



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВИПОТЕНЦИАЛЕЙ ОТВЕРСТИЙ РЕШЁТ ПРИ ОДНОРОДНОМ И НЕОДНОРОДНОМ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

В.В. Шмигель (фото)

д.т.н., профессор, профессор кафедры электрификации
Н.Ю. Махаева

аспирант кафедры электрификации
ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, г. Ярославль

*Зерновая частица,
муляж зерна, отверстие
решета, однородное
и неоднородное
электростатическое
поле, эквипотенциали,
двух- и трёхэлектродные
системы сепарации,
пондеромоторная сила*

*Grain particle,
grain model, screen
hole, uniform and
non-uniform electrostatic
field, equipotential lines,
two- and three-electrode
separation systems,
ponderomotive force*

Необходимость исследования поля отверстия решета с наложенным на него электростатическим полем возникла из-за необходимости просеивания сориентированных полем зерновых частиц в его отверстия [1]. Было замечено [2], что частицы не всегда могут попасть в отверстие при колебании поверхности решета. В.Н. Шмигелем был исследован данный процесс в электролитической ванне с увеличенной в десятки раз моделью решета, и доказано, что решето с наложенным полем является своеобразным рабочим органом [2]. При определённых условиях оно позволяет частице пройти в отверстие. Исследованию этих условий была посвящена другая работа учёного [3], в которой было показано, что при увеличении напряжённости поля под решётной поверхностью частица может преодолеть пондеромоторную силу поля отверстия и пройти в него.

В.В. Шмигель продолжил данные исследования, используя электропроводную бумагу, зерновую частицу, её модели, в условиях ещё более приближенных к естественным. На решётах с мелкими отверстиями диаметром 2,8; 3,0; 3,5 мм провести исследования поля отверстия путём моделирования на электропроводной бумаге оказалось невозможным из-за сложности замеров. Поэтому замеры были получены на решётах с отверстиями диаметром 4,0 и 5,0 мм [4]. Исследование проводилось определением эквипотенциалей однородного и неоднородного электростатического поля. На электроды подавалось постоянное напряжение 50 В, при помощи игольчатого электрода цифровым вольтметром снимались показания с электропроводящей бумаги и таким образом получали эквипотенциальные линии электростатического поля.

Оказалось, что наибольшая напряжённость поля (наибольшая густота силовых линий поля) наблюдается на краях отверстий решета-электрода и на перемычках между отверстиями. На рисунке 1 рассмотрены эквипотенциали отверстия решета с частицей и без неё в двух- и трёхэлектродных системах (над и под решетом с круглыми отверстиями).

