



Определение угла трения между колосом пшеницы и очесывающей гребенкой

В. Ю. Савин*

*Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана»
(г. Калуга, Россия)*

**savin.study@yandex.ru*

Введение. Определение угла трения между гребенкой и колосом является важной задачей, направленной на поиск оптимальных параметров конструкции и режимов работ очесывающих устройств. При взаимодействии гребенки и колоса происходит уплотнение взаимного расположения колосковых чешуй, цветковых пленок и зерен, при этом изменяется шероховатость поверхности колосков.

Материалы и методы. Для определения углов трения между стальной гребенкой и колосьями пшеницы была произведена серия опытов. Для исследования выбраны сорта пшеницы «Московская 40» и «Московская 56». Экспериментальная измерительная установка представляет собой каркас с установленной на нем поворотной площадкой с возможностью регулировки угла поворота. Угломерная делительная головка обеспечивает возможность фиксации значения угла поворота площадки. Вес гири, подвешенной к стеблю растения, имитировал силы, возникающие в процессе очеса. Также измерялись и фиксировались ширина и толщина колоса.

Результаты исследования. Установлено влияние размеров колоса на угол трения. Результаты исследования разбиты на две группы. Получены следующие значения углов трения: 26,4–31,5° для пшеницы с шириной колоса менее 10,4 мм; 22,0–27,1° для пшеницы с шириной колоса более 10,4 мм.

Обсуждение и заключение. Получены углы трения колосьев по гребенке для сортов пшеницы, характерных для Центрального региона. Установлена зависимость угла трения от соотношения геометрических размеров колоса и ширины щели очесывающей гребенки. При ширине колоса менее 10,4 мм наблюдался эффект защемления колосков между зубьями гребенки, при этом коэффициент трения заметно возрастал.

Ключевые слова: уборка зерновых, очесывающее устройство, очесывающий барабан, очесывающая гребенка, угол трения, колос пшеницы

Для цитирования: Савин, В. Ю. Определение угла трения между колосом пшеницы и очесывающей гребенкой / В. Ю. Савин. – DOI 10.15507/2658-4123.030.202003.413-425 // Инженерные технологии и системы. – 2020. – Т. 30, № 3. – С. 413–425.

Determination of the Friction Angle between the Wheat Ear and Stripper Fingers

V. Yu. Savin*

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University
(Kaluga, Russia)*

*savin.study@yandex.ru

Introduction. Determining the angle of friction between stripper fingers and a wheat ear is an important task aimed at finding the optimal design parameters and operating modes of stripping devices. When stripper fingers and wheat ears interact, the relative position of the ear glumes, flower glumes, and grains is densified. In this case, the spikelet surface roughness changes.

Materials and Methods. A series of experiments was carried out to determine the angles of friction between a steel stripper fingers and wheat ears. Wheat varieties “Moskovskaya 40” and “Moskovskaya 56” were selected for the study. The experimental measuring installation is a frame with a rotatable platform mounted on it with the adjustable angle of rotation. The goniometer head provides the ability to fix the platform rotation angle value. The weight suspended from the stem of the plant imitated the forces arising in the process of stripping. The width and thickness of the wheat ear were also measured and recorded.

Results. The influence of the size of the wheat ear on the angle of friction is determined. The results of the study are divided into two groups. The following values of the friction angles were obtained: 26.4–31.5° for the wheat with ear width of less than 10.4 mm; 22.0–27.1° for the wheat with ear width of more than 10.4 mm.

Discussion and Conclusion. The angles of friction of wheat ears on the stripper fingers for wheat varieties specific to the Central region are obtained. The dependence of the angle of friction on the ratio of the geometric dimensions of the wheat ear and the slit width of the stripper fingers is established. When a wheat ear width is less than 10.4 mm, an effect of pinching the spikelets between the stripper fingers was observed. In this case, the coefficient of friction noticeably increased.

Keywords: grain harvesting, stripping device, strippin cylinder, stripper fingers, friction angle, wheat ear

For citation: Savin V.Yu. Determination of the Friction Angle between the Wheat Ear and Stripper Fingers. *Inzhenerernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2020; 30(3):413-425. DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.030.202003.413-425>

Введение

Очес растений на корню – одна из альтернативных технологий уборки зерновых культур. В работах ряда исследователей отмечаются определенные достоинства и перспективы метода [1; 2]. Одним из базовых преимуществ использования технологии очеса при уборке зерновых является повышенное содержание зерна в первичном ворохе, то есть ворохе после жатки, традиционного или очесывающего типа [3]. Немаловажным является и то, что технология очеса лучше, чем традиционная, подходит для созда-

ния малогабаритных, в том числе прицепных, уборочных машин, так как в целом может совмещать в себе процессы отделения зерна и его транспортировки. Разработан и предложен ряд схем очесывающих устройств, из которых наибольшее распространение получили устройства гребневого типа [4; 5].

Очес зерновой массы – сложный процесс взаимодействия гребенки и колоса с учетом внутренних сил, возникающих между отдельными частями растения.

Разработаны методики для определения оптимальных параметров

конструкции очесывающих рабочих органов уборочных машин. Одним из важнейших параметров конструкции является профиль гребенки очесывающего барабана.

