

Влияние геометрии рифлей опорной поверхности рабочих органов на самосортирование зерновых смесей

Александр М. Васильев	¹	fondprod@rambler.ru
Сергей А. Мачихин	²	smachexpert@rambler.ru
Алла Н. Стрелюхина	²	alstrel@rambler.ru
Александр А. Рындин	²	aleksandr-ryndin@rambler.ru

¹ МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127550, Россия

² Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Россия

Реферат. Статья посвящена обоснованию создания новых опорных поверхностей рабочих органов вибрационных сепарирующих машин, применение которых способствует повышению интенсивности одной из стадий процессов сепарирования – самосортирования. При исследовании влияния того или иного фактора на эффективность самосортирования эксперименты проводили с одной и той же зерновой смесью на рабочих поверхностях ограниченных с четырех сторон стенками при горизонтальных гармонических колебаниях горизонтальных рабочих поверхностей. В качестве модельной частицы была использована наиболее часто встречающаяся легкая примесь в зерне пшеницы – соломинка. Эксперименты посвящены определению времени всплывания легкой частицы в слое зерна пшеницы. Проведены эксперименты на рабочей поверхности с рифлями, образующими зигзагообразные каналы, рифлями переменной высоты, с расположением рифлей перпендикулярно направлению колебаний рабочего органа и с расположением рифлей под углом к направлению колебаний. В экспериментах варьировали толщину слоя зернового потока над рифлями и положение легкой частицы в слое относительно опорной поверхности, так чтобы можно было определять время всплывания легкой частицы через слой одной и той же толщины, но расположенный на различном расстоянии от рифлей опорной поверхности. Это позволило исключить влияние толщины слоя на время (скорость) всплывания легкой частицы и оценить влияние на интенсивность самосортирования (время всплывания) только рифлей опорной поверхности. Экспериментально доказано, что повышение эффективности процесса самосортирования на рабочей поверхности может быть обеспечено путем установки рифлей перпендикулярно направлению колебаний.

Ключевые слова: опорные поверхности, сепарирующие машины

Influence of geometry of corrugated base surface of working bodies on the sorting of grain mixes

Aleksandr M. Vasiliev	¹	fondprod@rambler.ru
Sergei A. Machikhin	²	smachexpert@rambler.ru
Alla N. Strelyukhina	²	alstrel@rambler.ru
Aleksandr A. Ryndin	²	aleksandr-ryndin@rambler.ru

¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya str., 49, Moscow, 127550, Russia

² Moscow State University of Food production, Volokolamskoe Highway, 11, Moscow, 125080, Russia

Summary. The article is devoted to the substantiation of the creation of new bearing surfaces of the working bodies of vibration separating machines, the use of which contributes to an increase in the intensity of one of the stages of the separation processes – self-sorting. When studying the influence of one or another factor on the efficiency of self-sorting, experiments were carried out with the same grain mixture on the working surfaces bounded on four sides by the walls with horizontal harmonic oscillations of the horizontal working surfaces. The most common light particle was used as a model particle. an impurity in the wheat grain is a straw. Experiments are devoted to determining the time of the emergence of a light particle in a layer of wheat grain. Experiments were carried out on the working surface with grooves forming zigzag channels, grooves of variable height, with the arrangement of the flute perpendicular to the direction of oscillation of the working member and with the arrangement of the flute at an angle to the direction of oscillation. In the experiments, the thickness of the grain flow layer above the grooves and the position of the light particle in the layer relative to the supporting surface were varied, so that the time when the light particle emerges through the layer of the same thickness but located at different distances from the flute of the supporting surface. This made it possible to eliminate the influence of the layer thickness on the time (speed) of the ascent of the light particle and to estimate the effect on the self-sorting intensity (the ascent time) only on the flute of the support surface. It has been experimentally proved that an increase in the efficiency of the self-sorting process on the working surface can be achieved by installing a flute perpendicular to the direction of oscillation.

Keywords: bearing surfaces, separating machines

В процессах сепарирования действие вибраций на сыпучее тело проявляется, во-первых, в разрыхлении и самосортировании, во-вторых, в обеспечении направленного в среднем движения сыпучей среды относительно вибрирующей поверхности, в так называемой подаче, обеспечивающей непрерывность процесса [1-3].

