



Оценка предельного состояния тестоделительных машин вакуумно-поршневого типа по критерию расхода масла

С. А. Величко¹, Е. Г. Мартынова^{1*}, В. И. Иванов²

¹ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)

²ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (г. Москва, Россия)

*el.mart2012@yandex.ru

Введение. Сельское хозяйство включает одну из отраслей переработки сырья, конечным продуктом которой является производство хлеба. При этом наиболее сложной операцией в технологической цепочке производства хлеба является деление готового теста на заготовки одинаковой массы. За эту операцию отвечают тестоделительные машины вакуумно-поршневого типа. В условиях эксплуатации срок службы машин на 30–40 % ниже заявленного заводом-изготовителем. Из-за отсутствия в технической документации предельного состояния машин их эксплуатация продолжается с большими расходами технологических материалов, что отражается на себестоимости готового продукта. Таким образом, целью работы является определение критерия оценки работоспособности тестоделительных машин и предельного значения критерия.

Материалы и методы. Оценка технического состояния тестоделительных машин вакуумно-поршневого типа проводится по расходу пищевого масла Foodline WP 32 (производитель AIMOL). Для измерения массы израсходованного масла и кусков теста применялись весы с точностью измерения $\pm 0,1$ г и ± 1 г соответственно.

Результаты исследования. По результату анализа принципа работы тестоделительных машин критерием работоспособности принят расход масла, который отвечает за точность развесовки теста, создавая в камере всасывания вакуум при заполнении зазоров в сопряжении деталей. При оценке технического состояния машин изготовлением 300 тестовых заготовок, настраиваемых на массу 500 г, получен предельный расход масла, равный 218 г. По предельному расходу масла определен допустимый расход, равный 109 г.

Обсуждение и заключение. Установлено, что на хлебопекарных предприятиях около 30 % тестоделительных машин эксплуатируются в запредельном состоянии. Точность развесовки теста не удается восстановить увеличением расхода масла. Однако, начиная с расхода масла выше допустимого значения, равного 109 г, машины нуждаются в капитальном ремонте. Полученные значения предельного и допустимого состояния тестоделительных машин находят широкое применение на хлебопекарных предприятиях для оценки их технического состояния.

Ключевые слова: тестоделительная машина, тесто, всасывающий механизм, делительный механизм, развесовка теста, предельное состояние, дрессель

Для цитирования: Величко, С. А. Оценка предельного состояния тестоделительных машин вакуумно-поршневого типа по критерию расхода масла / С. А. Величко, Е. Г. Мартынова, В. И. Иванов. – DOI 10.15507/2658-4123.030.202003.448-463 // Инженерные технологии и системы. – 2020. – Т. 30, № 3. – С. 448–463.

© Величко С. А., Мартынова Е. Г., Иванов В. И., 2020



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

The Assessment of the Limit State of the Vacuum Piston Type Dough Divider by Oil Consumption

S. A. Velichko^a, E. G. Martynova^{a*}, V. I. Ivanov^b

^aNational Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

^bFederal Scientific Agroengineering Center VIM (Moscow, Russia)

*el.mart2012@yandex.ru

Introduction. Agriculture includes one of the branches of raw material processing, the final product of which is bread making. At the same time, the most complex operation in the technological chain of bread making is the division of the finished dough into billets of the same mass. This operation is performed by vacuum-piston type dough dividers. Under operating conditions, the service life of dividers is 30-40% lower than the manufacturer's stated. In the technical documentation there is not point of the limit state of dividers, so they continued to be used with high costs of technological materials that determine the cost of the finished product. The purpose of the work is to determine the criterion for evaluating the performance of dough dividers and the limit value of the criterion.

Materials and Methods. Evaluation of the technical condition of vacuum piston type dough dividers was based on the edible oil consumption of food line WP 32 (manufacturer AIMOL). To measure the mass of the consumed oil and the mass of the dough pieces, scales were used with an accuracy of ± 0.1 g and ± 1 g, respectively.

Results. Based on the results of the analysis of the operation principle of dough dividers, the criterion of efficiency is called the oil consumption, which is responsible for the accuracy of weighing the dough through creating a vacuum in the suction chamber when filling gaps in the coupling of parts. When evaluating the technical condition of machines by manufacturing 300 test pieces configured for a mass of 500 g the maximum oil consumption is obtained equal to 218 g. According to the maximum oil consumption, the allowed oil consumption is determined to be 109 g.

Discussion and Conclusion. It is established that at bakery enterprises, about 30% of used dough dividers have an over-extreme limit state and the accuracy in weighing the dough cannot be restored by increasing the oil consumption. However, starting from the oil consumption above the allowed value of 109 g, the machines need major repairs. The obtained values of the limit and allowed state of dough dividers are widely used in bakery enterprises to assess their technical condition.

Keywords: dough divider, dough, dough suction mechanism, dividing mechanism, dough weighing, ultimate limit state, throttle

For citation: Velichko S.A., Martynova E.G., Ivanov V.I. The Assessment of the Limit State of the Vacuum Piston Type Dough Divider by Oil Consumption. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2020; 30(3):448-463. DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.030.202003.448-463>

Введение

Сельское хозяйство включает в себя одну из отраслей переработки сырья, направленную на обеспечение населения хлебом. Современное хлебопекарное производство оснащено разнообразным технологическим и транспортным оборудованием, предназначенным для транспортирования, хранения и подготовки к про-

изводству муки и дополнительного сырья, приготовления теста, его деления и формовки, выпечки и упаковки с последующей транспортировкой [1]. От надежности работы оборудования, используемого в технологических линиях, зависит продовольственная безопасность государства.

Одним из важных этапов в технологическом процессе производства хлеба

и хлебобулочных изделий является деление готового теста на заготовки одинаковой массы. Эту операцию выполняет тестоделительная машина [2].

Проведенный анализ поставляемых на рынок России и стран СНГ тестоделительных машин показал, что лидером в данном сегменте рынка является ЗАО НПП фирма «Восход», на долю которой приходится более 45 % общего объема продаж. Высокая востребованность на российском и зарубежном рынках объясняется сочетанием уникальных технологий, применяемых на предприятии, высокоэффективной организации производственного процесса, бескомпромиссного качества и выгодной цены. В последние годы на предприятии внедрена система Hazard Analysis and Critical Control Point, которая направлена на минимизацию возможных проблем, связанных с безопасностью пищевых изделий.