Обзор существующих и перспективных конструкций очесывающих аппаратов позволяет выделить прямолинейные, криволинейные и комбинированные профили гребенок. Комбинированный профиль сочетает как криволинейные, так и прямолинейные участки. В одной из работ рассмотрен вопрос выбора оптимального профиля гребенки очесывающего барабана [6]. При этом рабочий процесс очесывающего устройства рассматривается как совокупность процессов очеса и транспортирования очесанной массы. Предложены две характерные зоны гребенки очесывающего аппарата: критическая зона очеса и рабочая зона очеса. Одним из параметров, определяющих рабочие зоны гребенок и, соответственно, выбор оптимального профиля гребенок, является угол трения гребенки о колос.

В работе М. А. Бурьянова предложена методика, в которой угол трения гребенки о колос, наряду с другими параметрами, позволяет оценить величину и направление начальной скорости движения зерновки после ее отрыва от колоса [7].

В статье А. А. Ковалева и соавторов коэффициент трения продукта очеса по поверхности лопасти указан как один из ключевых параметров, влияющих на угол поворота барабана, при котором начинается перемещение растения по гребню [8].

Таким образом, определение угла трения между гребенкой и колосом является важной задачей, направленной на поиск оптимальных параметров конструкции и режимов работ очесывающих устройств.

Проанализируем факторы, которые могут влиять на угол трения. В начальной стадии очеса колос движется по гребенке. При этом взаимодейству-

ют поверхность гребенки и колосковые чешуи нижних колосков колоса. Колосковые чешуи разделяют по длине и форме. По длине выделяют короткие, средние и длинные. По форме чешуи делятся на овальные, яйцевидные, ланцетные. Учитывая, что пятна контакта колоса с гребенкой стремятся к двум линиям, можно предположить, что сила трения гребенки о колос не зависит от геометрических параметров и формы чешуй и, следовательно, от сорта пшеницы.

Введем такое понятие, как плотность взаимодействия гребенки и колосков колоса. Если расположить колос на гребенке вертикально, то при отсутствии связей пятно контакта гребенки с колосом будет стремиться к двум точкам. При этом собственный вес колоса достаточно мал и в целом картину взаимодействия не меняет. При реальном взаимодействии гребенки и колоса вследствие появления внешних и внутренних сил происходит уплотнение взаимного расположения колосковых чешуй, цветковых пленок и зерен. Меняется площадь пятна контакта гребенки и колоса и шероховатость поверхностей колосков. Таким образом, угол трения изменяется.

Одними из основных факторов, влияющих на угол трения, являются материал и шероховатость гребенки. В данной статье основное внимание будет уделено исследованию угла трения между колосом и стальной гребенкой.

Обзор литературы

Определение угла либо коэффициента трения – важная задача не только в рамках исследования процессов при очесе зерновых культур. Аналогичные задачи ставятся и при исследовании процессов высева семян, взаимодействия минеральных удобрений с криволинейными поверхностями и т. д.

В работе Н. И. Шестакова предложена методика определения коэффициента трения минеральных удобрений о криволинейную поверхность бун-

кера [9]. Предлагается определять коэффициент трения графическими или численными методами, подставляя значения скоростей в решение дифференциального уравнения движения точки без сопротивления среды. Причем скорости, согласно методике, определяются с помощью скоростной видеосъемки. При этом гранула представлена как материальная точка. Для нашего случая взаимодействия упрощение колоса до материальной точки будет некорректным вследствие наличия сложной поверхности контакта колоса с гребенкой.

Методика определения коэффициента трения семян зерновых культур по поверхностям из стали, полиэтилена, технической резины, органического стекла предполагает использование наклонной плоскости [10; 11]. При этом в работе приведена схема наклонной плоскости с силами, действующими на материал, без указания конструкции устройства.

Коэффициент трения покоя семян сои определялся с помощью прибора, содержащего наклонную платформу, шарнирно закрепленную на станине, шкалу и тяговое устройство [12]. Платформа выполнена с продольными пазами полукруглой формы для исключения перекачивания частиц на наклонной плоскости [13].

Зарубежные авторы отмечают гетерогенную структуру зерновых культур, вследствие чего они проявляют высокую восприимчивость к внешним условиям [14]. Выделяются такие внешние факторы, влияющие на силу трения, как нагрузка, влажность и скорость. Также выделяются внешние факторы, такие как давление и скорость [15]. При этом авторы предлагают измерять коэффициенты трения при типичных значениях выделенных факторов. В указанном случае это давления и скорости, которые регистрируются при заполнении и опорожнении бункеров.

Ученые продемонстрировали влияние материалов очесывающей гре-

бенки и обтекателя на качество выполняемого процесса [16]. При описании процессов, происходящих при контакте колоса с очесывающим зубом, указываются коэффициенты трения покоя для зерна и колоса озимой пшеницы сорта «Дмитрий» по поверхностям из стали и сверхвысокомолекулярного полиэтилена. При этом в статье приведена методика определения величины усилий, действующих на колос, движущийся по поверхности обтекателя, с использованием лабораторной установки с тензодатчиками. Не совсем четко описано, являются ли приведенные коэффициенты трения, представленные при описании процессов взаимодействия колоса с гребенкой, результатом исследования на лабораторной установке. Следует отметить, что колосья взаимодействуют с гребенкой и обтекателем различными поверхностями, поэтому и коэффициенты трения будут различаться.

