

на лизинг техники позволяет сельскохозяйственным предприятиям, не имеющим достаточно финансовых средств, иметь необходимое количество техники, выполнять большой объем работ, расходовать ограниченные финансовые средства на другие капитальные вложения или пополнение оборотных средств.

Список литературы

1. Мониторинг состояния предприятий инженерно-технической инфраструктуры АПК по техническому обслуживанию и ремонту отечественной и импортной сельхозтехники: науч. издание / В.И. Черноиванов [и др.]. — М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. — 100 с.

2. Апатенко А.С. Повышение эффективности работы культуртехнических агрегатов с учетом надежности базовых и агрегируемых машин: дис. ... канд. техн. наук. — М.: МГУП, 2005. — 168 с.

3. Гулюк Г.Г., Шуравилин А.В. Эффективное функционирование дренажных систем на минеральных землях Нечерноземной зоны России. — М.: РУДН, 2007. — 376 с.

4. Мировые тенденции машинно-технологического обеспечения интеллектуального сельского хозяйства: науч. издание / В.И. Черноиванов [и др.]. — М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2012. — 284 с.

5. Создание вторичного рынка сельскохозяйственной техники: науч. издание / В.И. Черноиванов, В.С. Герасимов, Д.И. Есаков, А.Н. Русаков, С.А. Буряков, И.Г. Голубев. — М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2011. — 78 с.

6. Формирование инфраструктуры инженерно-технологических услуг сельским товаропроизводителям / В.И. Черноиванов, С.А. Горячев, Е.В. Щеглов, Н.В. Краснощеков, В.П. Лялякин, И.Г. Голубев. — М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. — 192 с.

7. Технический сервис-опыт и перспективы развития / Ю.А. Конкин, И.Г. Голубев, М.Ю. Конкин, В.Н. Кузьмин. — М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. — 336 с.

УДК 621.31.631.3 (075.8)

Е.М. Заяц, доктор техн. наук

Д.И. Кривовязенко

Белорусский государственный аграрный технический университет

А.Д. Чорный

Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРООБРАБОТКИ ОРГАНИЧЕСКИХ ДИСПЕРСНЫХ ГИДРОСИСТЕМ

Органическими дисперсными гидросистемами могут быть названы, с определенной долей допущения, различные кормовые материалы (измельченная и увлажненная солома, фуражное зерно), растительные соки, молочная сыворотка, питательные среды для выращивания микроорганизмов и др.

С целью изменения свойств, повышения усвояемости и питательности, извлечения белков эти гидросистемы обрабатывают электрическим током определенных параметров [1]. Эффективность и надежность обработки зависит от равномерности электрического и температурного поля в обрабатываемом материале.

Неравномерность температуры может быть обусловлена различием в электрических и теплофизических параметрах по объему обрабатываемого материала, условиями его перемещения и контактирования с токоподводящими электродами и другими факторами.

Обрабатываемый материал перемещают между электродами и мембраной в одном или во встречных направлениях. Проводимость мембраны и материала заметно отличаются по величине, и это влияет на равномерность нагрева (рис. 1).

Равномерность температуры в материале между электродами принята критерием при определении характера и направления его движения, допустимой удельной проводимости материала мембраны и напряженности электрического поля.

Цель работы состоит в разработке математической модели, описывающей электрическое и температурное поле в материале, движущемся в анодной

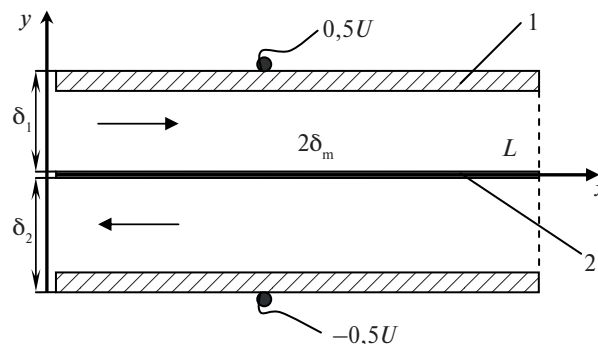


Рис. 1. Плоскостепенный канал с разделительной мембраной:

1 — токоподводящие электроды; 2 — мембрана;
→ — направление движения жидкости;
 U — подаваемое напряжение

и катодной областях пространства, ограниченно-го токоподводящими электродами, разделенными мембраной.

