ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
Տեխնիկական գիտութ. սերիա XXXV, № 6, 1982 Серия технических наук

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

А. Н. ЦАТУРЯН, В. М. МИНЯЙЛО, А. А. ТОРУНЯН

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ НА ГРАВИТАЦИОННОЕ ИСТЕЧЕНИЕ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Для подачи сыпучих материалов в технологическое оборудование преимущественно используется их гравитационное истечение с регулированием расхода при помощи движущихся рабочих органов [1]. Если для абразивных и химически активных сыпучих материалов наличие движущихся рабочих органов обуславливает снижение эксплуатационных показателей оборудования, то для зерновой массы, из-за механического повреждения частиц, ухудшается качество перерабатываемого материала [2]. Одним из путей решения вопроса является управление гравитационным истечением сыпучих материалов, воздействуя на них электрическим полем [3], которое осуществляется за счет преобразования энергии поля в работу сил трения. Анализ механизма гравитационного истечения сыпучих материалов в электрическом поле [4] позволяет заключить, что сила взаимодействия между электрическим полем и совокупностью частиц существенно зависит от характера изменения поля во времени и, в частности, от частоты [5]. Выявление количественных характеристик этого процесса необходимо как для его практического использования, так и расширения существующих представлений о механизме гравитационного истечения сыпучих материалов в электрическом поле.

Экспериментальные исследования влияния частоты электрического поля на истечение сыпучего материала проведены для системы плоских электродов 1 и 2 (рис. 1), установленных под бункером 3. Конструктивные параметры электродной системы и бункера определены в предварительных опытах и составили: $\beta = 90°$; $\delta = 1{,}5$ *мм*; длина выпускной щели $a = 170$ *мм*.

Электрическая схема установки (рис. 1) содержит генератор синусоидального напряжения Г3-39, выход которого через усилитель подключен к первичной обмотке высоковольтного трансформатора Т1. Электроды 1 и 2 подключены ко вторичной обмотке трансформатора. Ток через питатель определялся по падению напряжения на образцовом сопротивлении R_0. Падение напряжения измерялось вольтметром В3-38, а напряжение на вторичной обмотке Т1 — вторым вольтметром В3-38, подключенным через делитель $R1$, $R2$. Трансформатор Т1 снабжен по-

вательной низковольтной обмоткой, к которой подключен частотомер Ч3-35А и осциллограф С1-70.

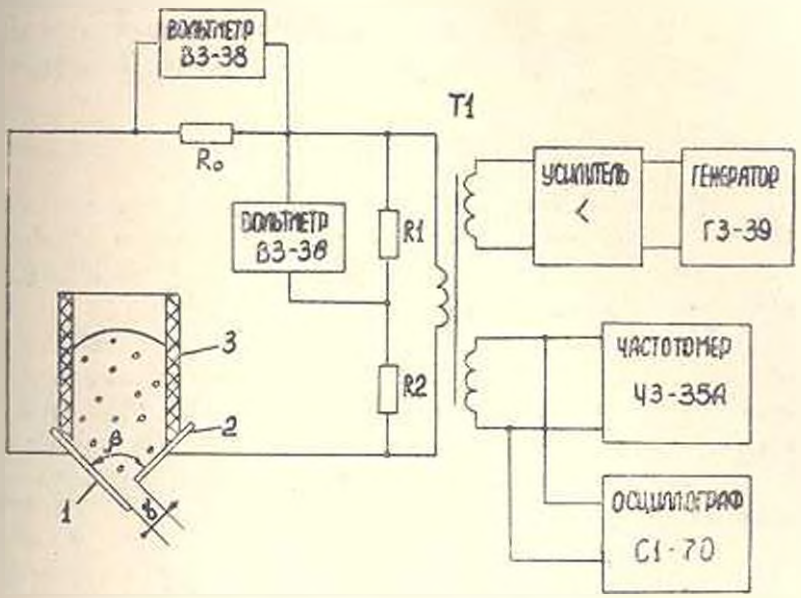

Рис. 1. Принципиальная электрическая схема экспериментальной установки с вертикальным разрезом питателя.

В качестве объекта исследований выбрана семенная масса табака влажностью 5,4% ... 10,2%, которая практически монодисперсная, ее частицы имеют форму, близкую к эллипсоиду вращения (размеры полуосей 0,62 *мм* и 0,38 *мм*) и обладают хорошей сыпучестью.

