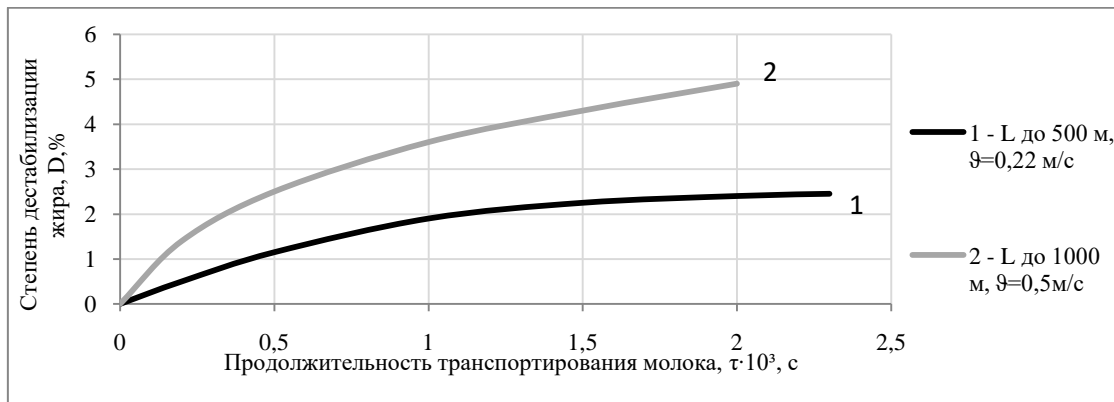
**Рисунок 3.** Жировые шарики молока в поле зрения микроскопа при увеличении в 600 раз при транспортировании на расстояние до 100 м со скоростью: *a* – 0,22 м/с; *b* – 0,5 м/с; *c* – 2,0 м/с  
**Figure 3.** Milk fat globules in the field of view of a microscope at a magnification of 600 times during transportation over a distance of up to 100 m at a speed of: *a* – 0.22 m/s; *b* – 0.5 m/s; *c* – 2.0 m/s

Результаты исследования влияния скорости и времени транспортирования на дестабилизацию жировых частиц молока представлены на рисунке 4.

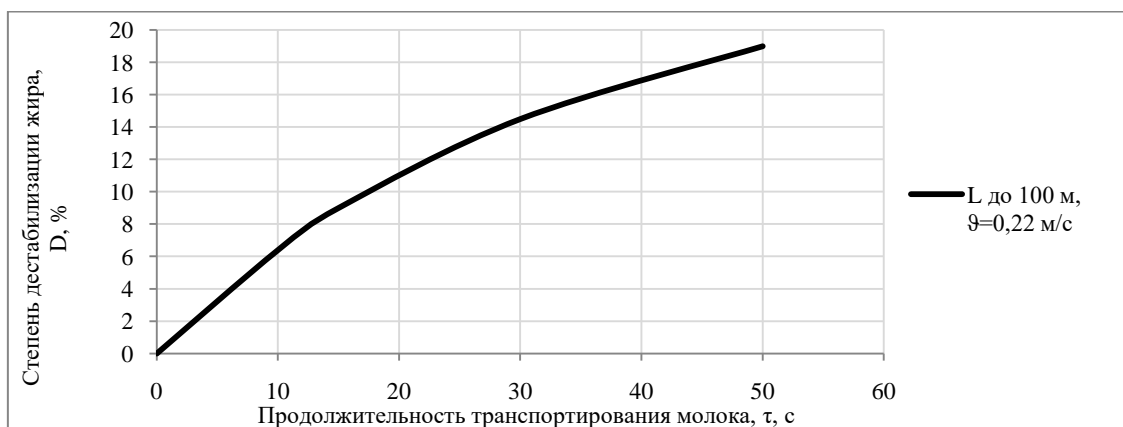
Анализ характеристик, представленных на рисунке 4, показывает, что при движении молока в молочных линиях доильных установок со скоростью 0,22 и 0,5 м/с и продолжитель-

ностью до 30 минут степень дестабилизации жировых частиц статистически недостоверна. В процессе транспортировки молока со скоростью 2,0 м/с дестабилизация жировых час-