Математическая модель рассматриваемого процесса строилась в предположении установившегося движения электропроводящей несжимаемой среды в отсутствие массовых сил на основе уравнений электрогидродинамики с учетом малости плотности электрических зарядов в межэлектродном пространстве [2, 3]. Она включала в себя закон Гаусса для напряженности электрического поля, уравнения неразрывности и переноса импульса, а также нестационарное уравнение теплопереноса, поскольку изучался за конечный промежуток времени нагрев жидкости, движущейся в канале. Изменение температуры жидкости по длине канала не влияет на изменение скорости из-за введенного предположения о постоянстве теплофизических характеристик. В уравнении теплопереноса в мембране конвективные составляющие отсутствуют, поскольку теплота в мембране переносится исключительно теплопроводностью с учетом наличия источников, зависящих от электро- и теплопроводности материала мембраны.

В рассматриваемой постановке задачи и в силу малости толщины канала напряженность электрического поля

$$|\vec{E}|(y) = E_y = \frac{U}{\varepsilon(y) [\delta_1 / \varepsilon_1 + 2\delta_m / \varepsilon_m + \delta_2 / \varepsilon_2]}.$$

Здесь диэлектрическая проницаемость ε является функцией от y и изменяется в зависимости от проницаемости жидкостей, движущихся над мембраной и под ней, а также проницаемости самой мембраны ($\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_m$ соответственно). Последняя формула задает количество теплоты, выделяемое единицей объема:

$$Q(y) = \sigma(y)E_y^2,$$

где σ — электрическая проводимость.

Скорость жидкости для ламинарного движения задавалась параболическим законом на основе теории слоистых течений в плоских каналах, а для турбулентного движения — законом «1/7», справедливым для чисел Рейнольдса в диапазоне 5000...30 000 [3–5].

Нестационарное уравнение теплопереноса решалось в двумерной постановке с учетом формулы для теплового потока $Q(y)$ и определения эффективного коэффициента температуропроводности a в зависимости от режима движения. Для турбулентного режима он определялся как сумма молекулярного (ламинарного) a_1 и турбулентного a_t коэффициентов. Турбулентный коэффициент температуропроводности выражался через

соответствующий коэффициент вязкости и турбулентное число Прандтля: $a_t = \nu_t / Pr_t$. Турбулентное число Прандтля Pr_t принималось равным 0,7. Для турбулентного коэффициента вязкости ν_t использовалась модель пути смешения Прандтля для установившихся пристеночных течений с константой Кармана, равной 0,45 [4, 5].

Граничные условия на входе в канал $T = T_0$, тогда как на выходе из канала «мягкое» граничное условие. Для случая противотока учитывалось, что эти границы для анодной и катодной частей противоположно расположены относительно друг друга. На стенках канала ставилось условие Ньютона для теплового потока относительно температуры окружающей среды. Коэффициенты теплоотдачи α_i от нагреваемой жидкости к окружающей среде в катодной и анодной зонах определялись через числа Нуссельта как $\alpha_i = Nu_i \lambda_i / \delta_i$ [4, 5]. В рассматриваемом типе каналов для ламинарного режима движения жидкости $Nu_i = 7,54$, а для турбулентного режима использовалась формула $Nu_i = 0,0155 Pr_i^{0,5} Re_i^{0,83}$, справедливая для жидкостей с числом Прандтля $1 < Pr_i < 25$ [5]. Для случая молочной сыворотки $Pr \cong 5$.

По постановке задачи толщина мембраны $2\delta_m$ значительно меньше других линейных размеров (L, δ_1, δ_2) как самого канала, так и анодной и катодной областей. К тому же теплопроводность мембраны λ_m довольно велика. Поэтому предполагалось, что температура по толщине мембраны близка к постоянной, а теплопередача за счет теплопроводности вдоль поверхности мембраны несущественна. В этой связи, во-первых, условия сопряжения нестационарных температурных полей в контактирующих поверхностях мембраны и жидкости можно представить условием Ньютона для теплового потока:

$$\lambda_1 \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=\delta_m} = -\alpha_{1m} (T_m - T|_{y=\delta_m}),$$

$$\lambda_2 \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=-\delta_m} = \alpha_{2m} (T_m - T|_{y=-\delta_m}).$$

Здесь функция $T_m = T_m(x, t)$ — средняя по сечению мембраны температура (тем самым неким образом учитывается реальная неоднородность температуры по сечению мембраны). Во-вторых, уравнение теплопереноса для мембраны будет справедливо в виде

$$\rho_m C_{pm} \frac{\partial T_m}{\partial t} = -\frac{\alpha_{1m}}{2\delta_m} (T_m - T|_{y=\delta_m}) - \frac{\alpha_{2m}}{2\delta_m} (T_m - T|_{y=-\delta_m}) + Q_m,$$

где Q_m — количество теплоты, выделяемое единицей объема мембраны и рассчитываемое по приведенной формуле.