Результаты экспериментов обобщены в виде расходных характеристик-зависимостей расхода Q от напряжения U на электродах и представлены на рис. 2 и 3 для двух значений влажности.

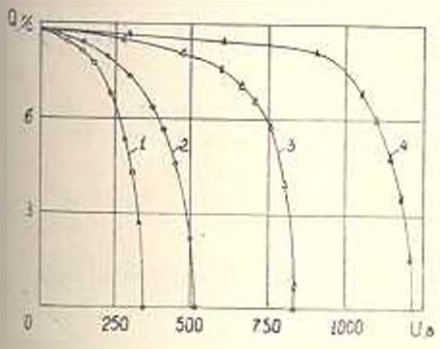

Рис 2. Расходные характеристики при различных частотах электрического поля для табачных семян влажности 5,4%: *1* — 0 *Гц*; *2* — 50 *Гц*; *3* — 500 *Гц*; *4* — 5000 *Гц*.

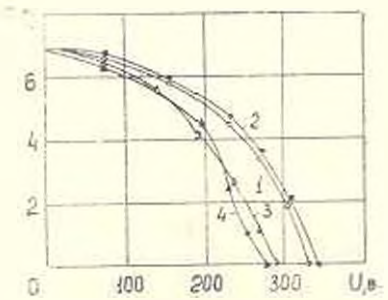

Рис. 3. Расходные характеристики при различных частотах электрического поля для табачных семян влажности 10,2%: *1* — 0 *Гц*; *2* — 50 *Гц*; *3* — 500 *Гц*; *4* — 5000 *Гц*.

Основываясь на существующие представления о механизме истечения сыпучих материалов в электрическом поле [4], можно выдвинуть рабочую гипотезу о том, что степень механического проявления взаимодействия определяется вращающим моментом, являющимся результатом взаимодействия поляризованной частицы и поля. Последний может быть представлен в виде

$$M(t) = K_м \cdot E(t) \cdot P(t) \cdot \sin \sigma, \qquad (1)$$

где $E(t)$ и $P(t)$ — мгновенные значения напряженности неискаженного сыпучим материалом электрического поля и дипольного момента поляризации частицы; $K_м$ — некоторый коэффициент; σ — угол между главной осью эллипсоида и напряженностью поля.

В (1) $E(t)$ определяется решением электростатической задачи. Вычисление $P(t)$ является более сложной задачей и возможно при определенных упрощающих допущениях и приближениях. Для случая однородного поля с регулярным распределением неконтактирующих и сориентированных эллипсоидальных частиц, известен результат [6]:

а) при постоянном поле E_0 —

$$P(t) = V \cdot \varepsilon_2 [(m - n) e^{-\frac{t}{\tau}} + n] \cdot E_0; \qquad (2)$$

б) при синусоидальном поле $E_0 = E_{0m} \cdot \sin(\omega t + \psi_e)$,

$$P(t) = V \cdot \varepsilon_2 \cdot n \sqrt{\frac{1 + \omega^2 \theta^2}{1 + \omega^2 \tau^2}} E_{0m} \sin(\omega t + \psi_e - \alpha) -$$

$$- V \cdot \varepsilon_2 \cdot n \frac{\tau - \theta}{\tau \sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}} e^{-\frac{t}{\tau}} \cdot E_{0m} \sin(\psi_e - \upsilon). \qquad (3)$$

В (2) и (3) сделаны следующие обозначения:

$$m = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)(1 - f)N}; \qquad n = \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{\gamma_2 + (\gamma_1 - \gamma_2)(1 - f)N}; \qquad (4)$$

$$\tau = \frac{\varepsilon_2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)(1 - f)N}{\gamma_2 + (\gamma_1 - \gamma_2)(1 - f)N}; \qquad \theta = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\gamma_1 - \gamma_2}; \qquad (5)$$

$$\upsilon = \operatorname{arc\,tg} \omega\tau; \qquad \alpha = \operatorname{arc\,tg} \omega \frac{\tau - \theta}{1 + \omega^2 \tau^2}. \qquad (6)$$

где V — объем частицы; ε_1, ε_2 и γ_1, γ_2 — абсолютные диэлектрические проницаемости и удельные электрические проводимости частицы и среды; N — коэффициент деполяризации эллипсоида вдоль главной оси, f — объемная концентрация сыпучего материала; ω — угловая частота поля; ψ_e — начальная фаза; t — длительность воздействия поля.

