

**Критерии авторства**

Ерохин М.Н., Дорохов А.С., Кирсанов В.В., Чепурина Е.Л. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели обобщение и подготовили рукопись. Ерохин М.Н., Дорохов А.С., Кирсанов В.В., Чепурина Е.Л. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 22.10.2020 г.

Одобрена после рецензирования 07.12.2020 г.

Принята к публикации 12.01.2021 г.

[Structural and technological modeling of processes and functional systems in dairy cattle breeding]. *Nauchnye trudy GNIIMZH. Rossel'khozakademii.* 2007; 17; 1: 19-31. (In Rus.)

**Contribution**

M.N. Erokhin, A.S. Dorokhov, V.V. Kirsanov, E.L. Chepurina performed theoretical studies, and based on the results obtained, generalized the results and wrote a manuscript. M.N. Erokhin, A.S. Dorokhov, V.V. Kirsanov, E.L. Chepurina have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

**Conflict of interests**

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received 22.10.2020

Approved after reviewing 07.12.2020

Accepted for publication 18.01.2021

**ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ**

УДК 636.084.743

DOI: 10.26897/2687-1149-2021-1-10-14

**МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МАШИННОГО КОРМЛЕНИЯ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА**

**КИРСАНОВ ВЛАДИМИР ВЯЧЕСЛАВОВИЧ**, д-р техн. наук, главный научный сотрудник  
kirvv2014@mail.ru

**ПАВКИН ДМИТРИЙ ЮРЬЕВИЧ**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник  
dimqaqa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

**НИКИТИН ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ**<sup>✉</sup>, младший научный сотрудник  
evgeniy.nicks@yandex.ru<sup>✉</sup>

**ДОВЛАТОВ ИГОРЬ МАМЕДЯРЕВИЧ**, младший научный сотрудник

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ); 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5

**Аннотация.** Предложена методика определения технологических параметров для машинной реализации процессов приготовления и раздачи кормовой смеси на животноводческих комплексах для крупного рогатого скота. Предлагаемый метод определения оптимальных параметров соотношения количества технических средств для приготовления кормовой смеси и количества выполняемых операций кормления КРС многокомпонентными кормовыми смесями разработан с учетом зоотехнических требований и стандартов по содержанию животных. Представлен расчёт, учитывающий европейский, российский и американский опыт технологии организации процесса кормления КРС. Подразумевается наличие комплекса (фермы) круглогодичного содержания животных, где смонтирован бетонный кормовой стол в одной плоскости с местом проезда технических средств: трактора, агрегируемого или самоходного миксера-раздатчика, а также вспомогательного технического средства (подталкивателя кормов) или замещающего его навесного оборудования на тракторе. Раздача кормовой смеси осуществляется на обе стороны. С учетом стратегии организации технологического процесса кормления КРС предлагаемая методика позволяет определить оптимальные параметры зданий животноводческих комплексов на этапе проектирования, а также количество и производительность используемых машин.

**Ключевые слова:** оценка технологической эффективности, кормление КРС, животноводство.

**Формат цитирования:** Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Никитин Е.А., Довлатов И.М. Методика оптимизации параметров машинного кормления крупного рогатого скота // Агроинженерия. 2021. № 1 (101). С. 10-14. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-1-10-14.

© Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Никитин Е.А., Довлатов И.М., 2021



## ORIGINAL PAPER

## METHODOLOGY FOR OPTIMIZING THE PARAMETERS OF MACHINE FEEDING OF CATTLE

*VLADIMIR V. KIRSANOV, DSc (Eng), Chief Research Engineer*

kirvv2014@mail.ru

*DMITRIY YU. PAVKIN, PhD (Eng), Senior Research Engineer*

dimqaqa@mail.ru

*EVGENYA. NIKITIN*✉, *Junior Research Engineer*

evgeniy.nicks@yandex.ru✉

*IGOR M. DOVLATOV, Junior Research Engineer*

Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 109428, Russian Federation, Moscow, 1<sup>st</sup> Institutskiy Proezd Str., 5