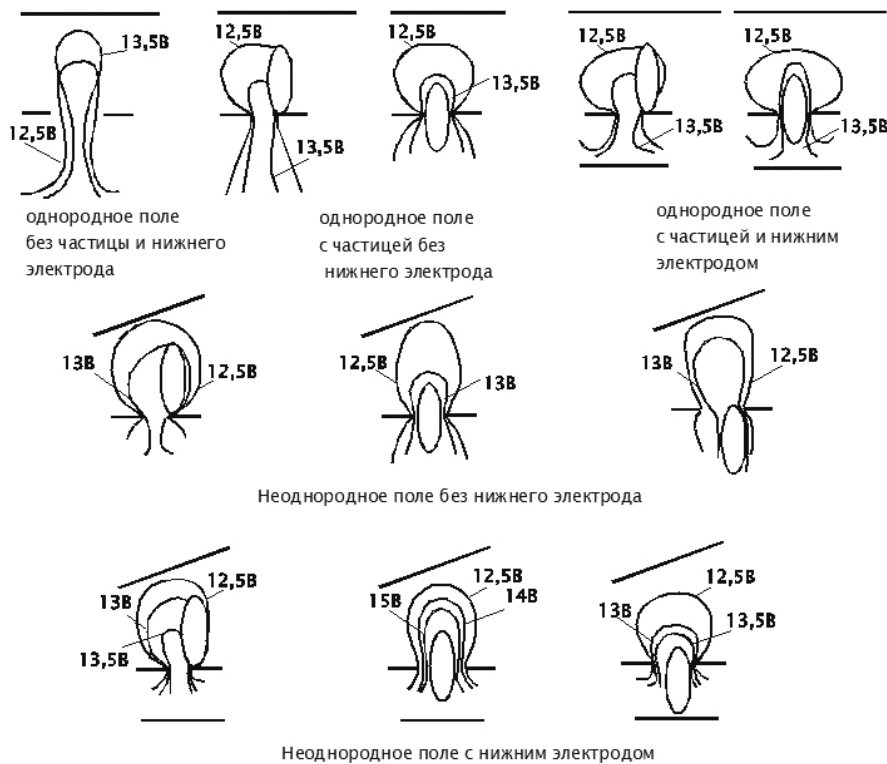


Рисунок 1 – Эквипотенциальные кривые при разном расположении электродов над и под решетом с отверстием диаметром 5 мм с частицей и без неё

С меньшим диаметром отверстий решета (4 мм) исследования проведены с разной полярностью на электродах (без частицы, с частицей внутри отверстия, с муляжом внутри отверстия). Распределение эквипотенциалов показано на рисунке 2. На рисунках 2а–2в изображены эквипотенциальные линии поля, значения потенциалов указаны соответствующими выносками, также указана полярность электродов справа от рисунка. Сплошной горизонтальной линией обозначен металлический электрод, а прерывистой линией – электрод-решето.

Заметим, что без частицы силовые линии представляют собой более узкую петлю, неже-

ли чем с муляжом или реальной зерновкой. То есть при попадании частицы внутрь отверстия поле начинает активно реагировать, появляется определённая вытягивающая сила, линии поля расширяются, хотя значения потенциалов остаются прежними. Из рисунка 2б видно, что картина поля как при зерновой частице, так и при её муляже из электропроводящей бумаги одинакова. Величина потенциалов одинакова.

На рисунке 3 представлены картины неоднородного электростатического поля, которое возникает вследствие наклона электрода под определённым углом к решетку. Как можно наблюдать из рисунка, линии поля ориентируются вдоль на-

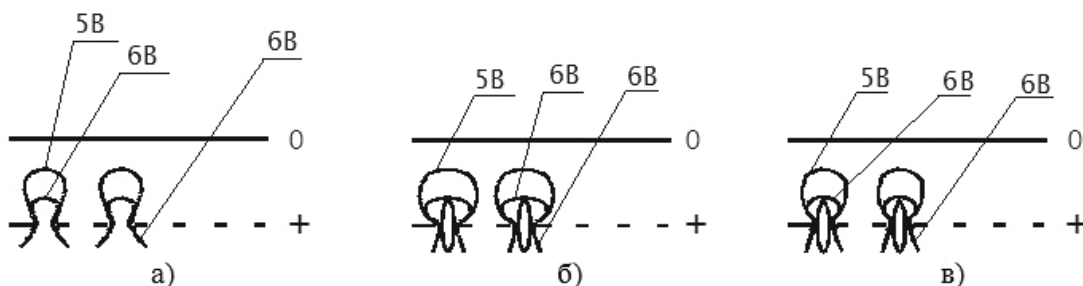


Рисунок 2 – Картина однородного электростатического поля двухэлектродной системы с металлическими электродами: а) без частицы; б) с частицей внутри отверстия; в) с муляжом частицы внутри отверстия

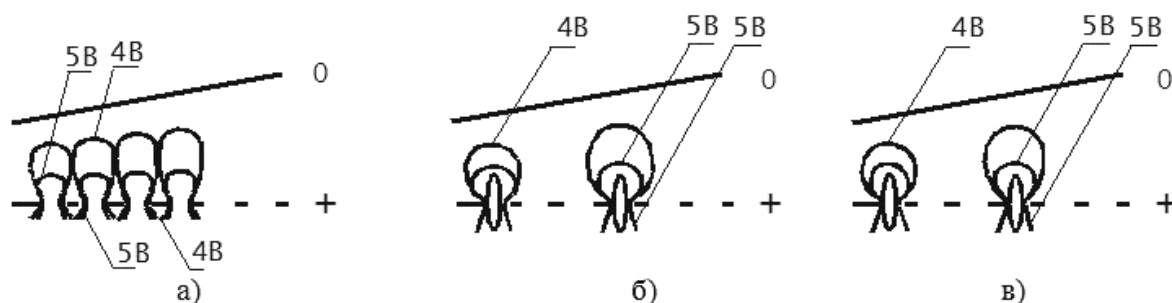


Рисунок 3 – Картина неоднородного электростатического поля двухэлектродной системы с металлическими электродами: а) без частицы; б) с частицей внутри отверстия; в) с муляжом частицы внутри отверстия

клонённого электрода: у края с меньшим расстоянием до решета – сплющены, а у края с большим расстоянием до решета – вытянуты. Причём линия поля с большим значением потенциала (5 В) находится внутри линии поля с меньшим значением потенциала (4 В). Это указывает на то, что ближе к решету густота силовых линий возрастает, а потенциал растекается в сторону заземлённого электрода.