Коэффициенты теплоотдачи α_{im} от нагреваемой жидкости к мембране со стороны катодной и анодной зон определялись из граничного условия четвертого рода на поверхности соприкосновения мембраны и жидкости. Учитывая данный факт, малость толщины мембраны и введенное осреднение температуры, для коэффициента теплоотдачи можно применить оценку $\alpha_{im} = 1/(1/\alpha_i + \delta_m/\lambda_m)$.

Поставленная задача теплопереноса решена методом конечных разностей. Для численного решения уравнения теплопереноса применили конечно-разностную схему, построенную по методу переменных направлений. Полученная система трехточечных линейных уравнений решена методом прогонки [6]. В качестве дисперсной гидросистемы принята молочная сыворотка в условиях электрокоагуляции белков.

Результаты моделирования показали, что профиль скорости для ламинарного движения имеет классический параболический вид с максимумом в центре соответствующих частей канала. Профиль для турбулентного движения более сглажен, с тонким пограничным слоем у стенок катодной и анодной областей. Ширина профилей и максимальные значения скорости зависят от геометрических и расходных характеристик рассматриваемых областей канала, что при одинаковых расходах дает различные среднерасходные и максимальные скорости и максимальные скорости в профилях.

Расчет теплопереноса в канале проведен для трех значений электрической проводимости мембраны σ_m . При варьировании электрической проводимости мембраны от 0,0105 до 0,0420 См·м⁻¹ время достижения установившейся температуры одинаковое. Как для случая прямого тока, так и противотока оно составляло не более 680 с для ламинарного и не более 13 с для турбулентного режима движения. В случае прямого тока мембрана прогревается вместе с движущейся жидкостью постепенно от входной границы канала к его концу, при противотоке вся поверхность мембраны прогревается с небольшой дисперсией относительно максимума температуры в центре канала. При этом температура зависит от электрической проводимости мембраны. Однако для турбулентного режима изменение температуры не столь значительное. Это объясняется меньшим временем присутствия жидкости в зоне прогрева по сравнению с ламинарным движением. Ламинарное движение жидкости создает неравномерное распределение температуры с ее уменьшением в ядре канала и увеличением по краям. Вследствие различий в профилях скорости под мембраной и над ней получается несимметричный профиль температуры, значение которой около мембраны выше, чем у стенок канала. При турбулентном режиме температура в ядре потока почти не изменяется, а на стенках канала, в тон-

ком вязком подслое, уменьшается до температуры окружающей среды. Полученные результаты показали, что изменение удельной электропроводности материала мембраны σ_m существенно влияет на нагрев движущейся в канале среды. С точки зрения решения задачи электрокоагуляции белков молочной сыворотки нахождение допустимого значения этого параметра является важным для определения превышения температуры мембраны над температурой среды. Такое значение можно определить по параметрам катодной или анодной части канала так: $\sigma_m = 2\delta_m\sigma_i/(b_i - b_i^{\min})$, $i = 1, 2$, где межэлектродное расстояние $b_i = U/E_y$, его минимальное значение $b_i^{\min} = \sigma_i(\delta_1/\sigma_1 + \delta_2/\sigma_2)$, учитывая, что $b_i > b_i^{\min}$. Параметр σ_m задавался во взаимосвязи с U и максимально возможной при заданных условиях напряженности электрического поля среды $E_{\max} = U/b_i^{\min}$. Как показано на рис. 2, увеличение U приводит к повышению E_{\max} в катодной и анодной частях канала, а значит, и объемного теплового потока, что влечет за собой требование уменьшения σ_m . Для рассматриваемых условий и достижения напряженности электрического поля 800 В/м допустимое значение σ_m должно быть не более 0,001 См·м⁻¹. При этом реализуется достаточно большое значение U (не менее 110 В).

Дополнительно проведенные расчеты при выборе параметров, согласно приведенному анализу, показали, что можно добиться работы электрокоагулятора с требуемым диапазоном перепада температур между поверхностью мембраны и переносимой средой. Однако и в этом случае тенденция для турбулентного режима остается прежней — перепад температур незначительный из-за малого времени присутствия среды в зоне обработки. Выбор оптимальных параметров обеспечивает температуру мембраны близкую к допустимой, в то же время темпера-