**Abstract.** The authors propose a methodology for determining technological parameters for the machine implementation of the preparation and distribution of feed mixture at cattle breeding facilities. The proposed methodology can be used to determine the optimal ratio parameters of the number of technical means for preparing a feed mixture and the number of operations performed for feeding cattle with multi-component feed mixtures. It was developed taking into account livestock breeding requirements and standards. The authors present an analysis that takes into account the European, Russian and American experience of the technology of organizing cattle feeding. This methodology applies to facilities (a farm) practicing year-round keeping of animals, where a concrete feed table is mounted in the same plane with the passage for technical equipment: a tractor, an aggregated or self-propelled mixer dispenser, as well as an auxiliary technical means – a feed pusher or its substitute attachments on the tractor. The feed mixture is dispensed on both sides. Taking into account the strategy of organizing the technological process of cattle feeding, the proposed method allows determining the optimal construction parameters of livestock facilities at the design stage, as well as the number and productivity of the machines used.

**Key words:** assessment of technological efficiency, cattle feeding, livestock breeding.

**For citation:** Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu., Nikitin E.A., Dovlatov I.M. Methodology for optimizing the parameters of machine feeding of cattle // *Agricultural Engineering*, 2021; 1 (101): 10-14. (In Rus.). DOI: 10.26897/2687-1149-2021-1-10-14.

**Введение.** Наиболее распространенная методика организации технологического процесса кормления на современных животноводческих комплексах предполагает монтаж бетонного кормового стола, который одновременно является проездом для агрегируемых и самоходных (в том числе роботизированных) средств раздачи кормовой смеси различной вместимости (от 1,5 до 40 м<sup>3</sup>), непосредственно к краю технологического проезда у ограждения кормового стола [1-3].

Ввиду устремления животных к сортировке компонентов кормовой смеси они совершают отбрасывающие движения, и часть корма попадает на место проезда миксера-раздатчика [4].

Организация технологического процесса кормления на животноводческих комплексах подобными методами существенно упрощает процесс раздачи кормов машинными агрегатами, однако это требует необходимости привлечения дополнительных трудозатрат или внедрения технических средств для выполнения операции подталкивания кормовой смеси к краю ограждения кормового стола.

Современный мировой рынок предлагает множество решений, и одним из самых приемлемых является робот Delaval с рабочим органом шнекового типа, который посредством циклических проездов по кормовому столу вдоль ограждения осуществляет подталкивание и тем самым обеспечивает максимальную доступность кормовой смеси для животных [5, 6].

Одним из недостатков описанных технологических методов является отсутствие возможности при напольных кормовых столах осуществлять раздельное внесение жидких кормовых добавок (патока/меласса или пивная дробина), которые стимулируют поедание объемистых компонентов и насыщают рацион животных углеводами и белками, формирующими на выходе низкую себестоимость молока [7, 8].

Применение механизированных средств, обеспечивающих доступность кормовой смеси для животных на кормовом столе, становится также причиной смешивания кормовой смеси с частицами грязи, попадающей с колес миксера-раздатчика и трактора [9, 10].

**Цель исследования:** разработать методику оптимизации вариантов технологического процесса кормления крупного рогатого скота на животноводческих комплексах.

**Материал и методы.** Оптимизировать процесс кормления на животноводческих комплексах можно за счёт продолжительности разового кормления (продолжительности раздачи корма). Зоотехническими нормами, предусматривающими минимизацию стресс-факторов для животных, регламентируется период разового кормления до 20 мин. Показатель варьируется в зависимости от типа помещений на животноводческих комплексах (наличие сквозных проездов, длина кормового стола и др.).

Предлагаемый метод определения оптимальных параметров соотношения количества технических средств

для приготовления кормовой смеси и количества выполняемых операций кормления КРС многокомпонентными кормовыми смесями разработан с учетом зоотехнических требований и стандартов по содержанию животных.