ЗАО НПП фирма «Восход» выпускает тестоделительные машины марки ТД, которые имеют идентичную конструкцию камер всасывания и отличаются их объемом и количеством мерных камер делительного узла (ТД-4 – одна, ТД-2М – две и ТД-3М – три мерные камеры)¹.

Зарубежными аналогами тестоделительных машин вакуумно-поршневого типа являются: Parta U (Германия), Glimek SD-180 (Швеция), KTM-1 CRV (Турция) [3]. При этом стоимость этого оборудования на порядок превышает стоимость отечественных машин при сопоставимых показателях надежности. Заявленный нормативный срок службы тестоделительных машин отечественных и зарубежных производителей составляет не менее 10 лет при условии соблюдения всех регламент-

ных работ по их обслуживанию и технической эксплуатации².

Исследования эксплуатационной надежности делительных устройств (ДУ) тестоделительных машин, которые ответственны за стабильность развесовки тестовых заготовок, были проведены лабораторией № 11 ГНУ ГОСНИТИ и показали, что при технологической загрузке от 10 до 20 часов в сутки их срок службы составляет не более 5–7 лет [4].

Показателем работоспособности тестоделительных машин является точность развесовки настроенной массы теста. В руководстве по эксплуатации регламентировано, согласно ГОСТу Р 58233-2018, допустимое отклонение заготовок теста значением $\pm 2\%$ при их массе более 200 г³.

Однако в технической документации отсутствуют данные о составных частях, ответственных за выход показателя работоспособности за допустимые пределы, и о характеристике их состояния.

Обзор литературы

В паспорте на изделие завод изготовитель указывает, что за предельное состояние тестоделительной машины следует принимать⁴:

1) отказ одной или нескольких составных частей, восстановление или замена которых на месте эксплуатации невозможны;

2) состояние составных частей, которые приводят к прекращению функционирования тестоделителя или выходу его показателя работоспособности за допустимые пределы;

3) превышение установленного уровня текущих (суммарных) затрат на техническое обслуживание и ремонт или другие признаки, определя-

¹ Машина тестоделительная «Восход-ТД-4». Руководство по эксплуатации В495.00.00.000РЭ; Машина тестоделительная «Восход-ТД-2М». Руководство по эксплуатации В572.00.00.000РЭ; Машина тестоделительная «Восход-ТД-3М». Руководство по эксплуатации В574.00.00.000РЭ.

² Там же.

³ ГОСТ Р 58233-2018. Хлеб из пшеничной муки. Технические условия.

⁴ Машина тестоделительная «Восход-ТД-4». Руководство по эксплуатации...

ющие экономическую нецелесообразность дальнейшей эксплуатации.

Однако в паспорте отсутствует критерий и критериальное значение предельного состояния тестоделительных машин, при достижении которого их эксплуатация запрещена.

По данным ряда работ, при проведении исследований эксплуатационной надежности ДУ тестоделительных машин критерием предельного состояния является внешняя утечка теста через образовавшиеся зазоры в соединениях деталей [5–8]. Однако это противоречит принципу работы тестоделительных машин.

В других работах представленные результаты микрометражных исследований поверхностей деталей тестоделительных машин вакуумно-поршневого типа «А2–ХПО/5», PARTA U2, SP-2, BENIER показали, что максимальные эксплуатационные зазоры в соединениях всасывающей камеры составляют от 300 до 1 000 мкм [9; 10]. Эти значения зазоров в соединениях деталей превышают принятые в машиностроении нормы более чем в два раза, а их дальнейшая эксплуатация становится нецелесообразной. Однако в работах дан только диапазон зазоров, но не определено его предельное значение.

В серии исследований отмечается зависимость качества хлебобулочных изделий из пшеничного теста от режимов его обработки в тестоделительных машинах [11; 12]. Проведенные исследования направлены на определение критерия предельного состояния работы тестоделительных машин. Однако заводы-изготовители машин дают рекомендации по вязкости теста, а ее изменение приводит к внешней утечке теста и нарушению дальнейшей его обработки в технологической цепочке, например, на округлителях.

Из-за отсутствия критерия оценки работоспособности тестоделительной машины предлагается конструкторское решение по замене дозирующего устройства теста [13].

Таким образом, целью данных исследований является определение критерия и критериального значения предельного состояния работоспособности ДУ вакуумно-поршневого типа.

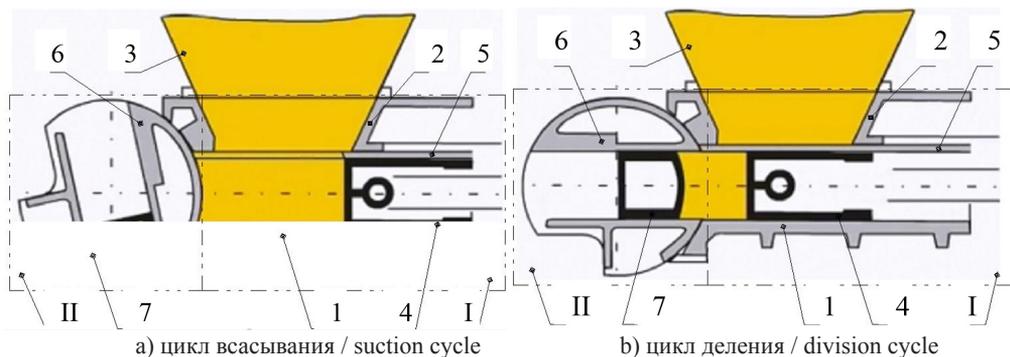
Материалы и методы

В качестве смазочно-технологической жидкости применялось масло Foodline WP 32 (производитель AIMOL), имеющее при температуре 40 °С вязкость 40 сСт, плотность 0,840 г/мл; температура масла при испытаниях составляла (25 ± 5) °С. Весы для измерения емкости с пищевым маслом, которое подается в дроссели, имеют точность измерения $\pm 0,1$ г. Весы, используемые для измерения массы кусков теста, имеют точность измерения ± 1 г.

Конструкция ДУ вакуумно-поршневого типа (рис. 1) включает в себя два основных механизма: всасывающий (I) для наполнения камеры всасывания тестом и делительный (II) для получения заготовки настроенной массы.

В начальный момент наполнения всасывающей камеры тестом отверстие в конце камеры закрыто боковой поверхностью барабана 6, а всасывающий поршень и отрезной нож находятся в конце камеры с зазором относительно поверхности барабана 5 ± 1 мм и 3 ± 1 мм соответственно (рис. 1а). Этот зазор после первого запуска тестоделительной машины заполняется тестом. При наполнении всасывающей камеры тестом первым движением начинает отрезной нож, открывая нижнюю часть бункера. Затем в этом же направлении начинает двигаться поршень, засасывая внутрь камеры тесто за счет создаваемого разрежения.