В другой работе определялся коэффициент трения покоя зерна, полывы и колоса озимой пшеницы с целью обоснования параметров и режимов работы очесывающей жатки [17]. Указано, что использовалось устройство, изготовленное с применением головки чертежного прибора. Методика определения коэффициентов трения и схема устройства не приведены.

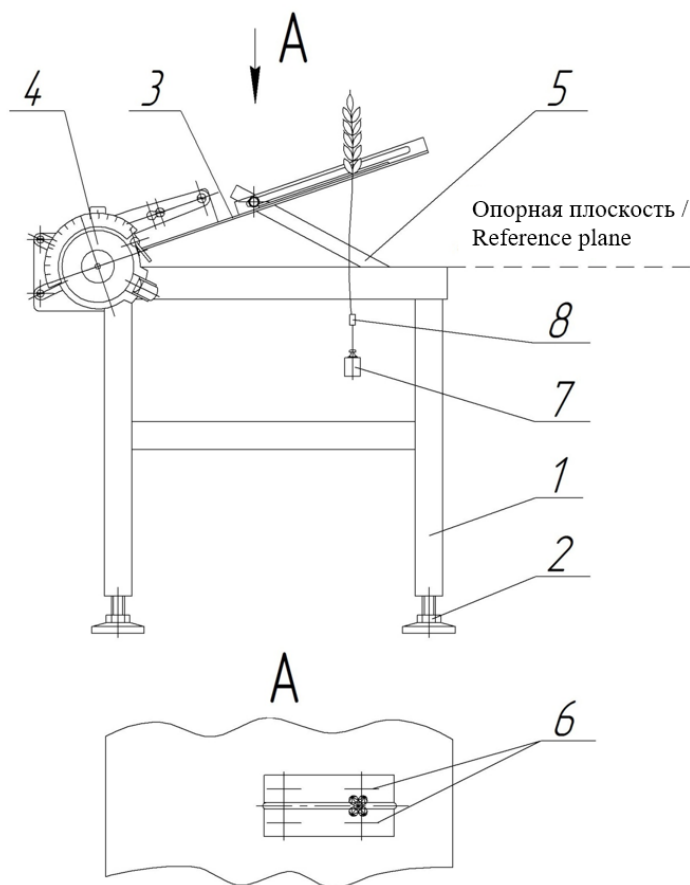
Материалы и методы

Для определения углов трения между стальной гребенкой и колосьями пшеницы была произведена серия опытов. Экспериментальные исследования выполнены в Калужской области на полях Калужского научно-исследовательского института сельского хозяйства – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха». Для исследования выбраны характерные для Центрального региона сорта пшеницы: «Московская 40» и «Московская 56». Влажность зерна пшеницы составила 10–12 %.

Сорта «Московская 40» и «Московская 56» принадлежат к мягким озимым

пшеницам. Пшеница «Московская 40» имеет веретеновидный колос, «Московская 56» – полубулавовидный. Колосья сорта «Московская 56» рыхлые, средней плотности. Колосья сорта «Московская 40» средней плотности, плотные. Средняя урожайность пшеницы сорта «Московская 40» в центральном регионе – 33,7 ц/га; 32,2 ц/га – у пшеницы сорта «Московская 56»¹.

Экспериментальная измерительная установка (рис. 1) представляет собой каркас с размещенной на нем поворотной площадкой с возможностью регулировки угла поворота и состоит из рамы 1 с регулируемыми опорами 2, поворотной площадки 3 с закрепленными на ней пластинами 6, угломерной делительной головки 4, механизма фиксации 5. Регулируемые опоры необ-



Р и с. 1. Измерительное устройство: 1 – рама; 2 – регулируемые опоры; 3 – поворотная площадка; 4 – угломерная головка; 5 – механизм фиксации; 6 – пластины; 7 – гиря; 8 – зажим

F i g. 1. Measuring device: 1 – frame; 2 – adjustable feet; 3 – rotating platform; 4 – goniometer; 5 – locking mechanism; 6 – plates; 7 – weight; 8 – clamp

¹ Государственный реестр селекционных достижений. Сорта культуры «Пшеница мягкая озимая» [Электронный ресурс]. URL: https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2020/03/FIN_reestr_dop_12_03_2020.pdf (дата обращения: 03.08.2020).

ходимы для выставления опорной плоскости рамы в горизонтальном положении. Угломерная делительная головка обеспечивает возможность фиксации значения угла поворота площадки. Механизм фиксации обеспечивает неподвижность и жесткость поворотной площадки относительно рамы во время эксперимента. Пластины, установленные на поворотной площадке, имитируют зубья гребенки очесывающего устройства. Ширина щели между пластинами регулируется.

С целью получения структуры и шероховатости поверхности колоса в месте контакта с пластинами-имитаторами, идентичными структуре и шероховатости колоса при работе очесывающего аппарата, предложено подвешивать гирию 7 из набора разновесов за фрагмент стебля в соответствии с рисунком 1. Вес гири имитирует внутренние силы, возникающие в стебле при взаимодействии колоса и гребенки в процессе очеса. Вес гири был подобран опытным путем. Оптимальным признан вес, равный 100 г. При использовании гири большей массы угол трения и, соответственно, шероховатость пятна контакта не меняются, при этом появляются сложности, связанные с проведением опытов, в частности с креплением гири к стеблю.