При попадании зерновки внутрь отверстия наблюдается расширение эквипотенциалей, хотя их величина остаётся прежней. Так называемая

трёхэлектродная система представляет собой сочетание вышеописанной двухэлектродной системы с наклонным электродом и дополнительного электрода, расположенного под решетом и параллельно ему. Данная система нашла своё применение на электрозерновой машине решётного типа (рис. 4).

Результаты исследования электростатического поля отверстия решета представлены на рисунке 5 [5]. На рисунке эквипотенциали расположены на удалении от кромки отверстия до 2 мм. Для металлического электрода (рис. 5а) ха-

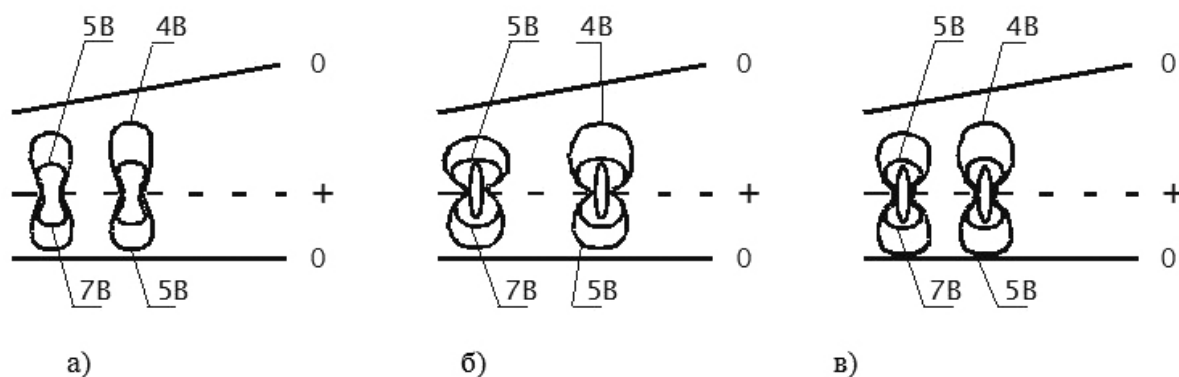
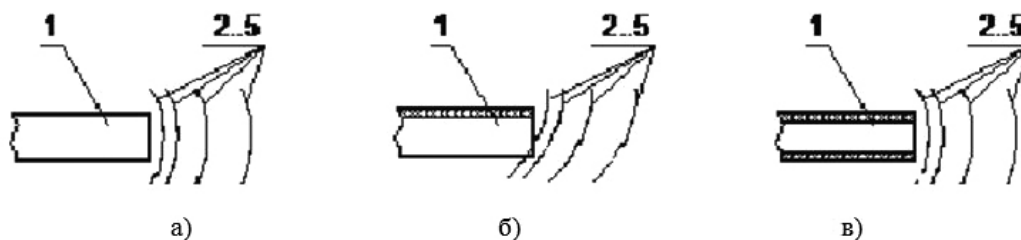


Рисунок 4 – Картина электростатического поля трёхэлектродной системы с металлическими электродами: а) без частицы; б) с частицей внутри отверстия; в) с муляжом частицы внутри отверстия

рактерно высокое значение потенциала у кромки отверстия и наибольшая густота его изменения при одном и том же шаге по направлению к центру отверстия. Это является одним из условий действия зажимающего эффекта отверстия. Кроме того, эквипотенциали параллельны ребру отверстия. У диэлектрического электрода (рис. 5б), фольгированного с одной стороны, концентрация эквипотенциалей меньше (на представленном участке изменение потенциала с 47 В до 44 В), но вблизи кромки линии равного потенциала