После наполнения всасывающей камеры наступает цикл деления (рис. 1б). При делении из камеры всасывания поршень нагнетает тесто в мерную камеру, заполняя ее до момента, когда мерный поршень упрется в ограничитель, настроенный на заданную массу заготовки. Затем барабан поворачива-



Р и с. 1. Схема работы ДУ: 1 – корпус всасывающей камеры; 2 – верхняя часть камеры всасывания; 3 – бункер; 4 – всасывающий поршень; 5 – отрезной нож; 6 – барабан; 7 – мерный поршень

Fig. 1. Operation diagram of the remote control unit: 1 – suction chamber body; 2 – upper part of the suction chamber; 3 – hopper; 4 – suction piston; 5 – cutting knife; 6 – drum; 7 – dimensional piston

ется на 90°, отрезая порцию заготовки теста, и при вертикальном положении мерной камеры мерный поршень выталкивает ее на транспортную ленту.

Детали ДУ, работающие в подвижных соединениях, изготавливаются с зазорами не более 0,05–0,1 мм. Подаваемое через дроссели пищевое масло, растекаясь по поверхностям деталей, заполняет зазоры, перекрывая доступ воздуха внутрь камеры и обеспечивая вакуум [14–17].

Два дросселя подают масло через боковые отверстия камеры всасывания, откуда оно попадает в зазоры (рис. 1) «всасывающий поршень 4 – камера 1» и «отрезной нож 5 – камера 1». Третий дроссель подает масло через верхнюю часть камеры всасывания со стороны делительного барабана. Отсюда масло попадает в зазор соединения «барабан 6 – камера всасывания 1». Четвертый дроссель подает масло также через верхнюю часть камеры всасывания, но с противоположной стороны от делительного барабана, заполняя зазор соединения «отрезной нож 5 – верхняя часть камеры всасывания 2». Кроме того, масло, стекая по технологическим отверстиям в ноже и поршне,

омывает поверхности этих деталей в соединениях «поршень 4 – дно камеры 1» и «поршень 4 – отрезной нож 5». Подача масла регулируется винтом дросселя, имеющим 10 оборотов, от полного закрытия до полного открытия проходного сечения.

Насос марки РЕКАР, установленный на тестоделительных машинах, имеет пропускную способность масла 1,4 мл за один рабочий ход диафрагмы, благодаря которой расход масла увеличивается при увеличении зазоров или прекращается при их отсутствии [14]. При этом давление нулевой подачи составляет не более 0,3 кгс/см², так как он перестает засасывать масло.

Согласно техническому паспорту система подачи масла настраивается регулировкой дросселей на расход 320–350 мл на 1 000 заготовок. Для обеспечения указанного расхода масла верхние дроссели открываются на 3 оборота, а боковые на 2 оборота из-за разной площади трения деталей.

В процессе эксплуатации тестоделительной машины изнашиваются рабочие поверхности деталей как всасывающего, так и делительного механизмов [18–21].

Так как торцевая часть всасывающей камеры со стороны делительного механизма закрыта остатками теста, то на падение вакуума будет влиять увеличение зазоров в соединениях «всасывающий поршень – вертикальная часть камеры», «отрезной нож – вертикальная часть камеры», «отрезной нож – верхняя часть камеры всасывания», «поршень – дно камеры» и «поршень – отрезной нож».

Исключение попадания воздуха в камеру всасывания из-за износа деталей достигается увеличением подачи масла. При этом подачу начинают через верхний дроссель с противоположной стороны от делительного барабана. После его полного открытия подачу масла увеличивают боковыми дросселями.

По мере увеличения износа деталей наступает момент, когда подача масла не обеспечивает вакуум во всасывающей камере и точность развесовки теста в допустимых границах. Данное состояние ДУ тестоделительных машин вакуумно-поршневого типа следует принимать как предельное [18; 22].

Задачей эксперимента являлось определение предельного значения расхода пищевого масла, подаваемого в зазоры соединений, при котором не обеспечивается точность развесовки в заданных пределах. Исследования проведены с использованием тестоделительных машин ТД-4, находящихся в эксплуатации на хлебопекарных предприятиях г. Саранска.

Настройку подачи масла через дроссели производили из расчета для 300 тестовых заготовок из пшеничной муки влажностью более 40 % массой 500 ± 10 г. Исходя из условия, что подача масла для новых тестоделительных машин должна составлять 269–294 г на 1 000 таких заготовок, для 300 тесто-

вых заготовок среднее значение составило 85 г. Данную подачу обеспечили открытием верхних дросселей на три оборота и боковых – на два оборота.

С учетом технических характеристик насоса пропускная способность дросселей за один оборот винта составила 8,8 г.

После загрузки теста в бункер включается тестоделительная машина и увеличением частоты вращения коленчатого вала выставляется средняя производительность получения тестовых заготовок, равная 15 шт/мин.

Контроль массы тестовых заготовок осуществлялся выборочно. Для нормального закона распределения массы при доверительной вероятности $\alpha_0 = 0,90$, значении относительной ошибки $\varepsilon_a = 5$ %, коэффициенте вариации $V = 0,15$ достаточно взвесить 16 заготовок из 300 полученных⁵ [23].

Если среднее значение массы измеренных кусков тестовых заготовок выходило за допустимые значения, то дополнительно открывались дроссели: сначала верхний с противоположной стороны от барабана, а затем боковые. Учитывалось, что подача масла через боковые дроссели должна начинаться только после того, как верхний дроссель будет выкручен до конца. После каждой регулировки процесс контроля расхода масла и массы тестовых заготовок повторялся до достижения точности развесовки в заданных пределах.

После определения критериального значения работоспособности ДУ проводилась оценка их технического состояния в условиях эксплуатации хлебопекарных предприятий.

Для выбора количества объектов исследования использовали критерий χ^2 -квадрат, задав критическое значение мощности $p_{кр} = 0,5$ и значение од-

⁵ Боровиков В. П. СТАТИСТИКА. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов. СПб.: Питер, 2003. 688 с.; Артемьев Ю. Н. Качество ремонта и надежность машин в сельском хозяйстве. М.: Колос, 1981. 239 с.; Сквородин В. Я., Тишкин Л. В. Справочная книга по надежности сельскохозяйственной техники. Л.: Лениздат, 1985. 204 с.