Для цитирования

Васильев А.М., Мачихин С.А., Стрелюхина А.Н., Рындин А.А. Влияние геометрии рифлей опорной поверхности рабочих органов на самосортирование зерновых смесей // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 3. С. 26–30. doi:10.20914/2310-1202-2018-3-26-30

Если сыпучее тело находится на горизонтальной однородно шероховатой поверхности, совершающей горизонтальные гармонические колебания, то тело будет совершать колебательное движение, перемещаясь относительно поверхности на одинаковые расстояния в прямом

For citation

Vasilyev A.M., Machikhin S.A., Strelukhina A.N., Ryndin A.A. Influence of geometry of corrugated base surface of working bodies on the sorting of grain mixes. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 3. pp. 26–30. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-3-26-30

и обратном направлениях. Следовательно, в этом случае отсутствует направленное в среднем перемещение относительно колеблющейся поверхности. Вибрационное перемещение проявляется в симметричном колебательном движении относительно поверхности. Такой вариант вибрационного воздействия на обрабатываемый материал не представляет практического интереса. Он может быть использован при экспериментальных исследованиях явлений, происходящих в сыпучей среде под действием вибраций. Следует заметить, что во многих, вариантах исполнения опорной поверхности имеет место одинаковая шероховатость поверхности при движении частиц сыпучего тела под действием вибраций в прямом и обратном направлениях. Это условие было использовано при проведении экспериментальных исследований процесса самосортирования. Эксперименты проведены на рабочих поверхностях ограниченных с четырех сторон стенками при горизонтальных гармонических колебаниях горизонтальных рабочих поверхностей. Вследствие отсутствия направленного в среднем движения частиц толщина зернового слоя оставалась постоянной по всей площади опорной поверхности. При исследовании влияния того или иного фактора на эффективность самосортирования эксперименты проводили с одной и той же зерновой смесью. Это позволило исключить влияние свойств зерновой смеси и оценить только действие исследуемого фактора на эффективность процесса самосортирования. Основным показателем интенсивности самосортирования [1] является скорость вертикального движения (всплывания или погружения) в слое зернового потока частиц, отличающихся от окружающих плотностью и размерами. При горизонтальных колебаниях рабочей поверхности сила, действующая на частицы зерновой смеси со стороны поверхности направлена вдоль неё. Эта сила может вызвать только движение частиц зерновой смеси вдоль поверхности и не оказывает влияния на вертикальное движение частиц смеси. Следовательно, в этом случае на эффективность самосортирования оказывает влияние только конфигурация опорной поверхности рабочего органа [4]. Последнее утверждение справедливо ещё и потому, что эксперименты проведены на горизонтальной поверхности. В случае её наклона к горизонтали появляется вертикальная составляющая силы воздействия поверхности на частицы зерновой смеси, которая оказывает влияние на вертикальное движение частиц сыпучего тела.

Очевидно, что обоснования, утверждающие о повышении эффективности процесса самосортирования при выполнении рифлей переменной высоты и установки рифлей перпендикулярно направлению колебаний рабочей поверхности требуют экспериментального подтверждения [5-8]. Эксперименты посвящены определению времени всплывания легкой частицы в слое зерна пшеницы. В качестве модельной частицы была использована наиболее часто встречающаяся легкая примесь в зерне пшеницы – соломинка [9-10].

В экспериментальных исследованиях, подтверждающих целесообразность выполнения рифлей переменной высоты определяли время всплывания легкой частицы из нижних слоев зерновой смеси. На рисунке 1 представлена схема рабочего органа и два различных положения модельной (меченой) частицы в слое зерновой смеси. В одном положении частица расположена на рифлях, в другом на некотором расстоянии от рифлей. На рисунке приняты следующие обозначения: h_p – высота рифлей; h_{cl} – высота слоя зерносмеси над рифлями; h_q – расстояние, на котором модельная частица расположена над рифлями. Согласно принятым обозначениям толщина слоя h_b , через который происходит всплывание легкой частицы в верхний слой (перемещение частицы в вертикальном направлении), может быть определена по формуле $h_b = h_{cl} - h_q$. Заметим, что при $h_q = 0$ (легкая частица расположена на рифлях, на нижнем слое, заполняющем пространство между рифлями) $h_b = h_{cl}$, то есть величина вертикального перемещения частицы при всплывании равна высоте слоя зерносмеси над рифлями.