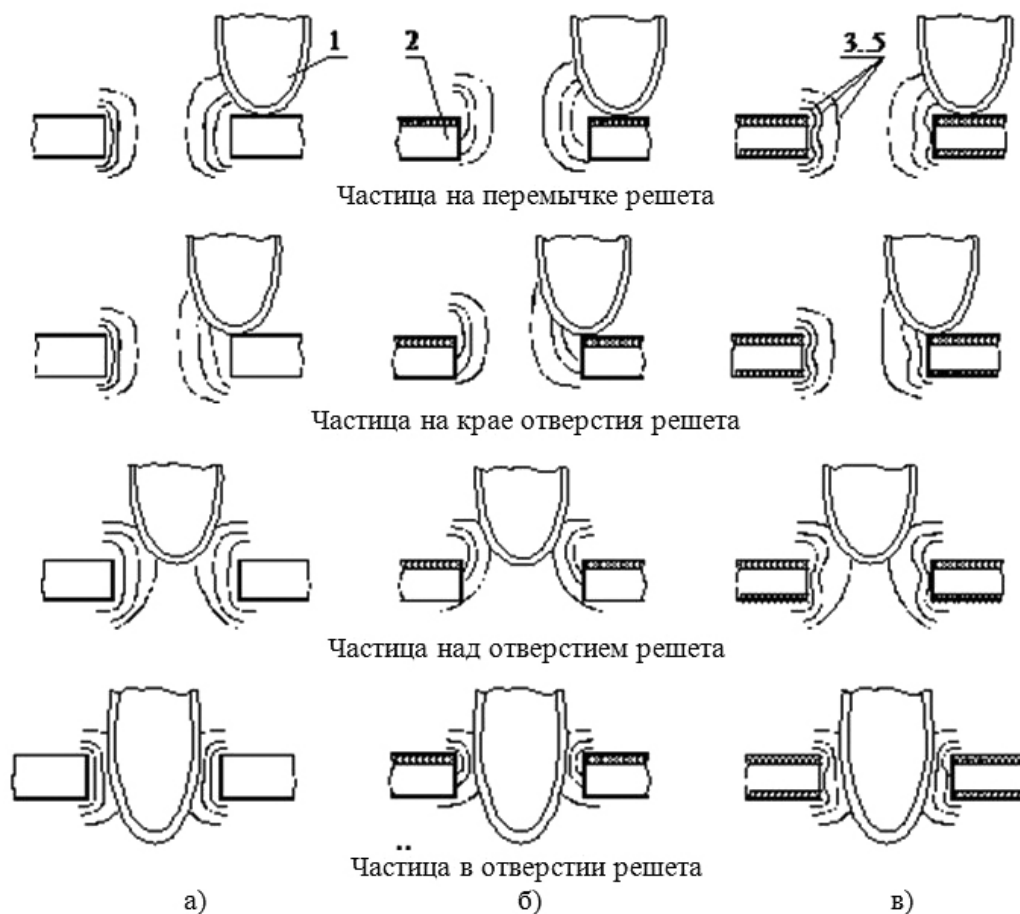
проходят под некоторым углом к ней. Несмотря на малое расстояние (не более 1 мм), это вызовет действие пондеромоторной силы. Диэлектрический электрод, фольгированный с двух сторон (рис. 5в), также обеспечивает меньшую концентрацию эквипотенциалей у кромки отверстия, чем металлический электрод, а равномерное по толщине отверстия распределение этих линий значительно уменьшает пондеромоторную силу.

Таким образом, на основе проведённых исследований делаем вывод о том, что диэлек-



- а) 1 – металлический электрод, 2...5 – эквипотенциали 49,0; 48,5; 48,0; 47,5 и 47,0 В; б) 1 – диэлектрический электрод, фольгированный с одной стороны, 2...5 – эквипотенциали 47,0; 46,5; 45,5; 44,5 и 44,0 В; в) 1 – диэлектрический электрод, фольгированный с двух сторон, 2...5 – эквипотенциали 47,0; 46,5; 45,5; 44,5 и 44,0 В.

Рисунок 5 – Характер эквипотенциальных линий электростатического поля отверстия решётного сепаратора



- а) межэлектродные расстояния: сверху – 120 мм, снизу – 90 мм;
б) межэлектродные расстояния: сверху – 90 мм, снизу – 50 мм;
1...4 – эквипотенциали значений: 42, 40, 38 и 37 В соответственно;
5 – частица с токопроводящей поверхностной плёнкой влаги;
6 – электроды: верхний, электрод-решето, нижний.