носторонней доверительной вероятности $p_d = 0,80^6$ [23].

Результаты исследования

Проведенный анализ принципа работы тестоделительных машин вакуумно-поршневого типа позволил определить критерий предельного состояния – подача пищевого масла в трущиеся соединения деталей.

Результаты оценки технического состояния ДУ тестоделительных машин по критерию расхода масла, обеспечивающего разрежение воздуха в камере всасывания, представлены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что из 16 тестоделительных машин, принятых для исследований, две машины (№ 1 и 3)

Т а б л и ц а 1

T a b l e 1

Результаты определения массы кусков теста от расхода масла
Results of determining the dependence of the weight of dough pieces on oil consumption

Номер тестоделительной машины / Number of the dough dividing machine	Масса заготовок при номинальной подаче масла M_n , г / Weight of workpieces at nominal oil supply M_n , g	Масса заготовок при увеличенной подаче масла M_y , г / Weight of the workpieces at an increased oil supply M_y , g	Расход масла Q , г / Oil consumption Q , g	Величина открытия дросселей / Throttle opening value
1	506	–	81	Верхний 3 оборота, боковые 2 оборота / Upper 3 turns, sidebar 2 turns
2	478	494	95	Верхний 4 оборота, боковые 2 оборота / Upper 4 turns, sidebar 2 turns
3	498	–	86	Верхний 3 оборота, боковые 2 оборота / Upper 3 turns, sidebar 2 turns
4	462	504	125	Верхний 7 оборотов, боковые 2 оборота / Upper 7 turns, sidebar 2 turns
5	460	503	129	Верхний 8 оборотов, боковые 2 оборота / Upper 8 turns, sidebar 2 turns
6	468	504	112	Верхний 6 оборотов, боковые 2 оборота / Upper 6 turns, sidebar 2 turns
7	472	498	104	Верхний 5 оборотов, боковые 2 оборота / Upper 5 turns, sidebar 2 turns

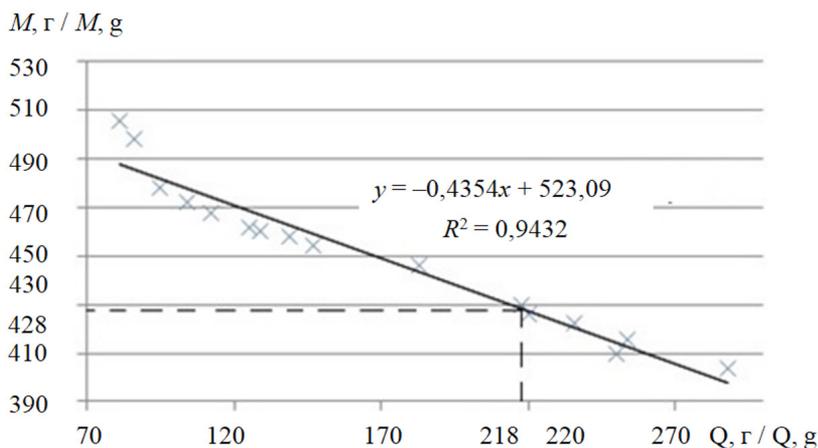
⁶ Боровиков В. П. STATISTIKA. Искусство анализа...

Окончание табл. 1 / End of table 1

Номер тестоделительной машины / Number of the dough dividing machine	Масса заготовок при номинальной подаче масла M_n , г / Weight of workpieces at nominal oil supply M_n , g	Масса заготовок при увеличенной подаче масла M_z , г / Weight of the workpieces at an increased oil supply M_z , g	Расход масла Q , г / Oil consumption Q , g	Величина открытия дросселей / Throttle opening value
8	458	496	139	Верхний 9 оборотов, боковые 2 оборота / Upper 9 turns, sidebar 2 turns
9	422	482	236	Верхний 10 оборотов, боковые 7 оборотов / Upper 10 turns, sidebar 7 turns
10	446	494	183	Верхний 10 оборотов, боковые 4 оборота / Upper 10 turns, sidebar 4 turns
11	454	500	147	Верхний 10 оборотов, боковые 2 оборота / Upper 10 turns, sidebar 2 turns
12	404	468	288	Верхний 10 оборотов, боковые 10 оборотов / Upper 10 turns, sidebar 10 turns
13	426	502	220	Верхний 10 оборотов, боковые 6 оборотов / Upper 10 turns, sidebar 6 turns
14	430	496	218	Верхний 10 оборотов, боковые 6 оборотов / Upper 10 turns, sidebar 6 turns
15	416	474	254	Верхний 10 оборотов, боковые 8 оборотов / Upper 10 turns, sidebar 8 turns
16	410	478	250	Верхний 10 оборотов, боковые 8 оборотов / Upper 10 turns, sidebar 8 turns

обеспечивают точность развесовки массы теста в заданных пределах при открытии верхних дросселей на три оборота, а боковых – на два оборота. Из остальных 14 машин у 4 точность развесовки массы теста выходит за допустимые значения, начиная с открытия верхнего дросселя с противоположной стороны от барабана делителя

на 10 оборотов, а боковых – на семь оборотов (№ 9, 12, 15, 16). У остальных 10 машин точность развесовки массы теста, выходящая за допустимые значения, восстанавливается при открытии верхнего дросселя с противоположной стороны от барабана делителя на 10 оборотов, а боковых – на 6 оборотов.



Р и с. 2. График зависимости массы тестовых заготовок тестоделительных машин от расхода масла
 Fig. 2. Graph of the dependence of the weight of dough blanks of dough dividers on the oil consumption

По значениям, полученным экспериментальным путем, методом наименьших квадратов получена линейная зависимость, описывающая корреляционную связь технического состояния тестоделительной машины по критерию расхода масла, обеспечивающего вакуум во всасывающей камере, и точностью развесовки массы тестовой заготовки. График представлен на рисунке 2.