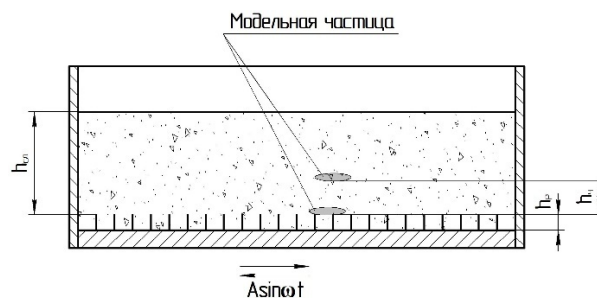


Рисунок 1. Схема рабочего органа и положения модельной частицы в слое зерновой смеси при исследовании процесса самосортирования с целью обоснования целесообразности выполнения рифлей переменной высоты

Figure 1. The scheme of the working body and the position of the model particle in the layer of grain mixture in the study of the process of the sorting to substantiate the feasibility of the performance of corrugated variable heights

Эксперименты проведены на рабочей поверхности с рифлями, образующими зигзагообразные каналы (рисунок 2). На рисунке не показаны одна боковая и одна торцевая стенки. Угол установки пластин к направлению колебаний поверхности составил $\gamma = 45^\circ$. В экспериментах использовали две поверхности, отличающиеся высотой рифлей h_p : первая поверхность имела высоту рифлей, равную $h_p = 5$ мм; вторая поверхность – $h_p = 10$ мм. Шаг рифлей составлял 10 мм.

В экспериментах варьировали толщину слоя зернового потока над рифлями и положение легкой частицы в слое относительно опорной поверхности, так чтобы можно было определять время всплывания легкой частицы через слой одной и той же толщины, но расположенный на различном расстоянии от рифлей опорной поверхности. Это позволяет исключить влияние толщины слоя на время (скорость) всплывания легкой частицы и оценить влияние на интенсивность самосортирования (время всплывания) только рифлей опорной поверхности.

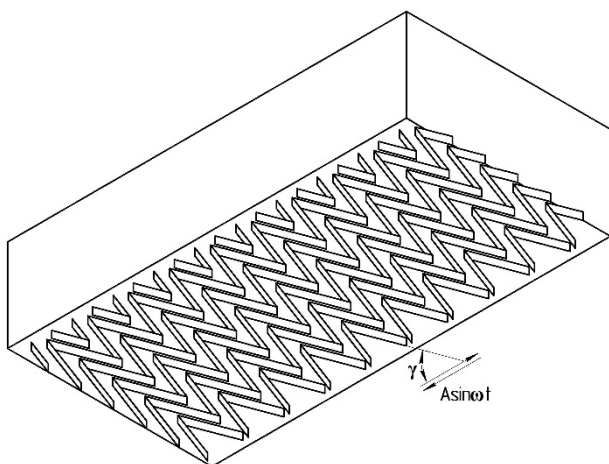


Рисунок 2. Рабочая поверхность с рифлями, образующими зигзагообразные каналы

Figure 2. Working surface with corrugated base forming zigzag channels

В экспериментах меченую легкую частицу помещали либо на рифли, либо на некотором расстоянии от рифлей под слой зерна, включали установку и по секундомеру определяли время её всплывания в верхний слой. Эксперименты проведены при некотором реальном сочетании амплитуды и частоты колебаний опорной поверхности. В первой серии экспериментов определяли время всплывания легкой частицы через слой $h_B = 30$ мм при следующих условиях: толщина слоя над рифлями $h_{cl} = 30$ мм; толщина слоя над рифлями $h_{cl} = 40$ мм. В первом

случае легкую частицу укладывали на рифли ($h_q = 0$) под слой зерна. Во втором случае – на расстоянии $h_q = 10$ мм от рифлей под слой зерна. Таким образом, в обоих случаях определяли время всплывания легкой частицы через слой толщиной $h_B = 30$ мм. На поверхности с высотой рифлей $h_p = 5$ мм в первом случае время всплывания составило 16,33 с, во втором случае – 23,03 с, то есть в первом случае (легкая частица лежит на рифлях) частица проходит слой толщиной $h_B = 30$ мм в 1,41 раза быстрее, чем во втором случае (частица расположена на расстоянии $h_q = 10$ мм от рифлей). На поверхности с высотой рифлей $h_p = 10$ мм в первом случае время всплывания составило 13,97 с, во втором – 22,25 с, то есть в первом случае частица проходит слой толщиной $h_B = 30$ мм в 1,59 раза быстрее, чем во втором случае. Это является доказательством того, что, во-первых, с наибольшей интенсивностью процесс самосортирования происходит в слое зерносмеси, непосредственно контактирующем с рифлями, во-вторых, с увеличением высоты рифлей увеличивается их тормозящее воздействие на нижний слой зернового потока. Последнее обстоятельство свидетельствует о повышении интенсивности послынного движения зернового потока, а значит о повышении эффективности самосортирования зерновой смеси.