**Результаты и обсуждение.** Для обслуживания кормового стола или кормушек рассмотрим четыре базовые технологии, применяемые на животноводческих комплексах:

1) дозирование, загрузка (самозагрузка) кормовых компонентов из хранилищ, смешивание в миксере-раздатчике, транспортировка к месту раздачи, раздача в помещении на кормовой стол определенной половозрастной группе животных (с одним рационом), транспортировка без груза (холостой переезд) к хранилищу, обслуживание кормового стола подталкивателем корма;

2) дозирование, загрузка (самозагрузка) кормовых компонентов из хранилища, смешивание в кормомиксере, транспортировка к месту раздачи в помещении, раздача корма в кормушки (на фермах с привязным содержанием животных), переезд обратно к хранилищам, очистка кормушек от остатков кормовой смеси после очередного цикла скармливания;

3) дозирование, загрузка (самозагрузка) кормовых компонентов из хранилищ, смешивание в миксере-раздатчике, транспортировка к месту раздачи, разгрузка в промежуточный бункер-дозатор, выгрузка из промежуточного бункера-дозатора в раздатчик-смеситель, перемещающийся по подвесной рельсе;

4) доставка из хранилищ кормовых компонентов в стационарный кормоцех, приготовление кормовой смеси в потоке, выгрузка в мобильный раздатчик, транспортировка и раздача в помещение животным, обратный переезд под загрузку.

Для сравнительной оценки технологий, продолжительности выполнения циклов кормления, ресурсоемкости технологии рассмотрим соответствующие суточные процессы.

$$t_{ц1} = \left( \sum_{i=1}^n t_{3k_i} + t_{см}^M + t_{тр.п} + t_p + t_{х.х.} \right) \cdot n_p \cdot n_c + t_{ц}^{п.к.} \cdot n_{ц}^{п.к.} \cdot k_{л}, \quad (1)$$

где  $t_{ц1}$  – суточная продолжительность цикла первой технологии, мин;  $\sum_{i=1}^n t_{3k_i}$  – загрузка компонентов корма, сопровождающаяся точным дозированием, мин;  $t_{см}^M$  – продолжительность цикла смешивания компонентов кормовой смеси, мин;  $t_{тр.п}$  – продолжительность транспортировки компонентов кормовой смеси от мест хранения до фермы, мин;  $t_{х.х.}$  – продолжительность обратного проезда миксера-раздатчика от места выгрузки до мест хранения кормовой смеси, мин;  $n_p$  – кратность циклов приготовления кормовой смеси, мин;  $n_c$  – суточная кратность раздачи корма, раз/сутки;  $t_{ц}^{п.к.}$  – продолжительность цикла подталкивания корма на обеих сторонах кормового стола на животноводческом комплексе, мин;  $n_{ц}^{п.к.}$  – число циклов подталкивания корма вдоль одной линии кормового стола, мин;  $k_{л}$  – число кормовых линий в животноводческом комплексе, шт.

$$t_{ц2} = \left( \sum_{i=1}^n t_{3k_i} + t_{см}^M + t_{тр.п} + t_p + t_{х.х.} \right) \cdot n_p \cdot n_c + t_{ц}^{п.к.} \cdot k_{л}, \quad (2)$$

где  $t_{ц2}$  – суточная продолжительность цикла второй технологии;  $t_{ц}^{п.к.}$  – продолжительность очистки кормового стола перед очередным циклом раздачи кормовой смеси, мин.

$$t_{ц3} = \left( \sum_{i=1}^n t_{3k_i} + t_{см}^M + t_{тр.п} + t_{выгр} + t_{х.х.} \right) \cdot n_p \cdot n_{3б} + (t_{ц}^{3.к.} + t_{ц}^{п.к.}) \cdot n_{ц}^{п.к.}, \quad (3)$$

где  $t_{ц3}$  – суточная продолжительность цикла третьей технологии;  $t_{выгр}$  – продолжительность выгрузки корма в накопительный бункер, мин;  $n_p$  – количество промежуточных бункеров с соответствующими рационами кормления, шт.;  $n_{3б}$  – количество циклов загрузки промежуточных бункеров, шт.;  $t_{ц}^{3.к.}$  – продолжительность циклов загрузки, мин;  $t_{ц}^{п.к.}$  – продолжительность циклов раздачи кормовой смеси, мин;  $n_{ц}^{п.к.}$  – кратность циклов раздачи кормовой смеси, шт.