Стальные гребенки и пластины экспериментальной установки изготавливаются из тонколистового проката качественной углеродистой стали без шлифовки поверхностей контакта с колосом. Если говорить о стальных гребенках, данный материал является наиболее технологичным. Шероховатость Ra поверхности тонколистового проката качественной углеродистой стали регламентируется ГОСТом 1625-97 и для матового состояния поверхности составляет не более 1,6 мкм. Для определения диапазона шероховатости используемых в экспериментальной установке пластин-имитаторов гребенок применялся профилограф профи-

лометр «Абрис-ПМ7». Полученный диапазон шероховатости пластин Ra составил 1,56–1,68 мкм.

Методика исследования состоит в следующем. Во время регулирования опоры 2 выставлялась опорная плоскость измерительного устройства в горизонтальном положении. Для оценки соответствия опорной плоскости горизонтали использовался ватерпас. Ширина щели между пластинами-имитаторами выставлялась с использованием штангенциркуля. Описываемые измерения были выполнены с шириной щели, равной 7 мм. Далее площадка с пластинами поворачивалась в промежуточное положение, устанавливался колос, с использованием зажима 8 крепилась гирия 7 из набора разновесов. С использованием угломерной головки площадка поворачивалась до тех пор, пока колос не начинал скользить по пластинам. Определив примерный диапазон угла трения, исследуемый параметр уточнялся. Для этого площадка поворачивалась и фиксировалась в нескольких точках в районе определенного диапазона, и устанавливался угол трения.

С целью определения влияния размеров колоса на угол трения измерялись и фиксировались такие структурные показатели, как ширина и толщина колоса. Измерения производились с помощью штангенциркуля.

Результаты исследования

Структурные показатели пшеницы сортов «Московская 40» и «Московская 56» приведены в таблицах 1 и 2. Средние величины длины и ширины колоса чуть больше у пшеницы сорта «Московская 40».

Результаты измерения углов трения гребенки о колос пшеницы сорта «Московская 40» представлены на диаграмме рисунка 2. Как видно из диаграммы, угол трения изменялся от 22,0° до 33,4°.

Результаты измерения углов трения гребенки о колос пшеницы сорта «Московская 56» представлены на диаграм-

Таблица 1

Table 1

Структурные показатели колосьев пшеницы сорта «Московская 40»
Structure indicators of ears of “Moskovskaya 40” wheat

Номер опыта / Experience number	Ширина, мм / Width, mm	Толщина, мм / Thickness, mm
1	11,8	11,0
2	8,8	8,8
3	11,2	10,2
4	10,4	9,8
5	11,8	11,0
6	11,0	10,5
7	11,5	10,8
8	10,2	9,5
9	10,8	10,2
10	11,0	10,0

Таблица 2

Table 2

Структурные показатели колосьев пшеницы сорта «Московская 56»
Structure indicators of ears of “Moskovskaya 56” wheat

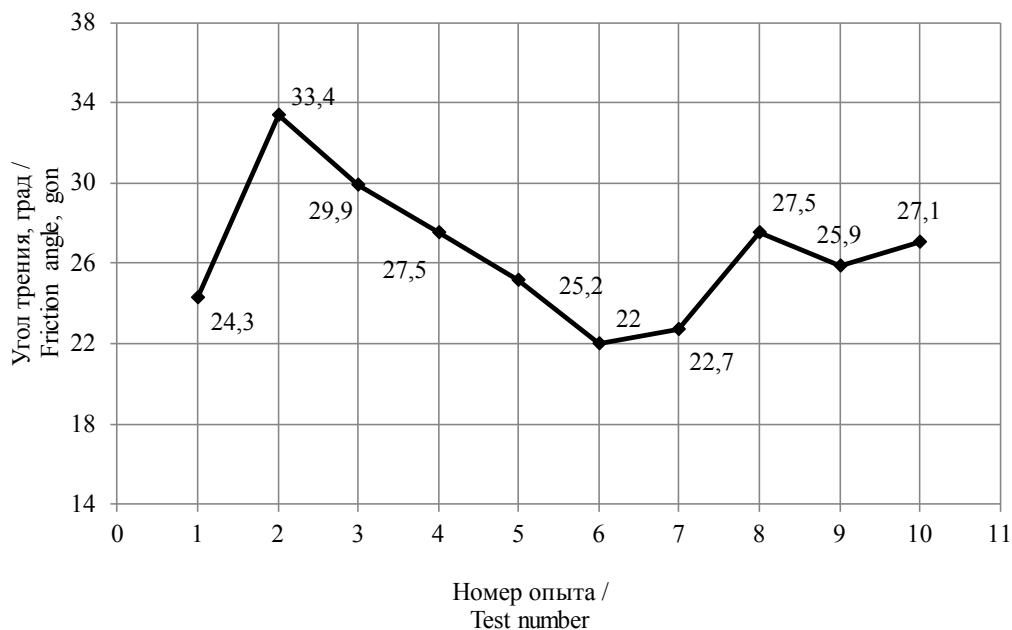
Номер опыта / Experience number	Ширина, мм / Width, mm	Толщина, мм / Thickness, mm
1	10,4	9,8
2	10,6	10,2
3	9,5	9,0
4	8,8	8,2
5	10,2	10,0
6	10,5	10,1
7	10,2	9,5
8	10,5	10,1
9	10,2	10,0
10	9,7	9,5

ме рисунка 3. Угол трения изменялся в диапазоне от 22,7° до 31,5°.