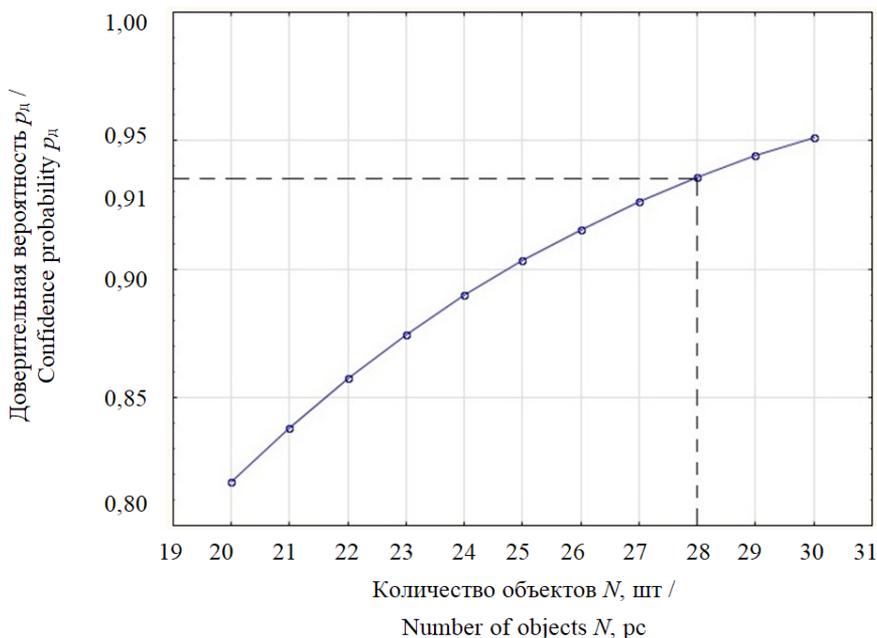
Установлено, что при подаче пищевого масла, начиная со значения 218 г за 300 заготовок, оно не успевает заполнять зазоры и обеспечивать вакуум во всасывающей камере, то есть обеспечение точности развесовки теста исключается. Данное значение следует принимать как предельное состояние работоспособности ДУ тестоделительной машины. Для обеспечения предельного расхода масла верхний дроссель с противоположной стороны от барабана делителя открывается на 10 оборотов, а боковые – на 7 оборотов.

Согласно регламенту постановки изделия на капитальный ремонт за критерий технического состояния принимается допустимое значение параметра работоспособности. Многократно дока-

зано, что предельное и допустимое значения являются функцией ресурса, условий эксплуатации и ремонта. Тогда, чтобы после первого капитального ремонта наработка соединения была равна фактической наработке в доремонтный период эксплуатации, допустимое значение не должно превышать 50 % от предельного значения параметра работоспособности. Основываясь на данном положении, для тестоделительной машины ТД-4 допустимый расход масла на 300 заготовок составит 109 г. Для обеспечения допустимого расхода масла верхний дроссель с противоположной стороны от барабана делителя открывается на 6 оборотов, а боковые – на два оборота.

Для определения технического состояния ДУ, находящихся в условиях эксплуатации, количество принятых для исследования машин определялось для установленных значений параметров по графику зависимости количества объектов N от односторонней доверительной вероятности p_d критерия χ^2 -квадрат (рис. 3) [23].

«Из графика на рисунке 3 видно, что для принятой односторонней дове-



Р и с. 3. График зависимости количества объектов N от односторонней доверительной вероятности p_d критерия хи-квадрат

Fig. 3. Graph of the dependence of the number of objects N on the one-way confidence probability of the hi -square criterion

рительной вероятности $p_d = 0,80$ количество объектов для проведения эксперимента равно $N = 28$ шт» [23].

В таблице 2 представлены результаты статистической обработки параметра работоспособности тестоделительных машин модели ТД-4, значения которых выше допустимого, где \bar{Q} – среднее арифметическое выборки расхода масла, мкм; σ – стандартное отклонение; Q_{\max} (Q_{\min}) – максимальное (минималь-

ное) значение выборки расхода масла, мкм.

Для определения теоретического закона распределения расхода масла, характеризующего техническое состояние ДУ тестоделительных машин, проведена проверка нормальности результатов измерений по критерию Шапиро – Уилка (W)⁷ [23].

Представленные в таблице 2 результаты показывают, что для тесто-

Таблица 2

Table 2

Параметры дескриптивной статистики выборки расхода масла тестоделительных машин ТД-4

Parameters of descriptive statistics for sampling oil consumption of TD-4 dough divider

N	\bar{Q}	σ	Диапазон значений / Range of values		p_W
			Q_{\max}	Q_{\min}	
28	180,7	65,2	296	110	0,0009

⁷ Там же.

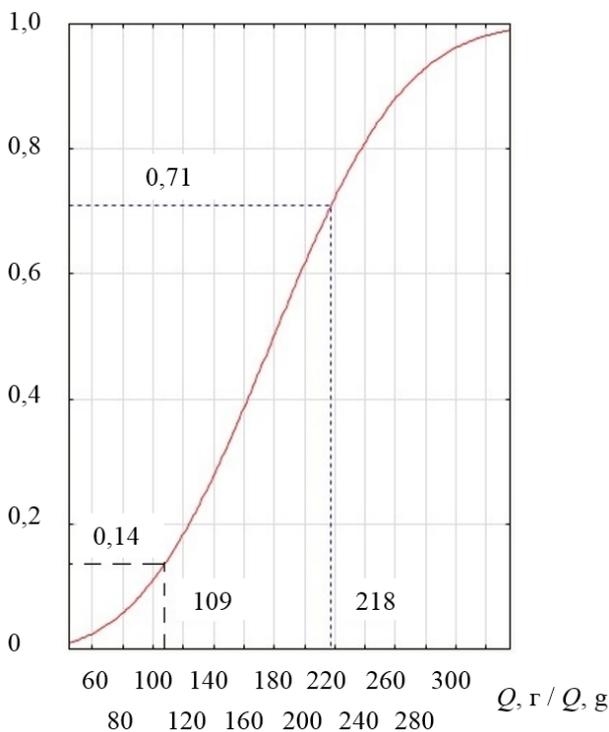
делительных машин ТД-4 уровень W -критерия $p_W < 0,05$, что отвергает нулевую гипотезу о нормальном распределении значений выборки.

Оценку качества подгонки измерений расхода масла к закону Вейбулла – Гнеденко проводили по критерию Холландера – Прошана (HP)⁸ [23]. Результаты расчета показали, что текущее

значение уровня значимости p_{HP} равно 0,88, следовательно, имеет место альтернативная гипотеза.

Параметры закона определялись методом максимального правдоподобия с использованием программы Statistica.