$$\begin{cases} t_{ц4}^к = \sum_{i=1}^n t_{3k_i}^б + (t_3^{п.к.} + t_{тр.г}^1 + t_p + t_{х.х.}) \cdot n_p \cdot n_c + t_{ц}^{п.к.} \cdot k_{л}; \\ t_{ц4}^{к.с} = \sum_{i=1}^n t_{3k_i}^б + (t_3^{п.к.} + t_{тр.г}^1 + t_p + t_{х.х.}) \cdot n_p \cdot n_c + t_{ц}^{п.к.} \cdot n_{ц}^{п.к.} \cdot k_{л}, \end{cases} \quad (4)$$

где  $t_{ц4}^к$  – суточная продолжительность цикла приготовления кормовой смеси, мин;  $t_{ц4}^{к.с}$  – суточная продолжительность цикла раздачи кормовой смеси, мин;  $\sum_{i=1}^n t_{3k_i}^б$  – продолжительность загрузки накопительных бункеров дозаторов для концентрированных компонентов кормовой смеси;  $t_{тр.г}^1$  – продолжительность транспортировки с грузом, включая досмешивание корма в миксере-раздатчике.

С целью обеспечения гигиены при кормлении животных с кормового стола в существующих технологиях, для исключения попадания загрязняющих остатков с колес технологических машин в зону кормления важно выдерживать санитарную зону между границами разброса корма и колеи трактора (миксера-раздатчика). С учетом этого значения общая ширина кормового проезда представлена как

$$b_{к.пр} = b_{к.тр} + 2b_{к.ст} + 2b_{с.з}, \quad (5)$$

где  $b_{к.пр}$  – ширина кормового проезда, м;  $b_{к.тр}$  – ширина колеи трактора или раздатчика-смесителя, м;  $b_{к.ст}$  – ширина кормового стола, м;  $b_{с.з}$  – ширина санитарной зоны, м.

Определение ширины санитарной зоны должно отвечать условию:

$$b_{к.ст} + b_{с.з} \geq b_{р.к}, \quad (6)$$

где  $b_{р.к}$  – дальность разброса кормовой смеси на кормовом столе от ограждения для животных, м;

$$b_{с.з} \geq b_{р.к} - b_{к.ст}. \quad (7)$$

Ширина кормового стола:

$$b_{к.ст} = \frac{V_{к}^{п/м}}{h_{к}^{п/м}}, \quad (8)$$

где  $V_{к}^{п/м}$  – объем корма на одном погонном метре кормового стола, м<sup>3</sup>;  $h_{к}^{п/м}$  – высота слоя корма, м;

$$V_{к}^{п/м} = \frac{q_p \cdot n_{к.м} \cdot n_{к.м}^{ж}}{\rho_{к} \cdot n_c}, \quad (9)$$

где  $q_p$  – масса суточного рациона кормления на одно животное, кг;  $n_{к.м}$  – число кормовых мест, располагаемых на одном погонном метре кормового стола;  $n_{к.м}^{ж}$  – число животных в группе;  $\rho_{к}$  – плотность корма, кг/м<sup>3</sup>;  $n_c$  – суточная кратность раздачи корма, раз/сутки).

Введем коэффициент  $k = \frac{n_k^{n/m}}{b_{k,ст}}$ , учитывающий высоту слоя корма ( $k = 0,3 \dots 0,4$ ), тогда

$$h_k^{n/m} = k \cdot b_{k,ст}. \quad (10)$$

Используя формулы 8, 9 и 10, получим формулу для определения ширины кормового стола:

$$b_{k,ст} = \sqrt{\frac{q_p \cdot n_{км} \cdot n_{км}^k}{k \cdot k_p \cdot \rho_k}}. \quad (11)$$

С учетом формулы 11 определим ширину санитарной зоны:

$$b_{с.з} = b_{p,к} - \sqrt{\frac{q_p \cdot n_{км} \cdot n_{км}^k}{k \cdot k_p \cdot \rho_k}}. \quad (12)$$

Параметры длины рабочего органа (шнека) подталкивателя должны отвечать условиям:

$$l_{шн} \geq b_{p,к} \leq l_{к.тр}, \quad (13)$$

где  $l_{к.тр}$  – расстояние от ограждения кормового стола до линии колеи трактора или миксера-раздатчика.