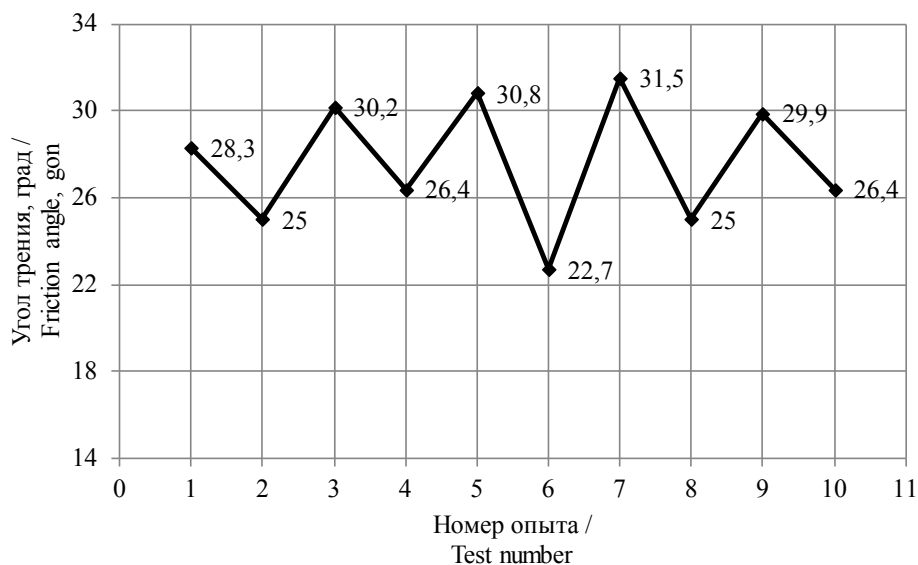
Анализируя диаграммы, можно сделать вывод, что в целом углы трения для обоих сортов пшеницы изменяются в одинаковом диапазоне. При этом, если сопоставить структурные показатели колосьев, представленные в таблицах 1 и 2, и диаграммы углов трения,

можно сделать определенные выводы. Меньшим размерам колоса соответствует больший угол трения. Разграничив опыты шириной колоса 10,4 мм, можно получить диаграммы, представленные на рисунке 4.

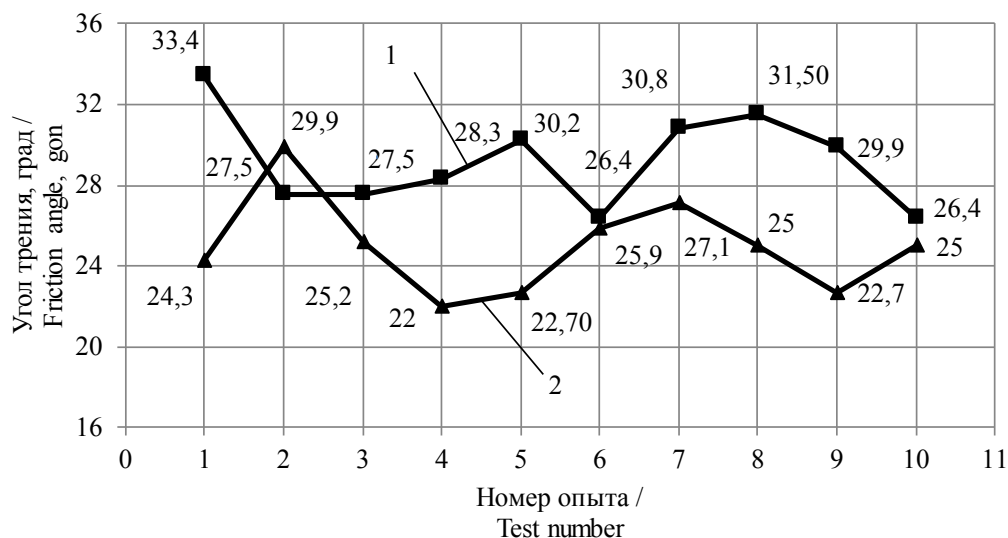
Если на диаграммах, представленных на рисунке 4, убрать по одному резко выделяющемуся результату, то



Р и с. 2. Диаграмма углов трения колоса пшеницы сорта «Московская 40» о гребенку
F i g. 2. Diagram of friction angles of “Moskovskaya 40” wheat on stripper fingers



Р и с. 3. Диаграмма углов трения колоса пшеницы сорта «Московская 56» о гребенку
F i g. 3. Diagram of friction angles of “Moskovskaya 56” wheat on stripper fingers



Р и с. 4. Диаграмма углов трения колоса пшеницы о гребенку: 1 – колос с шириной менее 10,4 мм; 2 – колос с шириной более 10,4 мм

F i g. 4. Diagram of friction angles of wheat ears on stripper fingers:

1 – the ear with a width of less than 10.4 mm; 2 – the ear with a width of more than 10.4 mm

можно установить следующие диапазоны углов трения: 26,4–31,5° для пшеницы с шириной колоса менее 10,4 мм; 22,0–27,1° для пшеницы с шириной колоса более 10,4 мм.

Для оценки тесноты зависимости угла трения от ширины колоса был выполнен корреляционный анализ. В его рамках определены следующие корреляционные отношения: 0,93 для сорта «Московская 40» и 0,97 для сорта «Московская 56». Данные результаты позволяют охарактеризовать связь между углом трения и шириной колоса как весьма высокую.