Рисунок 7 – Картина потенциального поля решётного сепаратора

трический электрод, фольгированный с двух сторон, снижая зажимающий эффект отверстия, должен обеспечивать наибольшую пропускную способность решётных электростатических сепараторов.

При положении частицы на крае отверстия и на перемычке решета (рис. 6) потенциал области ближнего к частице края отверстия повышается и изменяется по мере удаления от края медленней, чем на противоположном крае отверстия [6]. Поэтому соответствующие эквипотенциальные линии у ближнего края отверстия располагаются через большее расстояние и вытягиваются по направлению к частице. Это действие более проявляется для случая расположения частицы на крае отверстия.

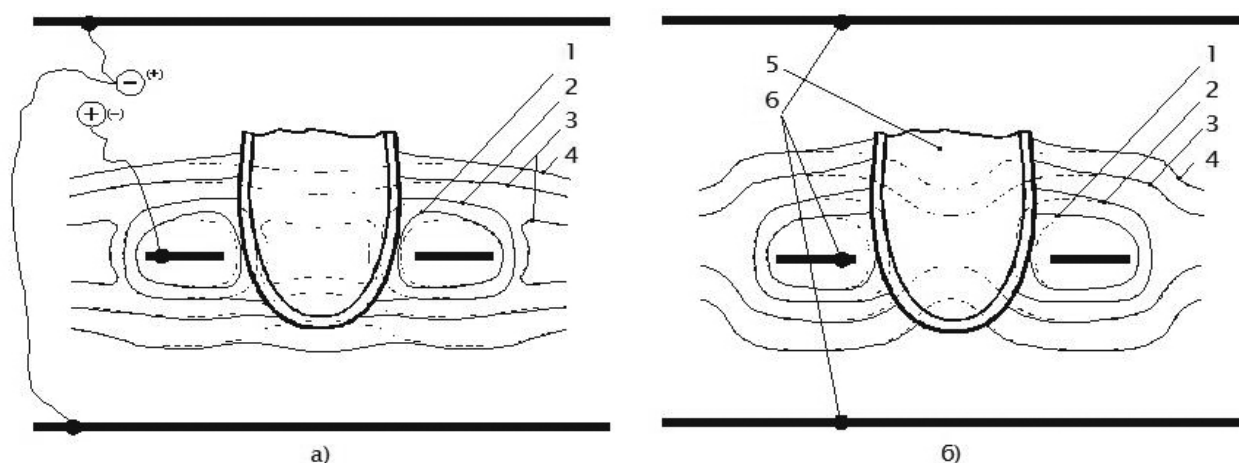
При положении частицы над отверстием и в отверстии решета особенности потенциальных полей для рассмотренных материалов сохраняются. Для диэлектрика, фольгированного с одной стороны, эквипотенциали располагаются симметрично фольгированному слою, а когда частица находится над отверстием – линии вытягиваются в направлении частицы. Для диэлектрика, фольгированного с двух сторон, также имеется искривление эквипотенциалей около фольгированных слоёв. У металлического электрода наблюдаются наибольшие потенциал и густота эквипотенциальных линий в области отверстия решета. При

расположении частицы над отверстием для всех материалов решёт наблюдается вытягивание эквипотенциалей в направлении частицы.

Для диэлектрических фольгированных электродов отмечена меньшая концентрация эквипотенциалей, чем для металлических, что должно уменьшить зажимающий эффект отверстия и снизить действие пондеромоторной силы на частицу при прохождении её в отверстие решета.

На рисунке 7 [7] представлено распределение потенциала рабочей области решётного электростатического сепаратора при различных межэлектродных расстояниях. Был произведён анализ распределения потенциала при отсутствии частицы в рабочей области сепаратора (штриховая линия), а также при наличии частицы в отверстии решета (сплошная линия). Картины потенциального поля аналогичны для случаев со сменой полярности электродов.

В ходе исследования было установлено, что в верхнем межэлектродном пространстве форма эквипотенциальных линий более подвержена изменению при помещении в область сепаратора частицы для различных сочетаний величины верхнего и нижнего межэлектродных расстояний. В нижнем межэлектродном пространстве, где напряжённость электрического поля выше, отклонения эквипотенциальных линий наблюдаются на меньшие расстояния.