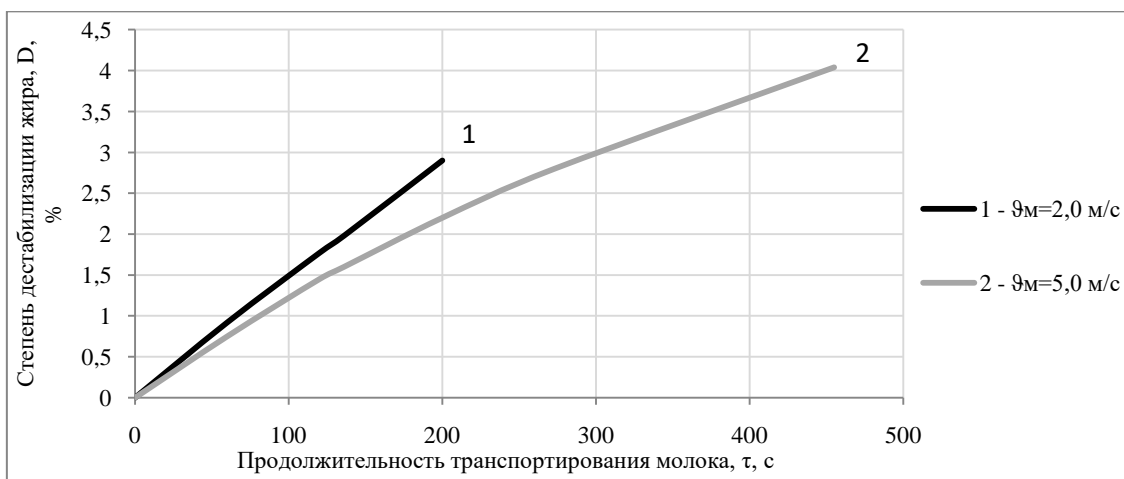
тиц происходит статистически достоверно при продолжительности транспортировки  $\tau_{\text{мп}} > 15$  с и достигает 20% при  $\tau_{\text{мп}} = 60$  с.



a)



b)



c)

**Рисунок 4.** Характеристики изменения дестабилизации жировых частиц при движении молока в молочных линиях доильных установок на расстояние: *a* – 500 м со скоростью 0,22 м/с и 1000 м со скоростью 0,5 м/с; *b* – 100 м со скоростью 2,0 м/с; *c* – 100 м со скоростью 0,22 м/с и 0,5 м/с  
**Figure 4.** Characteristics of changes in the destabilization of fat particles during the movement of milk in milking lines of milking installations at a distance of: *a* – 500 m at a speed of 0.22 m/s and 1000 m at a speed of 0.5 m/s; *b* – 100 m at a speed of 2.0 m/s; *c* – 100 m at a speed of 0.22 m/s and 0.5 m/s

**Выводы.** 1. Установлено, что длительность транспортирования молока влияет на увеличение суммарного сепарирующего эффекта вихрей, так как длительность действия сепарирующего эффекта, как и длительность существования вихрей, пропорциональна длительности транспортирования  $\tau_{\text{мп}}$ .

2. В процессе транспортировки молока со скоростью 2,0 м/с дестабилизация жировых частиц происходит статистически достоверно при продолжительности транспортировки  $\tau_{\text{мп}} > 15$  с и достигает 20% при  $\tau_{\text{мп}} = 60$  с.

### Список литературы

1. Польшиванный Ю. В., Яшин А. В. Технические системы производства сливочного масла: монография. Пенза: Пензенский ГАУ, 2023. 252 с. ISBN 978-5-00196-137-6
2. Тёпел А. Химия и физика молока / Под ред. С. А. Фильчаковой. Санкт-Петербург: Профессия, 2012. 831 с. ISBN 978-5-904757-34-2
3. Моренко С. А., Таран Е. Н. Оптоэлектронный датчик количества и качества молока // Вестник аграрной науки Дона. 2014. № 4(28). С. 29–34. EDN: TVQDSH
4. Цой Ю. А. Процессы и оборудование доильно-молочных отделений животноводческих ферм. Москва: ГНУ ВИЭСХ, 2010. 424 с.
5. Методика экспериментальных исследований влияния скорости и продолжительности транспортировки молока на дестабилизацию жировой фазы / Р. К. Алиев, Б. И. Вялков, А. Ч. Джиджоев, Р. Р. Алиев // Перспективы развития АПК в современных условиях: материалы международной научно-практической конференции. Владикавказ: Горский ГАУ, 2017. С. 268–270. EDN: ZAZAXL
6. Теоретические предпосылки процесса маслообразования / А. В. Поросятников, И. И. Шигапов, М. М. Гафин [и др.] // Сельский механизатор. 2018. № 6. С. 24–27. EDN: VLSDHE
7. Алиев Р. К., Джиджоев А. Ч., Алиев Р. Р. Влияние скорости и продолжительности транспортирования молока на степень дестабилизации его жировой фазы // Известия Горского государственного аграрного университета. 2017. Т. 54. № 2. С. 149–155. EDN: YSSDYR
8. Алиев Р. К., Караев В. В. Исследования влияния молочных насосов на дисперсный состав жировой фазы молока // Перспективы развития АПК в современных условиях: материалы 8-й Международной научно-практической конференции. Владикавказ: Горский ГАУ, 2019. С. 155–158. EDN: UAJBIW
9. Оптимизация устройства агрегации микрометрических тел с встречновращающимися лентами Мёбиуса: монография / А. В. Яшин, В. С. Парфенов, В. Н. Стригин, И. Н. Сёмов. Пенза: ПГУАС, 2014. 163 с. ISBN 978-5-9282-1099-1
10. Расчет и проектирование теплообменников / А. Н. Остриков, И. Н. Болгова, Е. Ю. Желтоухова [и др.]. Санкт-Петербург: Лань, 2023. 372 с. ISBN 978-5-507-47154-6. EDN: BEGKQH