В таблице 3 представлены параметры закона распределения Вейбулла – Гнеденко. Математическое ожидание



Р и с. 4. Функция распределения расхода масла

F i g. 4. Function of oil consumption distribution

Т а б л и ц а 3

T a b l e 3

**Параметры закона распределения Вейбулла расхода масла Q тестоделительных машин ТД-4
Parameters of the law of Q Weibull distribution of oil consumption of TD-4 dough dividers**

Параметры трехпараметрического закона распределения Вейбулла / Parameters of the three-parameter law distributions Weibull	μ	181,00
	c	100,70
	a	85,80
	b	1,23
p_{HP}		0,63

⁸ Там же.

трехпараметрической функции μ определялось с использованием модуля «вероятностный калькулятор» в программе Statistica.

Из рисунка 4 и таблицы 3 видно, что 29 % тестоделительных машин на хлебопекарных предприятиях эксплуатируются в запредельном состоянии. У 71 % находящихся на эксплуатации тестоделительных машин расход масла не превышает предельного значения.

Обсуждение и заключение

Установлено, что из-за отсутствия регламента постановки тестоделительных машин на капитальный ремонт не менее 29 % из их числа эксплуатируются в запредельном состоянии с нарушением установленной ГОСТом нормы развесовки теста. При этом значительно превышает расход дорогостоящего пищевого масла, что негативно отражается на себестоимости готового продукта.

На основе анализа конструкции и принципа работы делительных устройств вакуумно-поршневого типа тестоделительных машин установлено, что критерием предельного технического состояния служит количество пищевого масла, необходимое для за-

полнения зазоров в трущихся соединениях, создания за счет этого вакуума во всасывающей камере и обеспечения таким образом точности развесовки теста в заданных пределах.

В качестве оценки предельного состояния работоспособности делительного устройства тестоделительной машины экспериментально установлено предельное значение расхода пищевого масла для получения 300 заготовок теста, равное 218 г. При этом принятое допустимое значение расхода пищевого масла при получении 300 тестовых заготовок равно 109 г.

Определение предельного и допустимого значения расхода масла тестоделительных машин вакуумно-поршневого типа находит практическое применение в инженерных службах хлебопекарных предприятий, позволяющих своевременно поставлять оборудование на капитальный ремонт. Полученная зависимость развесовки теста от расхода масла позволяет провести диагностику оценки технического состояния тестоделительных машин и спрогнозировать остаточный ресурс.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Махмадшоев, О. Х.** Оборудование для замеса теста / О. Х. Махмадшоев, А. В. Михеев // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. – 2018. – № 20. – С. 594–596.
2. **Арабей, Е. В.** Характеристика оборудования для формования и разделки теста / Е. В. Арабей, В. Н. Балабанов // Вестник современных исследований. – 2017. – № 5–1 (8). – С. 120–123.
3. **Калачев, М. В.** Классификация тестоделителей. Тестоделители зарубежных марок / М. В. Калачев, В. М. Хромеенков, Ю. В. Зуева // Хлебопечение России. – 2007. – № 6. – С. 22–23. – Рез. англ.
4. **Бурумкулов, Ф. Х.** Ремонт тестоделительных устройств вакуумного типа методом электросварки наплавки / Ф. Х. Бурумкулов, В. И. Иванов, А. В. Молодых [и др.] // Хлебопечение России. – 2004. – № 2. – С. 34–36.
5. **Громцев, А. С.** Исследования точности деления теста, замена методики определения точности тестоделительных машин / А. С. Громцев // Процессы и аппараты пищевых производств. – 2009. – № 1. – С. 40–43. – URL: http://processes.ihbt.ifmo.ru/ru/article/7267/issledovaniya_tochnosti_deleniya_testa_zamena_metodiki_opredeleniya_tochnosti_testodelitelnyh_mashin.htm (дата обращения: 07.08.2020).
6. **Макаров, Е. А.** Актуальный ассортимент или возможности бесстрессового тестоделения (АГРО-3) / Е. А. Макаров // Хлебопродукты. – 2009. – № 5. – С. 28–29. – URL: <https://khlebprod.ru/old/text.php?text=2382&heads=1> (дата обращения: 07.08.2020).