Очевидно, что коэффициент трения зависит не столько от геометрических размеров колоса, сколько от соотношения геометрических размеров и ширины щели между зубьями гребенки. Наблюдения в ходе опытов позволили установить природу данной зависимости. На рисунке 5 показаны два случая взаимодействия колоска колоса пшеницы с зубьями очесывающей гребенки: а) зубья взаимодействуют с колоском

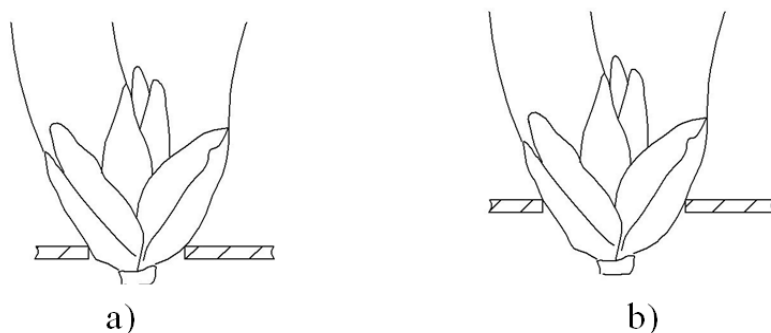
у его основания; б) зубья взаимодействуют с колоском ближе к его центру. Во втором случае имеет место эффект защемления колосков колоса пшеницы между гребенками. Этим и объясняется увеличение угла трения при малых размерах колоса относительно щели очесывающей гребенки.

Таким образом, эффект защемления колоса позволяет объяснить определенный разброс результатов по полученным углам трения гребенки о колос и разделить результаты на две группы.

Обсуждение и заключение

Предложено в процессе экспериментальных исследований использовать гири, подвешенные к стеблю растения, вес которых имитировал силы, возникающие в процессе очеса.

В результате исследования получены углы трения колосьев озимой пшеницы сортов, характерных для Центрального региона, по гребенке очесывающего устройства. Угол трения колосьев пшеницы сорта «Московская 40» составил 22,0–33,4°. Угол тре-



Р и с. 5. Схема взаимодействия колоска колоса пшеницы с зубьями очесывающей гребенки:

- а) зубья взаимодействуют с колоском у его основания;
- б) зубья взаимодействуют с колоском ближе к его центру

F i g. 5. Scheme of interaction of a spikelet of wheat ear with stripper fingers:

- a) stripper fingers interact with the spikelet at its base;
- b) stripper fingers interact with the spikelet closer to its center

ния колосьев пшеницы сорта «Московская 56» изменялся в диапазоне от $22,7^\circ$ до $31,5^\circ$. Зависимость значения угла трения колоса по очесывающей гребенке от сорта пшеницы не установлена.

Установлена зависимость угла трения от соотношения геометрических размеров колоса и ширины щели очесывающей гребенки. При ширине колоса менее 10,4 мм и ширине щели гребенки, равной 7 мм, наблюдался эффект защемления колосков. При этом коэффициент трения заметно возрастал.

Результаты экспериментальных исследований разбиты на 2 группы. При

отсутствии эффекта защемления колоса между зубьями гребенки угол трения изменялся в диапазоне $22,0-27,1^\circ$. При появлении эффекта защемления колоса угол трения увеличивался и составил $26,4-31,5^\circ$.

Полученные значения углов трения позволяют уточнить и подтвердить результаты работы по выбору профиля гребенки очесывающего барабана, где в качестве ориентировочного угла трения между колосом и очесывающей гребенкой был принят угол трения стеблей зерновых культур по шлифованной стали, равный $19,3^\circ$ [6].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ковлягин, Ф. В. Уборка зерновых культур методом очеса / Ф. В. Ковлягин, Г. Г. Маслов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1991. – № 8. – С. 5–6.
2. Жалнин, Э. В. Уборка с очесом на корню: за и против / Э. В. Жалнин // Сельский механизатор. – 2013. – № 8. – С. 10–12. – URL: <http://selmech.msk.ru/> (дата обращения: 03.08.2020).
3. Савин, В. Ю. Определение состава очесанного вороха при уборке пшеницы с использованием прицепного очесывающего устройства / В. Ю. Савин. – DOI 10.17238/issn2071-2243.2016.4.96 // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4 (51). – С. 96–99. – URL: <https://rucont.ru/efd/572167> (дата обращения: 03.08.2020).
4. Галкин, А. В. Исследование качественных характеристик льноволокна в зависимости от конструкции очесывающего аппарата / А. В. Галкин, Д. Г. Фадеев, И. В. Ушаповский. – DOI 10.15507/0236-2910.028.201803.389-399 // Вестник Мордовского университета. – 2018. – Т. 28, № 3. – С. 389–399. –

URL: <http://vestnik.mrsu.ru/index.php/en/articles2-en/62-18-3/429-10-15507-0236-2910-028-201803-8> (дата обращения: 03.08.2020). – Рез. англ.

5. **Алдошин, Н. В.** Совершенствование конструкции очесывающих устройств для уборки зернобобовых культур / Н. В. Алдошин, М. А. Мосяков. – DOI 10.26897/1728-7936-2018-2-23-27 // Вестник федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина». – 2018. – № 2. – С. 23–27. – URL: <http://elib.timacad.ru/dl/full/vmgau-04-2018-02.pdf/view> (дата обращения: 03.08.2020). – Рез. англ.