В следующей серии экспериментов было определено время всплывания легкой частицы через слой толщиной $h_B = 20$ мм на опорной поверхности с высотой рифлей $h_p = 10$ мм для трех различных начальных положений частицы в зерновом слое: частица находилась под слоем зерна на рифлях ($h_q = 0$); частица находилась под слоем зерна на расстоянии $h_q = 10$ мм от рифлей; частица находилась под слоем зерна на расстоянии $h_q = 20$ мм от рифлей. Следует заметить, что толщина зернового потока над рифлями составляла: в первом случае – $h_{cl} = 20$ мм; во втором случае – $h_{cl} = 30$ мм; в третьем – $h_{cl} = 40$ мм. Время всплывания соответственно составило: в первом случае – 4,27 с; во втором случае – 6,68 с; в третьем случае – 9,64 с. Средняя скорость всплывания легкой частицы через слой толщиной 20 мм для различных начальных положений частицы составила: в первом случае – 0,00468 м/с; во втором случае – 0,00299 м/с; в третьем случае – 0,00207 м/с.

Анализ результатов экспериментов позволяет сделать вывод: интенсивность самосортирования различна по толщине зернового потока, чем дальше слои отстоят от рифлей опорной поверхности, тем меньше в них интенсивность самосортирования. Следовательно, обеспечивать высокую интенсивность самосортирования в различных по толщине слоях зернового потока можно путем выполнения на рабочей поверхности рифлей переменной высоты. При этом, высокая интенсивность самосортирования обеспечивается в различных слоях зернового потока на различных участках по длине рабочей поверхности. Высота рифлей может либо увеличиваться в направлении движения зернового потока вдоль рабочей поверхности, либо уменьшаться. Это зависит от осуществляемого на рабочем органе процесса сепарирования.

Следующая серия экспериментов посвящена доказательству целесообразности выполнения рифлей в виде прямоугольных пластин, расположенных перпендикулярно направлению колебаний рабочей поверхности. Эксперименты проведены на двух различных поверхностях (рисунок 3). Будем считать первой поверхностью – поверхность с расположением рифлей

перпендикулярно направлению колебаний рабочего органа (рисунок 3, б). Второй поверхностью – поверхность с расположением рифлей под углом $\gamma = 45^\circ$ к направлению колебаний (рисунок 3, а). Исследовали влияние на время всплывания легкой частицы амплитуды и частоты колебаний опорной поверхности. Амплитуду колебаний меняли в пределах от 4 до 10 мм, частоту колебаний – в пределах от 310 до 510 мин⁻¹. Эксперименты проведены для двух значений толщины слоя зерновой смеси – 30 и 35 мм. Установлено, что при одинаковых сочетаниях амплитуды и частоты колебаний опорной поверхности и одинаковой толщине слоя зерносмеси время всплывания легкой частицы всегда меньше на первой поверхности, то есть на поверхности при расположении рифлей перпендикулярно направлению колебаний. При толщине слоя 30 мм время всплывания легкой частицы на первой поверхности в среднем в 1,5 раза меньше, чем на второй поверхности. При толщине слоя 35 мм легкая частица на первой поверхности всплывает в среднем в 1,65 раз быстрее, чем на второй поверхности.