а) металлический электрод; б) диэлектрический электрод, фольгированный с одной стороны;

в) диэлектрический электрод, фольгированный с двух сторон;

1 – частица с токопроводящей поверхностной плёнкой; 2 – электрод-решето различного материала;

3...5 – эквипотенциали 49,0; 48,5; и 48,0 В для металлического электрода; 48,5; 48,0 и 46,5 для диэлектрического электрода, фольгированного с одной стороны; 48,5; 48,0 и 47,0 В для диэлектрического электрода, фольгированного с двух сторон.

Рисунок 6 – Характер эквипотенциальных линий электростатического поля отверстия решётного сепаратора с макетом зерновой частицы

Для сочетания различных величин верхнего и нижнего межэлектродных пространств картина распределения потенциала несколько отличается. Наибольшие отличия возникают в области отверстия решета и над отверстием на расстоянии 1–2 мм. Так, например, рисунок 7а показывает, что когда величина нижнего межэлектродного расстояния незначительно отличается от верхнего, то в области отверстия появляется множество замкнутых эквипотенциальных линий поля. Поэтому эквипотенциали в области над отверстием имеют меньший провал и более пологую форму, чем в случае более значительной разницы в межэлектродных расстояниях сепаратора электрического моделирования на электропроводящей бумаге с использованием макета зерновой частицы из твёрдого пенопласта. Макет разновытянутой зерновой частицы имеет размеры: длина частицы 55 мм, ширина частицы 15 мм. Модель зерновки разрезали пополам, а для имитации токопроводящей поверхностной плёнки влаги реальной зерновой частицы края макета по плоскости среза на толщину 1 мм натерли графитным порошком. Все указанные размеры пропорциональны размерам действующих решётных сепараторов.

Исследование проводилось на металлическом электроде-решете с отверстиями диаметром 20 мм, шириной перемычки 10 мм, межэлектродными расстояниями сверху от решётной поверхности 120 мм и 90 мм, а снизу – 90 мм и 50 мм.

На рисунке 7б представлена картина эквипотенциального поля с отношением величины нижнего межэлектродного расстояния к величине верхнего 1:1,8 (верхнее межэлектродное расстояние – 90 мм, нижнее – 50 мм).

На удалении от решётной поверхности более чем на 20 мм эквипотенциальные картины практически не отличаются друг от друга, имея незначительные провалы над отверстиями решета и выпуклости над перемычками.

Выводы

Проведённые ранее исследования по изучению поля отверстия решета позволяют лучше понять физику процесса сепарации семян через его круглое отверстие при наложенном электростатическом поле.

Данные исследования показывают, что для улучшения процесса сепарации необходимо использовать диэлектрические фольгированные решёта.

Литература

1. Шмигель, В.Н. О применении электростатического поля для повышения разделяющей способности решет с круглыми отверстиями [Текст] / В.Н. Шмигель // Труды ЧИМЭСХ. – 1972. – Вып. 61. – С. 24–27.
2. Шмигель, В.Н. Исследование электрического поля в зоне круглого отверстия электрода-решета [Текст] / В.Н. Шмигель, С.Ф. Чердынцева // Труды ЧИМЭСХ. – 1974. – Вып. 75. – С. 75–80.
3. Шмигель, В.Н. Просеивание зерновых частиц через круглые отверстия решета-электрода при наложении электростатического поля [Текст] / В.Н. Шмигель // Труды ВНИИЗ. – 1974. – Вып. 78. – С. 78–80.
4. Шмигель, В.В. Исследование электрических полей электростатического сепаратора [Текст] / В.В. Шмигель // Вестник РАСХН. – 2001. – № 6. – С. 72–73.
5. Шмигель, В.В. Исследование электростатического поля решетного сепаратора [Текст] / В.В. Шмигель, Ю.Е. Соколов // Проблемы развития энергетики в условиях производственных преобразований: науч. тр. по материалам Международ. науч.-практ. конф. (24–23 декабря 2003 г.). Т. 1. – Ижевск: Ижевск. гос. с.-х. акад., 2003. – С. 83–87.
6. Шмигель, В.В. Поведение зерновой частицы в отверстии решета в электростатическом поле [Текст] / В.В. Шмигель // Аграрная наука. – 2002. – № 1. – С. 28–29.
7. Шмигель, В.В. Исследование эквипотенциальных линий поля решетного в зависимости от межэлектродного расстояния [Текст] / В.В. Шмигель, Ю.Е. Соколов // Проблемы развития энергетики в условиях производственных преобразований: науч. тр. по материалам Международ. науч.-практ. конф. (24–23 декабря 2003 г.). Т. 1. – Ижевск: Ижевск. гос. с.-х. акад., 2003. – С. 78–80.