6. **Савин, В. Ю.** К выбору профиля гребенки очесывающего барабана / В. Ю. Савин. – DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.1.67 // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – № 1 (60). – С. 67–72. – URL: <http://elib.timacad.ru/dl/full/vmgau-04-2018-02.pdf/view> (дата обращения: 03.08.2020). – Рез. англ.

7. **Бурьянов, М. А.** Исследование взаимодействия колоса растения с зубьями однобарабанной навесной на комбайн жаткой при уборке зерновых культур очесом / М. А. Бурьянов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 67. – С. 91–100. – URL: <https://elck.ru/Q48Z2> (дата обращения: 03.08.2020).

8. **Ковалев, М. М.** Взаимодействие продуктов очеса с лопастями очесывающе-транспортирующего барабана льноуборочной машины / М. М. Ковалев, А. В. Галкин, Д. Г. Фадеев // Техника в сельском хозяйстве. – 2011. – № 2. – С. 3–7.

9. **Шестаков, Н. И.** Определение коэффициента трения минеральных удобрений о криволинейную поверхность бункера / Н. И. Шестаков, В. А. Хрипин, В. А. Макаров [и др.] // Техника в сельском хозяйстве. – 2013. – № 2. – С. 29–30. – URL: <http://xn--80aak3h.xn--p1ai/wp-content/uploads/2017/05/Doc11.pdf> (дата обращения: 03.08.2020).

10. **Евченко, А. В.** Анализ физико-механических свойств семян зерновых культур / А. В. Евченко // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2016. – № 8. – С. 144–149. – URL: http://www.kgau.ru/vestnik/2016_8/content/23.pdf (дата обращения: 03.08.2020). – Рез. англ.

11. **Цепляев, А. Н.** Результаты экспериментальных исследований по определению коэффициентов трения / А. Н. Цепляев, Я. С. Лазаренко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2012. – № 4 (28). – С. 221–225. – URL: http://www.volgau.com/Portals/0/static/izvestiya_auk/izvestiya_2012_28_4.pdf?ver=2013-05-16-115944-073 (дата обращения: 03.08.2020). – Рез. англ.

12. **Балашов, А. В.** Определение физико-механических свойств семян сои / А. В. Балашов, С. П. Стрыгин, А. А. Синельников [и др.] // Наука в центральной России. – 2017. – № 2 (26). – С. 5–12. – Рез. англ.

13. **Патент 2488094 Российская Федерация, МПК G01N19/02.** Прибор для определения коэффициента силы трения покоя : № 2012107007/28 : заявл. 27.02.2012 : опубл. 20.07.2013 / Тишанинов Н. П., Амелянц А. Г., Анашкин А. В. [и др.] ; заявитель и патентообладатель ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии. 6 с.

14. **Wojcik, A.** The Methodical Aspects of the Friction Modeling of Plant Granular Materials / A. Wojcik, J. Fraczek, A. K. Wota. – DOI 10.1016/j.powtec.2018.12.037 // Powder Technology. – 2019. – Vol. 344. – Pp. 504–513. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032591018310738?via%3Dihub> (дата обращения: 03.08.2020).

15. **Chiputula, J. P.** Effect of Moisture Content on Coefficients of Friction between Triticale and Galvanized Steel / J. P. Chiputula, R. A. Bucklin, A. R. Blount. – DOI 10.13031/aea.12575 // Applied Engineering in Agriculture. – 2018. – Vol. 34, Issue 3. – Pp. 599–602. – URL: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?AID=48978&t=3&dabs=Y&redir=&redirType=> (дата обращения: 03.08.2020).

16. **Бурьянов, М. А.** О влиянии свойств материалов, применяемых для изготовления рабочих органов очесывающей жатки, на качество выполняемого процесса / М. А. Бурьянов, И. В. Червяков, А. И. Бурьянов // Тракторы и сельхозмашины. – 2018. – № 3. – С. 54–61. – URL: <https://rucont.ru/efd/623610> (дата обращения: 03.08.2020). – Рез. англ.

17. Бурьянов, М. А. Результаты исследования характеристик растений озимой пшеницы сорта «Дмитрий» для обоснования параметров и режимов работы очесывающей жатки / М. А. Бурьянов, А. И. Бурьянов, И. В. Червяков [и др.] // *Зерновое хозяйство России*. – 2017. – № 5 (53). – С. 51–56. – URL: <https://www.zhros.ru/jour/article/view/102> (дата обращения: 03.08.2020). – Рез. англ.