Когда зона разброса корма  $b_{p,к}$  больше  $l_{к.тр}$ , то величина  $\Delta b_{p,к}$  определяется по формуле:

$$\Delta b_{p,к} = b_{p,к} - l_{к.тр}. \quad (14)$$

### Библиографический список

1. Карташов С.Г., Пономарев А.Г., Клычев Е.М. и др. Разработка конструкции высокоэффективных кормораздатчиков для приготовления полнорационных кормов // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2019. № 1 (34). С. 86-92.
2. Иванов Ю.Г., Понизовкин Д.А., Акимов А.П. Совершенствование технологических процессов и технических средств на основе индивидуального контроля параметров животных на фермах // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2018. № 5 (87). С. 25-30. DOI: 10.26897/1728-7936-2018-5-25-30.
3. Никитин Е.А. Разработка автоматизированной системы персонального дозирования концентрированных кормов для крупного рогатого скота // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. № 3 (32). С. 80-86.
4. Miller-Cushon E.K., DeVries T.J. Feed sorting in dairy cattle: Causes, consequences, and management // Journal of Dairy Science; 100(5): 4172-4183. DOI: 10.3168/jds.2016-11983.
5. Лачуга Ю.Ф., Шогенов Ю.Х., Измайлов А.Ю. и др. Научно-техническая продукция научных организаций агроинженерного профиля в условиях цифровизации агропромышленного комплекса // Техника и оборудование для села. 2020. № 5 (275). С. 2-9. DOI: 10.33267/2072-9642-2020-5-2-9.
6. Горбачев М.И. Технологическое и техническое переоснащение молочных ферм в современных условиях // Международный технико-экономический журнал. 2009. № 5. С. 20-24.
7. Сыроватка В.И., Обухов А.Д. Логическая структура методологии построения наукоемких предприятий по производству комбикормов // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2017. № 3 (27). С. 4-14.

Тогда шнек-подталкиватель должен иметь сепарирующую часть, которая отбросит часть корма, загрязненного колесами трактора и миксера-раздатчика, к центру кормового стола, чтобы он не попал в скармливаемую массу.

Длина сепарирующей части шнека:

$$l_{шн} = \Delta b_{p,к} + l_{к.тр}, \quad (15)$$

где  $\Delta b_{p,к}$  – сепарирующая часть шнека, отводящая загрязненную часть корма.

Таким образом, с помощью предложенной авторами методики можно определить оптимальные параметры зданий животноводческих комплексов на этапе проектирования, а также количество и производительность используемых машин.

### Выводы

1. Предлагаемая методика расчёта позволяет определить оптимальные параметры зданий животноводческих комплексов на этапе проектирования.
2. При выборе одной из рассмотренных стратегий организации технологического процесса кормления КРС предлагаемая методика позволяет определить количество и производительность используемых машин.