### References

1. Polyvyanyj Yu.V., Yashin A.V. *Tekhnicheskie sistemy proizvodstva slivochnogo masla: monografiya* [Technical systems for butter production: monograph]. Penza: Penzenskij GAU, 2023. 252 p. (In Russ.). ISBN 978-5-00196-137-6
2. Tepel A. *Himiya i fizika moloka* [Chemistry and Physics of Milk]. Ed. by S.A. Filchakova. St. Petersburg: Professiya, 2012. 831 p. (In Russ.). ISBN 978-5-904757-34-2
3. Morenko S.A., Taran E.N. Optoelektronnyj datchik kolichestva i kachestva moloka [Optoelectronic sensor for milk quantity and quality]. *Vestnik agrarnoj nauki Dona*. 2014;4(28):29–34. (In Russ.). EDN: TVQDSH
4. Tsoi Yu. A. *Processy i oborudovanie doil'no-molochnyh otdelenij zhivotnovodcheskih ferm* [Processes and equipment of milking and dairy departments of livestock farms]. Moscow: GNU VIESKH, 2010. 424 p. (In Russ.)
5. Aliev R.K., Vyalkov B.I., Dzhidzhoev A.Ch., Aliev R.R. Methodology of experimental studies of the influence of the speed and duration of milk transportation on the destabilization of the fat phase. *Perspektivy razvitiya APK v sovremennyh usloviyah: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Prospects for the development of the agro-industrial complex in modern conditions: materials of the international scientific and practical conference]. Vladikavkaz: Gorskij GAU, 2017. Pp. 268–270. (In Russ.). EDN: ZAZAXL

6. Porosyatnikov A.V., Shigapov I.I., Gafin M.M. [et al.]. Theoretical background of the process of oil formation. *Selskiy Mechanizator*. 2018;(6):24–27. (In Russ.). EDN: VLSDHE

7. Aliev R.K., Dzhidzhoev A.Ch., Aliev R.R. Effect of speed and duration of milk transportation on destabilization level of its fat phase. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2017;54(2):149–155. (In Russ.). EDN: YSSDYR

8. Aliyev R.K., Karaev V.V. Research of the influence of milk pumps on the dispersed composition of the fat phase of milk. *Perspektivy razvitiya APK v sovremennykh usloviyakh: materialy 8-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii* [Prospects for the development of the agro-industrial complex in modern conditions: Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference]. Vladikavkaz: Gorskiy GAU, 2019. (In Russ.). Pp. 155–158. EDN: UAJBIW

9. Yashin A.V., Parfenov V.S., Strigin V.N., Semov I.N. *Optimizatsiya ustrojstva agregatsii mikrometricheskikh tel s vstrechnovrashchayushchimisya lentami Myobiusa: monografiya* [Optimization of the device for aggregating micrometric bodies with counter-rotating Mobius strips: monograph]. Penza: PGUAS, 2014. 163 p. (In Russ.). ISBN 978-5-9282-1099-1

10. Ostrikov A.N., Bolgova I.N., Zheltoukhova E.Yu. [et al.]. *Raschet i proektirovanie teploobmennikov* [Calculation and design of heat exchangers]. Saint Petersburg: Lan', 2023. 372 p. ISBN 978-5-507-47154-6. (In Russ.). EDN: BEGKQH

---

### Сведения об авторах

**Алиев Рамазан Курбанович** – кандидат технических наук, доцент кафедры технических систем в агробизнесе, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Горский государственный аграрный университет», SPIN-код: 7395-7414

**Уртаев Таймураз Асланбекович** – кандидат технических наук, доцент кафедры технических систем в агробизнесе, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Горский государственный аграрный университет», SPIN-код: 7380-6906

**Алиев Камилъ Рамазанович** – кандидат технических наук, доцент кафедры химии и промышленной биотехнологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», SPIN-код: 1938-4740

### Information about the authors

**Ramazan K. Aliyev** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Technical Systems in Agribusiness, Gorsky State Agrarian University, SPIN-code: 7395-7414

**Taimuraz A. Urtayev** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Technical Systems in Agribusiness, Gorsky State Agrarian University, SPIN-code: 7380-6906

**Kamil R. Aliev** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry and Industrial Biotechnology, North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (State Technological University), SPIN-code: 1938-4740

---

**Авторский вклад.** Все авторы принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант статьи.

**Author's contribution.** All authors have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. All authors have read and approved the final version of this article.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

---

Статья поступила в редакцию 15.05.2026;  
одобрена после рецензирования 04.06.2026;  
принята к публикации 11.06.2026.

The article was submitted 15.05.2026;  
approved after reviewing 04.06.2026;  
accepted for publication 11.06.2026.