7. **Иванов, В. И.** Оценка точности и стабильности объемного деления теста / В. И. Иванов, А. В. Молодых // Хлебопечение России. – 2006. – № 3. – С. 33–35.
8. **Бурумкулов, Ф. Х.** Погрешность дозировки и утчка теста в тестоделителях вакуумного типа / Ф. Х. Бурумкулов, В. И. Иванов, А. В. Молодых [и др.] // Хлебопечение России. – 2004. – № 6. – С. 34–37.
9. **Алексеев, Г. В.** Экспериментальное уточнение условий повышения точности дозирования жидкостей // Г. В. Алексеев, А. С. Громцев, А. Г. Леу // Техника машиностроения. – 2016. – Т. 23, № 3 (99). – С. 57–63. – Рез. англ.
10. **Андреева, Е. В.** Определение рациональных параметров рабочих органов тестоделительных машин / Е. В. Андреева // Инженерно-техническое обеспечение АПК. – 2007. – № 1. – С. 41.
11. **Гайдай, Г. С.** Вплив агротехніки вирощування та післяжнивного фракціонування на борошномельні і хлібопекарські властивості пшениці / Г. С. Гайдай, І. В. Гайдай, Л. Л. Новак // Науковий огляд. – 2014. – Т. 3, № 2. – С. 137–145. – URL: <https://naukajournal.org/index.php/naukajournal/article/view/142> (дата обращения: 07.08.2020). – Рез. англ.
12. **Волошенко, С. В.** Эффективная технология ферментной гидратации растительных масел / С. В. Волошенко, Ф. Ф. Гладкий // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 4, № 6 (58). – С. 4–6. – URL: <http://journals.uran.ua/ejet/article/view/5582> (дата обращения: 07.08.2020). – Рез. англ.
13. **Пальчиков, А. Н.** Разработка тестоделителя с уточненным отмериванием дозы / А. Н. Пальчиков, В. И. Копилец // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: процессы и аппараты пищевых производств. – 2015. – № 1. – С. 203–208. – URL: http://processes.ihbt.ifmo.ru/ru/article/11541/razrabotka_testodelitelya_s_utochnennym_otmerivaniem_dozy_.htm (дата обращения: 07.08.2020). – Рез. англ.
14. **Шеламова, С. А.** Влияние ферментированного растительного масла на адгезионные свойства теста / С. А. Шеламова, Н. М. Дерканосова, Ю. А. Тырсин [и др.] // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2013. – № 2 (19). – С. 37–41. – URL: http://oreluniver.ru/public/file/archive/2_2013.pdf (дата обращения: 07.08.2020). – Рез. англ.
15. **Анисимова, Л. В.** Реологические свойства теста из смеси пшеничной и люпиновой муки / Л. В. Анисимова, Е. С. Серебrenикова, В. Е. Бондаренко [и др.] // Ползуновский вестник. – 2018. – № 4. – С. 40–44. – URL: http://elib.altstu.ru/journals/Files/pv2018_04/pdf/040Anisimova.pdf (дата обращения: 07.08.2020). – Рез. англ.
16. **Васечкин, М. А.** Влияние пневмообдува на реологические свойства мучного теста / М. А. Васечкин, О. А. Носов, Ю. С. Витко // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2010. – № 6. – С. 52–53.
17. **Бегеулов, М. Ш.** Реологические свойства теста / М. Ш. Бегеулов // Хлебопродукты. – 2003. – № 2. – С. 18–19. – URL: <https://khlebprod.ru/old/digest1.php?nid=0203> (дата обращения: 07.08.2020). – Рез. англ.
18. **Ионов, П. А.** Разработка стенда для оценки технического состояния объемных гидроприводов с гидравлическим нагружающим устройством / П. А. Ионов, П. В. Сенин, С. В. Пьянзов [и др.]. – DOI 10.15507/2658-4123.029.201904.529-545 // Инженерные технологии и системы. – 2019. – Т. 29, № 4. – С. 529–545. – URL: <http://vestnik.mrsu.ru/index.php/en/articles2-en/86-19-4/735-10-15507-0236-2910-029-201904-4> (дата обращения: 07.08.2020). – Рез. англ.
19. **Mikhailov, V. V.** Electrosark Alloying of Titanium and Its Alloys: the Physical, Technological, and Practical Aspects. Part I. The Peculiarities of the Mass Transfer and the Structural and Phase Transformations in the Surface Layers and Their Wear and Heat Resistance / V. V. Mikhailov, A. E. Gitlevich, A. D. Verkhoturov [et al.]. – DOI 10.3103/S1068375513050074 // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – 2013. – Vol. 49, Issue 5. – Pp. 373–395. – URL: <https://link.springer.com/article/10.3103/S1068375513050074> (дата обращения: 07.08.2020). – Рез. англ.
20. **Wei-fu, W.** Fabrication of Stainless Steel Microstructure Surface by Electro-Sark Deposition / W. Wei-fu. – DOI 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2017.05.026 // Surface Technology. – 2017. – Vol. 46, Issue. 5. – Pp. 159–164. – URL: <https://www.cnki.net/kcms/doi/10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2017.05.026.html> (дата обращения: 07.08.2020). – Рез. англ.

21. **Gordienko, P. S.** Electrophysical Model of the Erosion of Electrodes under the Energy Pulse Effect / P. S. Gordienko, A. D. Verkhoturov, V. A. Dostovalov [et al.]. – DOI 10.3103/S1068375511030045 // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – 2011. – Vol. 47, Issue 3. – Pp. 206–216. – URL: <https://link.springer.com/article/10.3103%2FS1068375511030045> (дата обращения: 07.08.2020).

22. **Георгиевская, Е. В.** Обеспечение надежности и безопасности эксплуатации гидроагрегатов за пределами проектного срока службы / Е. В. Георгиевская // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2017. – Т. 19, № 7–8. – С. 33–42. – URL: <https://www.energyret.ru/jour/article/view/411> (дата обращения: 07.08.2020). – Рез. англ.

23. **Мартынова, Е. Г.** Результаты микрометрических исследований деталей тестоделительных машин вакуумного типа / Е. Г. Мартынова, С. А. Величко, А. В. Мартынов. – DOI 10.23947/1992-5980-2019-19-3-231-241 // Вестник ДГТУ. – 2019. – Т. 19, № 3. – С. 231–241. – URL: <https://www.vestnik-donstu.ru/jour/article/view/1530> (дата обращения: 07.08.2020). – Рез. англ.

Поступила 09.03.2020; принята к публикации 10.05.2020; опубликована онлайн 30.09.2020

Об авторах:

Величко Сергей Анатольевич, преподаватель кафедры технического сервиса машин Института механики и энергетики ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат технических наук, доцент, Researcher ID: G-9021-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6254-5733>, velichko2005@yandex.ru

Мартынова Елена Геннадьевна, аспирант кафедры технического сервиса машин Института механики и энергетики ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), Researcher ID: C-5023-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6870-0498>, el.mart2012@yandex.ru

Иванов Валерий Игоревич, заведующий лабораторией электроискровых и термомодифицируемых процессов ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (109428, Россия, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), кандидат технических наук, Researcher ID: H-4076-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4568-8553>, tehnoinvest-vip@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

С. А. Величко – анализ результатов; Е. Г. Мартынова – экспериментальные исследования, обзор и анализ литературы; В. И. Иванов – формулировка выводов, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Makhmadshoev O.Kh., Mikheev A.V. Dough Mixing Equipment. *Aktualnye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktov selskogo khozyaystva* = Actual Issues of Improvement of Agricultural Production and Processing Technology. 2018; (20):594-596. (In Russ.)
2. Arabey E.V., Balabanov V.N. Characteristics of Equipment for Forming and Cutting Dough. *Vestnik sovremennykh issledovaniy* = Journal of Modern Research. 2017; (5-1):120-123. (In Russ.)
3. Kalachev M.V., Khromeenkov V.M., Zueva Yu.V. Classification of Dough Divider. Dough Divider of Foreign Brands. *Khlebopechenie Rossii* = Baking of Russia. 2007; (6):22-23. (In Russ.)
4. Burumkulov F.Kh., Ivanov V.I., Molodykh A.V., et al. Repair of Vacuum-Type Dough Dividers by Electrospark Cladding Method. *Khlebopechenie Rossii* = Baking of Russia. 2004; (2):34-36. (In Russ.)
5. Gromtsev A.S. Test Division Accuracy Studies, Replacement of the Method for Determining the Accuracy of Dough Dividing Machines. *Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv* = Processes and

Food Production Equipment. 2009; (1):40-43. Available at: http://processes.ihbt.ifmo.ru/ru/article/7267/issledovaniya_tochnosti_deleniya_testa_zamena_metodiki_opredeleniya_tochnosti_testodelitelnyh_mashin.htm (accessed 07.08.2020). (In Russ.)