### References

1. Kartashov S.G., Ponomarev A.G., Klychev E.M. et al. Razrabotka konstruktсии vysokoeffektivnykh kormorazdatchikov dlya prigotovleniya polnoratsionnykh kormov [Designing highly efficient feed dispensers for the preparation of complete feed]. *Ehlekrotekhnologii i ehlektrooborudovanie v APK*, 2019; (34): 86-92. (In Rus.)
2. Ivanov Yu.G., Ponizovkin D.A., Akimov A.P. Sovershenstvovanie tekhnologicheskikh processov i tekhnicheskikh sredstv na osnove individualnogo kontrolya parametrov zhiivotnykh na fermakh [Improving technological processes and technical means based on individual control of animals' parameters on farms]. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*, 2018; (87): 25-30. (In Rus.)
3. Nikitin E.A. Razrabotka avtomatizirovannoy sistemy personal'nogo dozirovaniya koncentrirovannykh kormov dlya krupnogo rogatogo skota [Developing an automated system for individual dosing of concentrated feed for cattle]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*, 2019; 3 (32): 80-86. (In Rus.)
4. Miller-Cushon E.K., DeVries T.J. Feed sorting in dairy cattle: Causes, consequences, and management. *Journal of Dairy Science*; 100(5): 4172-4183. DOI: 10.3168/jds.2016-11983.
5. Lachuga Yu.F., Shogenov Yu.Kh., Izmaylov A.Yu. et al. Nauchno tekhnicheskaya produktiya nauchnykh organizatsiy agroinzhenernogo profilya v usloviyakh tsifrovizatsii agropromyslennogo kompleksa [R&D products of agroengineering research organizations in the conditions of farming digitalization]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*, 2020; 5 (275): 2-9. DOI: 10.33267/2072-9642-2020-5-2-9. (In Rus.)
6. Gorbachev M.I. Tekhnologicheskoe i tekhnicheskoe pereosnashchenie molochnykh ferm v sovremennykh usloviyakh [Technological and technical re-equipment of dairy farms in modern conditions]. *Mezhdunarodniy tekhniko-ekonomicheskij zhurnal*, 2009; 5: 20-24. (In Rus.)

8. Шафранская И.В., Шафранский И.Н. Методика оптимизации программы развития сельскохозяйственных организаций // Вестник Института экономики и управления Новгородского государственного университета им. Ярослава Мудрого. 2015. № 2 (18). С. 68-73.

9. Текушев А.Х., Костомахин М.Н. Прогноз и приоритетные направления развития конструкций смесителей-кормораздатчиков // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2019. № 11. С. 14-17.

10. Михеев В.В., Костенко М.Ю., Текушев А.Х. и др. Анализ состояния и тенденции дальнейшей интенсификации процессов заготовки и повышения качества кормов // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2018. № 11. С. 7-11.

7. Syrovatka V.I., Obukhov A.D. Logicheskaya struktura metodologii postroeniya naukoemkih predpriyatij po proizvodstvu kombikormov [Logical framework of the methodology for the construction of science-based enterprises for animal feed production]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*, 2017; 3 (27): 4-14. (In Rus.)

8. Shafranskaya I.V., Shafranskiy I.N. Metodika optimizatsii programmy razvitiya sel'skohozyaystvennykh organizatsiy [Methodology for optimizing the development program of agribusiness companies]. *Vestnik Instituta ekonomiki i upravleniya Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta im. Yaroslava Mudrogo*, 2015; 2 (18): 68-73. (In Rus.)

9. Tekushev A.Kh., Kostomakhin M.N. Prognoz i prioritete napravleniya razvitiya konstruktivnykh smesiteley-kormorazdatnikov [Forecast and priority directions for further development of mixer-feed dispenser designs]. *Sel'skohozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont*, 2019; 11: 14-17. (In Rus.)

10. Mikheev V.V., Kostenko M.Yu., Tekushev A.Kh. et al. Analiz sostoyaniya i tendentsii dal'neyshey intensifikatsii protsessov zagotovki i povysheniya kachestva kormov [Analysis of the current state and tendencies of further intensification of harvesting processes and improving the quality of feed]. *Sel'skohozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont*, 2018; 11: 7-11. (In Rus.)

#### Критерии авторства

Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Никитин Е.А., Довлатов И.М. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели обобщение и подготовили рукопись. Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Никитин Е.А., Довлатов И.М. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 14.08.2020 г.

Одобрена после рецензирования 25.09.2020 г.

Принята к публикации 15.01.2021 г.

#### Contribution

V.V. Kirsanov, D. Yu. Pavkin, E.A. Nikitin, I.M. Dovlatov performed theoretical studies, and based on the results obtained, generalized the results and wrote a manuscript. V.V. Kirsanov, D. Yu. Pavkin, E.A. Nikitin, I.M. Dovlatov have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

#### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received 14.08.2020

Approved after reviewing 25.09.2020

Accepted for publication 15.01.2021