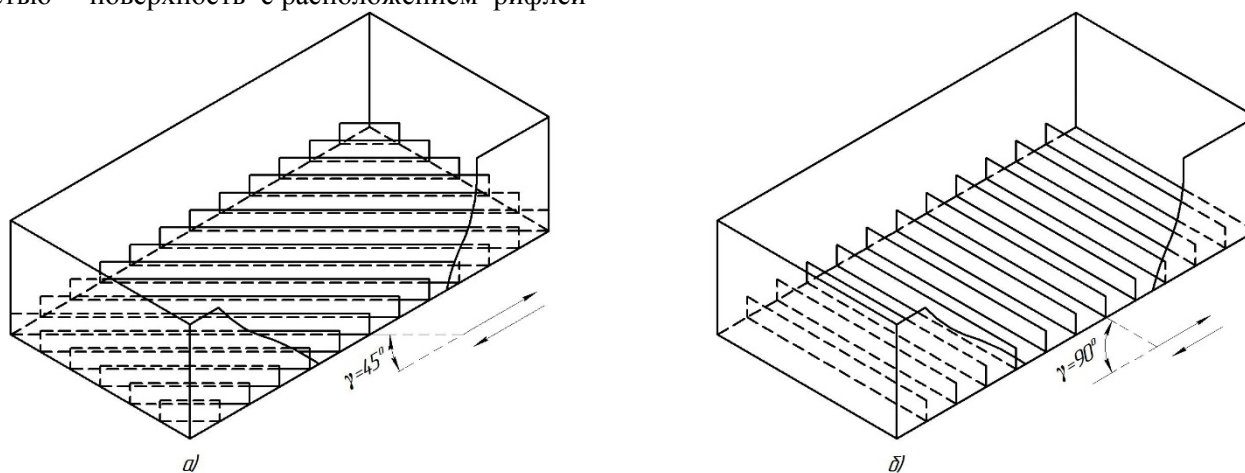


Рисунок 3. Схема рабочего органа для исследования процесса самосортирования: а) рифли расположены под углом $\gamma = 45^\circ$ к направлению колебаний; б) рифли расположены перпендикулярно к направлению колебаний ($\gamma = 90^\circ$)

Figure 3. The scheme of the working body for the study of the process of sorting: a) corrugated bases are located at an angle $\gamma = 45^\circ$ to the direction of oscillations; b) corrugated bases are perpendicular to the direction of oscillations ($\gamma = 90^\circ$)

При увеличении слоя зерновой смеси время всплывания увеличивается на обеих поверхностях, но на первой поверхности в меньшей степени. Так, например, при амплитуде колебаний 4 мм с увеличением толщины слоя с 30 до 35 мм время всплывания на первой поверхности увеличивается в 1,4 раз, а на второй поверхности в 1,6 раз. Аналогичное влияние на время всплывания оказывают амплитуда и частота колебаний. С увеличением

амплитуды или частоты в области исследованных значений время всплывания уменьшается. При этом, на первой поверхности время всплывания уменьшается в большей степени, чем на второй поверхности.

Экспериментально доказано, что повышение эффективности процесса самосортирования на рабочей поверхности может быть обеспечено путем установки рифлей перпендикулярно направлению колебаний.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Гортинский В.В., Демский А.Б., Борискин М.А. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях. М.: Колос, 1980. 304 с.
- 2 Родионова Н.С., Дерканосова А.А. Изучение потребительских свойств композитных смесей для мучных кондитерских изделий // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2012. №1. С. 98-99. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2012-1-98-99>
- 3 Остриков А.Н., Афанасьев В.А., Мануйлов В.В. Разработка технологии зерновых хлопьев для комбикормов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2017. №79(1). С. 15-21. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-1-15-21>
- 4 Godlewski S. et al. Supramolecular ordering of PTCDA molecules: The key role of dispersion forces in an unusual transition from physisorbed into chemisorbed state // ACS nano. – 2012. V. 6. №. 10. P. 8536-8545.
- 5 Mikulionok I. O. Pretreatment of recycled polymer raw material // Russian Journal of Applied Chemistry. 2011. V. 84. №. 6. P. 1105-1113.
- 6 Hopkins J. C. et al. Disentangling the effects of shape and dielectric response in van der Waals interactions between anisotropic bodies // The Journal of Physical Chemistry C. 2015. V. 119. №. 33. P. 19083-19094.
- 7 Tawfik S. et al. Engineering of Micro-and Nanostructured Surfaces with Anisotropic Geometries and Properties // Advanced Materials. 2012. V. 24. №. 13. P. 1628-1674.
- 8 Eserbat-Plantey A. et al. Strain superlattices and macroscale suspension of graphene induced by corrugated substrates // Nano letters. – 2014. V. 14. №. 9. P. 5044-5051.
- 9 Khan M. A., Nadeem M. A., Idriss H. Ferroelectric polarization effect on surface chemistry and photo-catalytic activity: A review // Surface Science Reports. 2016. V. 71. №. 1. P. 1-31.
- 10 Ruths M., Israelachvili J. N. Surface forces and nanorheology of molecularly thin films // Springer Handbook of Nanotechnology. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010. P. 857-922.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Александр М. Васильев к.т.н., доцент, МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127550, Россия, fondprod@rambler.ru