Для семенной массы, применительно к процессу ее гравитационного истечения в электрическом поле, в выражениях (2) и (3) можно оперировать членами, характеризующими установившийся режим, т. к.

$t \gg \tau$. Последнее условие обусловлено тем, что время воздействия поля даже при малых значениях напряжения (менее 100 $В$) всегда больше 0,04 $с$ независимо от влажности, тогда как постоянная релаксации на два порядка меньше. Для установившегося режима вращающий момент электрического поля с учетом (2) и (3) можно представить выражениями:

а) при постоянном поле E_0 —

$$M(t) = K_м \cdot V \cdot \varepsilon_2 \cdot n \cdot E_0^2 \cdot \sin \alpha; \tag{7}$$

б) при синусоидальном поле $E_{0д} = \sqrt{2}\, E_0$ —

$$M(t) = K_м \cdot V \cdot \varepsilon_2 \cdot n \sqrt{\frac{1+\omega^2\tau^2}{1+\omega^2\tau_1^2}} \cdot 2E_0 \sin(\omega t + \psi_\varepsilon - \alpha) \sin(\omega t + \psi_\varepsilon) \sin \alpha. \tag{8}$$

Из (8) следует, что вращающий момент в синусоидальном электрическом поле во времени изменяется по величине и направлению. При $\alpha = 0$ $M(t)$ всегда является положительным и в этом случае имеет место максимальное влияние поля на сыпучий материал. Для случаев $\alpha > 0$ механическое проявление обусловлено разностью средних значений положительного и отрицательного моментов, т. е.

$$M = |\overline{M}_{(+)}| - |\overline{M}_{(-)}|. \tag{9}$$

Проанализируем переменный множитель в (8):

$$\Phi = \sin(\omega t + \psi_\varepsilon - \alpha) \cdot \sin(\omega t + \psi_\varepsilon). \tag{10}$$

Из (10) очевидно, что за время одного периода

$$\Phi > 0 \quad \text{при} \quad \alpha + \pi k < \omega t + \psi_\varepsilon < \pi(k+1),$$

$$\Phi < 0 \quad \text{при} \quad \pi k < \omega t + \psi_\varepsilon < \pi k + \alpha,$$

где $K = 0, 1, 2, 3, \ldots$

Интегрируя (10) в указанных пределах, определим средние значения:

$$\overline{\Phi}_{(+)} = \frac{(\pi - \alpha)\cos\alpha + \sin\alpha}{2\pi}; \qquad \overline{\Phi}_{(-)} = \frac{\alpha\cos\alpha - \sin\alpha}{2\pi},$$

разность которых

$$\overline{\Phi} = |\Phi_{(+)}| - |\Phi_{(-)}| = \frac{\cos\alpha}{2}.$$

С учетом значения $\overline{\Phi}$ выражение (8) представим для среднего значения вращающего момента

$$\overline{M} = K_м \cdot V \cdot \varepsilon_2 \cdot n E_0^2 \sin\alpha \cdot \eta, \tag{11}$$

где

$$\eta = \sqrt{\frac{1+\omega^2\tau^2}{1+\omega^2\tau_1^2}} \cos\alpha.$$

В отличие от постоянного, при синусоидальном электрическом поле вращающий момент определяется множителем η, значения которого представлены в табл. ($N = 0{,}24$, $f = 0{,}5$).

Таблица

Параметры	Влажность, %		
	5,4	7	10,2
γ_1, $см/м$	$5{,}6 \cdot 10^{-8}$	$32 \cdot 10^{-8}$	$280 \cdot 10^{-8}$
$\varepsilon_1/\varepsilon_2$	4,3	7,5	21,8
Значения η при 0 $Гц$	1	1	1
при 50 $Гц$	0,92	1	1
при 500 $Гц$	0,39	0,8	1
при 5000 $Гц$	0,28	0,46	0,81