6. Makarov Ye.A. Current Assortment or Stress-Free Dough Dividing Options (AGRO-3). *Khleboprodukty* = Bakery Products. 2009; (5):28-29. Available at: <https://khlebprod.ru/old/text.php?text=2382&heads=1> (accessed 07.08.2020). (In Russ.)

7. Ivanov V.I., Molodykh A.V. Evaluation of the Accuracy and Stability of the Volume Division of Dough. *Khlebopechenie Rossii* = Baking of Russia. 2006; (3):33-35. (In Russ.)

8. Burumkulov F.Kh., Ivanov V.I., Molodykh A.V., et al. Dosing Error and Dough Leakage in Vacuum Type Dough Dividers. *Khlebopechenie Rossii* = Baking of Russia. 2004; (6):34-37. (In Russ.)

9. Alexeev G.V., Gromcev A.S., Leu A.G. Experimental Specification of Conditions for Improving the Accuracy of Liquid Dosing. *Tekhnika mashinostroeniya* = Engineering Technology. 2016; 23(3):57-63. (In Russ.)

10. Andreeva Ye.V. Determination of Rational Parameters of Working Elements of Dough Dividing Machines. *Inzhenerno-tehnicheskoe obespechenie APK* = Engineering and Technical Support of Agrarian and Industrial Complex. 2007; (1):41. (In Russ.)

11. Hayday G.S., Hayday I.V., Novak L.L. The Impact of Growing and Postharvest Fractionation Agrotechnic on Flour Milling and Baking Properties of Wheat. *Naukoviy oglyad* = Scientific Review. 2014; 3(2):137-145. Available at: <https://naukajournal.org/index.php/naukajournal/article/view/142> (accessed 07.08.2020). (In Ukr.)

12. Voloshenko S.V., Gladkiy F.F. The Effective Enzyme Technology of Oils Degumming. *Vostochno-evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy* = Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2012; 4(6):4-6. Available at: <http://journals.urau.ru/eejet/article/view/5582> (accessed 07.08.2020). (In Russ.)

13. Palchikov A.N., Kopilets V.I. Development of a Dough Divider with Accurate Dose Measurement. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya: protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv* = Scientific journal NRU ITMO. Series: Processes and Food Production Equipment. 2015; (1):203-208. Available at: http://processes.ihbt.ifmo.ru/ru/article/11541/razrabotka_testodelitelya_s_utochnennym_otmerivaniem_dozy.htm (accessed 07.08.2020). (In Russ.)

14. Shelamova S.A., Derkanosova N.M., Tyrsin Yu.A., et al. Influence of the Fermented Vegetable Oil on Adhesive Properties of Dough. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh pishchevykh produktov* = Technology and the Study of Merchandise of Innovative Foodstuffs. 2013; (2):37-41. Available at: http://oreluniver.ru/public/file/archive/2_2013.pdf (accessed 07.08.2020). (In Russ.)

15. Anisimova L.V., Serebrenikova Ye.S., Bondarenko V.Ye., et al. Rheological Properties of Dough Made of a Mixture of Wheat and Lupine Flour. *Polzunovskiy vestnik* = Polzunov's Bulletin. 2018; (4):40-44. Available at: http://elib.altstu.ru/journals/Files/pv2018_04/pdf/040Anisimova.pdf (accessed 07.08.2020). (In Russ.)

16. Vasechkin M.A., Nosov O.A., Vitko Yu.S. The Influence of Pneumatic Blowing on the Rheological Properties of the Flour Dough. *Khranenie i pererabotka sel'hozsyrya* = Storage and Processing of Farm Products. 2010; (6):52-53. (In Russ.)

17. Begeulov M.Sh. Dough Rheological Properties. *Khleboprodukty* = Bakery Products. 2003; (2):18-19. Available at: <https://khlebprod.ru/old/digest1.php?nid=0203> (accessed 07.08.2020). (In Russ.)

18. Ionov P.A., Senin P.V., Pyanzov S.V., et al. Developing a Stand for Evaluating Technical Condition of Volumetric Hydraulic Drives with a Hydraulic Loading Device. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2019; 29(4):529-545. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.029.201904.529-545>

19. Mikhailov V.V., Gitlevich A.E., Verkhoturov A.D., et al. Electrosplark Alloying of Titanium and Its Alloys: the Physical, Technological, and Practical Aspects. Part I. The Peculiarities of the Mass Transfer and the Structural and Phase Transformations in the Surface Layers and Their Wear and Heat Resistance. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2013; 49(5):373-395. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.3103/S1068375513050074>

20. Wei-fu W. Fabrication of Stainless Steel Microstructure Surface by Electro-Spark Deposition. *Surface Technology*. 2017; 46(5):159-164. (In Chin.) DOI: <https://doi.org/10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2017.05.026>

21. Gordienko P.S., Verkhoturov A.D., Dostovalov V.A., et al. Electrophysical Model of the Erosion of Electrodes under the Energy Pulse Effect. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2011; 47(3):206-216. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.3103/S1068375511030045>

22. Georgievskaya E.V. The Reliability and Operation Safety of Hydraulic Units beyond Design Lifetime. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki = Power Engineering: Research, Equipment, Technology*. 2017; 19(7-8):33-42. Available at: <https://www.energyret.ru/jour/article/view/411> (accessed 07.08.2020). (In Russ.)

23. Martynova E.G., Velichko S.A., Martynov A.V. Micrometric Research Results of Vacuum Dough Divider Components. *Vestnik DGTU = Don State Technical University Bulletin*. 2019; 19(3):231-241. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.23947/1992-5980-2019-19-3-231-241>

Received 09.03.2020; revised 10.05.2020; published online 30.09.2020

About the authors:

Sergey A. Velichko, Senior Lecturer of Technical Service Machines Chair of Institute of Mechanics and Power Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Researcher ID: G-9021-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6254-5733>, velichko2005@yandex.ru

Elena G. Martynova, Postgraduate Student of Technical Service Machines Chair of Institute of Mechanics and Power Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Researcher ID: C-5023-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6870-0498>, el.mart2012@yandex.ru

Valery I. Ivanov, Chief of Electric Technology Laboratory, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5, 1st Institutskiy Proyezd, Moscow 109428, Russia), Ph.D. (Engineering), Researcher ID: H-4076-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4568-8553>, tehnoinvest-vip@mail.ru

Contribution of the authors:

S. A. Velichko – analyzing of the results; E. G. Martynova – experimental research, literature review and analysis; V. I. Ivanov – formulation of conclusions, writing the draft.

All authors have read and approved the final manuscript.