Поступила 10.02.2020; принята к публикации 20.05.2020; опубликована онлайн 30.09.2020

Об авторе:

Савин Владимир Юрьевич, доцент кафедры тепловых двигателей и гидромашин Калужского филиала ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана» (248000, Россия, г. Калуга, ул. Баженова, д. 2), кандидат технических наук, Researcher ID: D-4378-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2476-9768>, savin.study@yandex.ru

Благодарности: Автор выражает благодарность сотрудникам Калужского научно-исследовательского института сельского хозяйства – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха» за помощь в подготовке статьи.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Kovliagin F.V. Harvesting of Grain Crops by Combing. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva* = Mechanization and Electrification of Agriculture. 1991; (8):5-6. (In Russ.)
2. Zhalnin E.V. Cleaning With a Comb on the Roots: Pros and Cons. *Selskiy Mechanizator* = Country Mechanic. 2013; (8):10-12. Available at: <http://selmech.msk.ru/> (accessed 03.08.2020). (In Russ.)
3. Savin V.Yu. Determination of Composition of Thrashed Heap at Harvesting Wheat Using the Trail-Type Rippler. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Voronezh State Agrarian University Bulletin. 2016; (4):96-99. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2016.4.96>
4. Galkin A.V., Fadeev D.G., Uschapovsky I.V. Studying Quality Characteristics of Flax Fiber Depending on Deseeding Device Design. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2018; 28(3):389-399. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201803.389-399>
5. Aldoshin N.V., Mosyakov M.A. Improving the Design of a Combing Device for Harvesting Leguminous Crops. *Vestnik federalnogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskiy gosudarstvenniy agroinzhenernyi universitet imeni V.P. Goryachkina"* = Goryachkin Moscow State Agroengineering University Bulletin. 2018; (2):23-27. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.26897/1728-7936-2018-2-23-27>
6. Savin V.Yu. Rationale for Choosing the Profile of Stripping Fingers of the Stripping Cylinder. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Voronezh State Agrarian University Bulletin. 2019; (1):67-72. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2019.1.67>
7. Burianov M.A. Investigation of Plant Stalk Interaction with Fingers of One-Drum Combine Mounted Header While Harvesting of Crops Through Stripping. *Politematicheskii setevoy elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University. 2011; (67):91-100. Available at: <https://clck.ru/Q48Z2> (accessed 03.08.2020). (In Russ.)
8. Kovalev M.M., Galkin A.V., Fadeev D.G. Interaction of Combing Products with the Blades of the Stripping and Conveying Cylinder of the Forager. *Tekhnika v selskom khozyaystve* = Machinery in Agriculture. 2011; (2):3-7. (In Russ.)
9. Shestakov N.I., Khripin V.A., Makarov V.A., et al. Determination of the Coefficient of Friction of Mineral Fertilizers Against the Curved Surface of the Hopper. *Tekhnika v selskom khozyaystve* = Machinery in Agriculture. 2013; (2):29-30. Available at: <http://xn--80aaak3h.xn--p1ai/wp-content/uploads/2017/05/Doc11.pdf> (accessed 03.08.2020). (In Russ.)



10. Evchenko A.V. Analysis of Physical and Mechanical Properties of Grain Crops Seeds. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Krasnoyarsk State Agrarian University Bulletin. 2016; (8):144-149. Available at: http://www.kgau.ru/vestnik/2016_8/content/23.pdf (accessed 03.08.2020). (In Russ.)
11. Tseplyaev A.N., Lazarenko Ya.S. Results of Experimental Researches on Friction Coefficients Determination. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie* = News of the Nizhnevolzhsk Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2012; (4):221-225. Available at: http://www.volgau.com/Portals/0/static/izvestiya_auk/izvestiya_2012_28_4.pdf?ver=2013-05-16-115944-073 (accessed 03.08.2020). (In Russ.)
12. Balashov A.V., Strygin S.P., Sinelnikov A.A., et al. Determination of Physical and Mechanical Properties of Soybean Seeds. *Nauka v Tsentralnoy Rossii* = Science in the Central Russia. 2017; (2):5-12. (In Russ.)
13. The Device for Determination of the Quiescent Friction Factor: Patent 2488094 Russian Federation. No. 2012107007/28; appl. 27.02.2012; publ. 20.07.2013. 6 p. (In Russ.)
14. Wojcik A., Fraczek J., Wota A.K. The Methodical Aspects of the Friction Modeling of Plant Granular Materials. *Powder Technology*. 2019; 344:504-513. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.12.037>
15. Chiputula J.P., Bucklin R.A., Blount A.R. Effect of Moisture Content on Coefficients of Friction between Triticale and Galvanized Steel. *Applied Engineering in Agriculture*. 2018; 34(3):599-602. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.13031/aea.12575>
16. Buryanov M.A., Chervyakov I.V., Buryanov A.V. The Influence of the Properties of Materials Used to Make the Working Bodies of Stripper Header on the Quality of the Performed Process. *Traktory i selkhoz mashiny* = Tractors and Agricultural Machinery. 2018; (3):54-61. Available at: <https://rucont.ru/efd/623610> (accessed 03.08.2020). (In Russ.)
17. Buryanov M.A., Buryanov A.I., Chervyakov I.V., et al. The Study Results of the Characteristics of Winter Wheat Variety 'Dmitry' to Substantiate Parameters and Regimes of Stripping Reaper Work. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2017; (5):51-56. Available at: <https://www.zhros.ru/jour/article/view/102> (accessed 03.08.2020). (In Russ.)

Received 10.02.2020; revised 20.05.2020; published online 30.09.2020

About author:

Vladimir Yu. Savin, Associate Professor of Chair of Heat Engines and Hydromachines, Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University (2 Bazhenov St., Kaluga 248000, Russia), Ph.D. (Engineering), Researcher ID: D-4378-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2476-9768>, savin.study@yandex.ru

Acknowledgments: The author thanks the staff of the Kaluga Research Institute of Agriculture, the Branch of Lorkh Federal Research Center of Potatoes for assistance in writing the article.

The author has read and approved the final manuscript.