Сергей А. Мачихин д.т.н., профессор, МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127550, Россия, smachexpert@rambler.ru

Алла Н. Стрелюхина д.т.н., профессор, Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Россия, alstrel@rambler.ru

Александр А. Рындин старший преподаватель, кафедра технологии бродильных производств и виноделия, Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Россия, aleksandr-ryndin@rambler.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Александр М. Васильев предложил методику проведения эксперимента

Сергей А. Мачихин обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты

Алла Н. Стрелюхина консультация в ходе исследования

Александр А. Рындин написал рукопись, отредактировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 01.07.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 20.08.2018

REFERENCES

- 1 Gortinskij V.V., Demskij A.B., Boriskin M.A. Processy separirovaniya na zernopererabatyvajushhih predpriyatiyah [Processes of separation on the grain processing enterprises] Moscow, Kolos, 1980. 304 p. (in Russian)
- 2 Rodionova N.S., Derkanosova A.A. Studying of consumer properties composit mixes for the flour confectionery. *Vestnik VGUET* [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies] 2012. no. 1. pp. 98-99. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2012-1-98-99> (in Russian)
- 3 Ostrikov A.N., Afanasiev V.A., Manuilov V.V. Development of cereals for animal feed technology. *Vestnik VGUET* [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies] 2017. no. 79(1). pp. 15-21. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-1-15-21> (in Russian)
- 4 Godlewski S. et al. Supramolecular ordering of PTCDA molecules: The key role of dispersion forces in an unusual transition from physisorbed into chemisorbed state. *ACS nano*. 2012. vol. 6. no. 10. pp. 8536-8545.
- 5 Mikulionok I. O. Pretreatment of recycled polymer raw material. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2011. vol. 84. no. 6. pp. 1105-1113.
- 6 Hopkins J. C. et al. Disentangling the effects of shape and dielectric response in van der Waals interactions between anisotropic bodies. *The Journal of Physical Chemistry C*. 2015. vol. 119. no. 33. pp. 19083-19094.
- 7 Tawfik S. et al. Engineering of Micro-and Nanostructured Surfaces with Anisotropic Geometries and Properties. *Advanced Materials*. 2012. vol. 24. no. 13. pp. 1628-1674.
- 8 Eserbat-Plantey A. et al. Strain superlattices and macroscale suspension of graphene induced by corrugated substrates. *Nano letters*. 2014. vol. 14. no. 9. pp. 5044-5051.
- 9 Khan M. A., Nadeem M. A., Idriss H. Ferroelectric polarization effect on surface chemistry and photo-catalytic activity: A review. *Surface Science Reports*. 2016. vol. 71. no. 1. pp. 1-31.
- 10 Ruths M., Israelachvili J. N. Surface forces and nanorheology of molecularly thin films. *Springer Handbook of Nanotechnology*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010. pp. 857-922.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Aleksandr M. Vasiliev Cand. Sci. (Engin.), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya str., 49, Moscow, 127550, Russia, fondprod@rambler.ru

Sergei A. Machikhin Dr. Sci. (Engin.), professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya str., 49, Moscow, 127550, Russia, smachexpert@rambler.ru

Alla N. Strelyukhina Dr. Sci. (Engin.), professor, Moscow State University of Food production, Volokolamskoe Highway, 11, Moscow, 125080, Russia, alstrel@rambler.ru

Aleksandr A. Ryndin senior lecturer, Department of technology for fermentation and winemaking, Moscow State University of Food production, Volokolamskoe Highway, 11, Moscow, 125080, Russia, aleksandr-ryndin@rambler.ru

CONTRIBUTION

Aleksandr M. Vasiliev proposed a scheme of the experiment and organized production trials

Sergei A. Machikhin review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Alla N. Strelyukhina consultation during the study

Aleksandr A. Ryndin wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 7.1.2018

ACCEPTED 8.20.2018