References

1. Shmigel', V.N. O primenenii jelektrostaticheskogo polja dlja povyshenija razdelajushhej sposobnosti reshet s kruglymi otverstijami [Tekst] / V.N. Shmigel' // Trudy ChIMJeSH. – 1972. – Vyp. 61. – S. 24–27.
2. Shmigel', V.N. Issledovanie jelektricheskogo polja v zone kruglogo otverstija jelektroda-resheta [Tekst] / V.N. Shmigel', S.F. Cherdyntseva // Trudy ChIMJeSH. – 1974. – Vyp. 75. – S. 75–80.

3. Shmigel', V.N. Proseivanie zernovykh chastic cherez kruglye otverstija resheta-jelektroda pri nalozhenii jelektrostaticheskogo polja [Tekst] / V.N. Shmigel' // Trudy VNIIZ. – 1974. – Vyp. 78. – S. 78–80.

4. Shmigel', V.V. Issledovanie jelektricheskikh polej jelektrostaticheskogo separatora [Tekst] / V.V. Shmigel' // Vestnik RASHN. – 2001. – № 6. – S. 72–73.

5. Shmigel', V.V. Issledovanie jelektrostaticheskogo polja reshetnogo separatora [Tekst] / V.V. Shmigel', Yu.E. Sokolov // Problemy razvitija jenergetiki v uslovijah proizvodstvennykh preobrazovanij: nauch. tr. po materialam Mezhdunarod. nauch.-prakt. konf. (24–23 dekabrya 2003 g.). T. 1. – Izhevsk: Izhevsk. gos. s.-h. akad., 2003. – S. 83–87.

6. Shmigel', V.V. Povedenie zernovoj chasticy v otverstii resheta v jelektrostaticheskom pole [Tekst] / V.V. Shmigel' // Agrarnaja nauka. – 2002. – № 1. – S. 28–29.

7. Shmigel', V.V. Issledovanie jekvipotencial'nykh linij polja reshetnogo v zavisimosti ot mezhjelektrodnogo rasstojanija [Tekst] / V.V. Shmigel', Yu.E. Sokolov // Problemy razvitija jenergetiki v uslovijah proizvodstvennykh preobrazovanij: nauch. tr. po materialam Mezhdunarod. nauch.-prakt. konf. (24–23 dekabrya 2003 g.). T. 1. – Izhevsk: Izhevsk. gos. s.-h. akad., 2003. – S. 78–80.

ОБЪЯВЛЕНИЕ

**В ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА в 2018 году издан
виртуальный лабораторный практикум**

«ЭЛЕКТРОПРИВОД»

авторы В.В. ШМИГЕЛЬ, А.С. УГЛОВСКИЙ,

**рекомендованный Научно-методическим советом по технологиям,
средствам механизации и энергетическому оборудованию в сельском
хозяйстве Федерального УМО по сельскому, лесному и рыбному хозяйству
для использования в учебном процессе при подготовке бакалавров
по направлению «Агроинженерия»**

В практикуме рассмотрены общие вопросы электропривода, представлены виртуальные лабораторные работы по дисциплине «Электропривод», разработанные в соответствии с программой курса для студентов бакалавриата по направлению «Агроинженерия», профиль «Электрооборудование и электротехнологии в АПК». Лабораторный практикум знакомит с методикой работы в программе Matlab/Simulink. Излагаемый материал сопровождается примерами моделирования в Simulink с использованием пакета SimPowerSystems, существенно облегчающими освоение теории электропривод.

Учебное пособие предназначено для студентов аграрных высших учебных заведений.

УДК 31.261; ББК 621.313; ISBN 978-5-98914-187-6; 204 СТР.

**ПО ВОПРОСАМ ПРИОБРЕТЕНИЯ ОБРАЩАТЬСЯ ПО АДРЕСУ:
150042, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, 58, ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА
e-mail: e.bogoslovskaya@yarcx.ru**