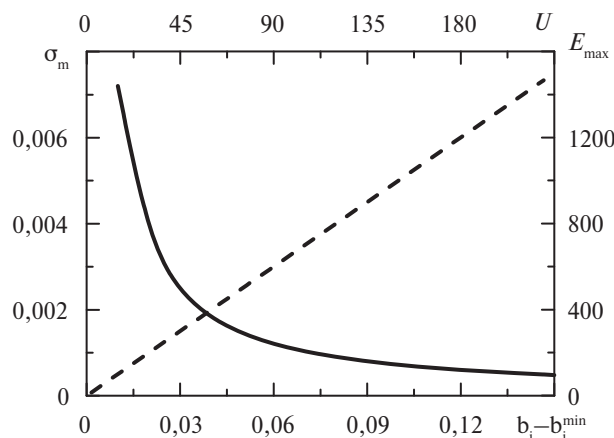


Рис. 2. Максимальная напряженность электрического поля E_{\max} в зависимости от разности потенциалов (штриховая линия); допустимая удельная электрическая проводимость мембраны σ_m в зависимости от межэлектродного расстояния b_i (сплошная линия)

тура зависит от способа перемещения среды: в противотоке разница температур снижается (на –10 %) по сравнению с прямотоком, однако в противотоке этот прогрев более равномерный, что является важным с точки зрения получения однородного распределения температур по всей длине канала.

Таким образом, построенная математическая модель теплопереноса в электропроводящей жидкости, движущейся в плоском канале с установленной в нем разделительной мембраной, включает в себя алгебраические зависимости теплового потока от диэлектрической проницаемости мембраны и движущейся жидкости, зависимости скорости от поперечной координаты в виде параболического профиля для ламинарного движения и степенного закона «1/7» для турбулентного движения, а также нестационарного уравнения теплопроводности. Последнее было решено с помощью теории конечно-разностных схем. Модель позволяет рассчитать допустимые значения удельной проводимости мем-

браны, допустимое значение напряженности электрического поля в обрабатываемой среде, а также изменение других теплофизических и динамических параметров от времени обработки среды. Критерием оптимизации может быть допустимая температура мембраны или ее превышение над средней температурой среды.

Список литературы

1. Заяц Е.М. Основы электротермохимических методов обработки влажных кормов. — Минск: Ураджай, 1997.
2. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. — М.: Наука, 1977.
3. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. — М.: Наука, 1991.
4. Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление. — М.: Энергоатомиздат, 1990.
5. Кэйс В.М. Конвективный тепло- и массообмен. — М.: Энергия, 1972.
6. Самарский А.А. Теория разностных схем. — М.: Наука, 1989.

УДК 631.356

Г.К. Рембалович, канд. техн. наук

Р.В. Безносюк

И.А. Успенский, доктор техн. наук

Рязанский государственный агроинженерный университет

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА С ЛОПАСТНЫМ ОТБойНЫМ ВАЛИКОМ СЕПАРИРУЮЩЕЙ ГОРКИ

Одним из актуальных направлений эффективности функционирования картофелеуборочной техники является совершенствование органов вторичной сепарации.

На данном уровне развития технологических схем машин для уборки картофеля наибольшее распространение среди рабочих органов вторичной сепарации получили механические отделители [1]. Это связано в первую очередь с тем, что они проще в конструктивном исполнении и надежнее при выполнении технологического процесса.

В связи с этим необходимо совершенствование и обоснование их параметров с целью повышения эффективности их функционирования и технологической надежности.

Авторами статьи предложена конструкция устройства органа вторичной сепарации — сепарирующая горка с лопастным отбойным валиком, направленная на повышение эффективности отделения корнеклубнеплодов от стеблей ботвы и растительных остатков, снижение количества поврежденных клубней [2].

Разработанное устройство (рис. 1) содержит разделительную горку 5, выполненную в виде наклонного конвейера, бесконечная лента которого выполнена в виде пальчатого полотна. От базового

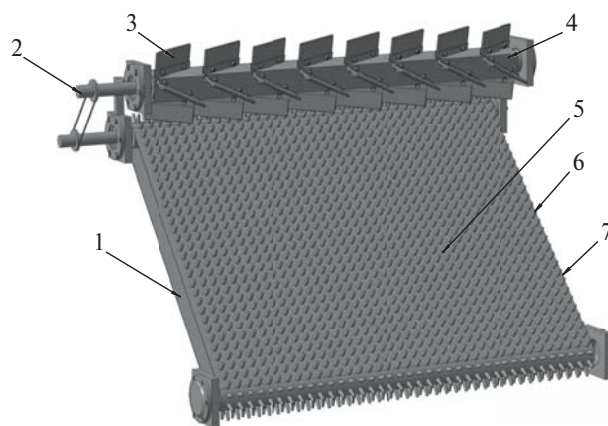


Рис. 1. Орган вторичной сепарации:

- 1 — обратная поверхность транспортерной ленты;
- 2 — приводной вал; 3 — лопасти; 4 — отбойный валик;
- 5 — разделительная горка; 6 — упругие пальцы;
- 7 — рабочая поверхность транспортерной ленты