Из представленных данных очевидно, что влажность материала в постоянном электрическом поле не оказывает влияния на величину вращающего момента, т. к. всегда $\gamma_1 \gg \gamma_2$ и $n \approx 1$, независимо от влажности. Такая тенденция с точностью 10% прослеживается из экспериментальных данных (кривые 1 на рис. 2, 3). В синусоидальном поле вращающий момент меньше ($\eta < 1$), чем в постоянном и зависит от частоты поля и влажности материала. С увеличением влажности увеличиваются диэлектрическая проницаемость и удельная проводимость. Увеличение проводимости является доминирующим, поэтому постоянная релаксации уменьшается. Увеличение влажности в итоге приводит к увеличению вращающего момента, степень которого зависит от абсолютной величины момента. При частоте 50 $Гц$ и влажности 5,4% значение вращающего момента ($\eta = 0{,}92$) близко своему предельному значению ($\eta = 1$), поэтому повышение влажности слабо влияет на величину момента. Подобный характер изменения взаимодействия электрического поля с сыпучим материалом при частоте 50$Гц$ следует также из экспериментальных данных. Для иллюстрации этого соответствия приведем теоретические значения η и экспериментальные значения напряжения запирания для различных влажностей: $U_{зап} = 550$ $В$ ($\eta = 0{,}92$) $U_{зап} = 365$ $В$ ($\eta = 1$); $U_{зап} = 330$ $В$ ($\eta = 1$).

С повышением частоты электрического поля влияние влажности материала на степень взаимодействия усиливается. Указанные выше показатели составляют: для 500 $Гц$ — 850 $В$ (0,39), 350 $В$ (0,8), 290 $В$ (1), а для 5000$Гц$ — 1200 $В$ (0,28), 400 $В$ (0,46), 280 $В$ (0,81).

Из полученных результатов следуют две основные закономерности, согласующиеся с теоретическими представлениями [6] и подтверждающие правомерность принятой рабочей гипотезы:

а) с увеличением влажности уменьшается влияние частоты электрического поля на расходные характеристики гравитационного истечения сыпучего материала;

б) с увеличением частоты электрического поля ослабляется механическое проявление его взаимодействия с сыпучим материалом.

НИИ физ. конденс. сред ЕГУ

10. VIII 1981

Ի. Ա. ԾԱՏՈՒՐՅԱՆ, Վ. Մ. ԱՐԻՆՑԱՅԱՆ, Ա. Ա. ԹՈՐՈՒՆՅԱՆ

ՀԱՃԱԽԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԱՋԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԴԱՇՏՈՒՄ ՍՈՐՈՒՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ԳՐԱՎԻՏԱՑԻՈՆ ՀՈՍՔԻ ՎՐԱ

Ա մ փ ո փ ո ւ մ

Ուսումնասիրված է տարբեր հաճախականության էլեկտրական դաշտի ազդեցությունը սորուն պիէլեկտրիկական նյութերի գրավիտացիոն հոսքի վրա։ Բերված են տարբեր խոնավություն ունեցող նյութի ծախսի կախվածությունը տարբ էլեկտրոդների նկատմամբ կիրառված լարման հաճախականությունից և ամպլիտուդից։ Ցույց է տրված, որ դաշտի հաճախականության սահմանային արժեքից ավելացումը թուլացնում է նրա փոխազդեցությունը գրավիտացիոն հոսող նյութի հետ, իսկ նյութի հատորդականության ավելացման ժամանակ այդ փոխազդեցությունը ուժեղանում էւ Որոշված են ծախսատի սերմերի սահմանային հաճախականությունների արժեքները՝ 20...30 հերց, 100...150 հերց և 400...600 հերց, որոնք համապատասխանում են սերմերի հետևյալ խոնավություններին՝ 5,4%, 7% և 10,2%։

Սորուն պիէլեկտրիկ նյութի ծավալում բևեռացման երևույթների բնութագրերի հիման վրա առաջարկված է մեխանիկական փոխազդեցության վերլուծությունը։ Այդ վերլուծության էությունը կայանում է նրանում, որ նշված փոխազդեցության աստիճանը որոշվում է միջէլեկտրոդային տարածության մեջ սորուն նյութի բևեռացման արագությունով։

Л И Т Е Р А Т У Р А

1 *Орлов С. П.* Дозирующие устройства.— М.: Машиностроение. 1966.— 285 с.

2 *Прищеп Л. Г., Цатурян Л. И.* Электрические явления в сыпучих средах и их применение — Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1980, № 1, с. 32—36.

3 А.С. 517798 (СССР). Способ дозирования сыпучих материалов. А. И. Цатурян, А. А. Торунян.— Опубл. в Б. И., 1976, № 22.

4 *Цатурян А. И.* О механизме гравитационного истечения сыпучих материалов в электрическом поле — Электричество, 1980, № 6, с. 51—53.

5 А.С.731299 (СССР). Способ дозирования сыпучих материалов. А. И. Цатурян, М. С. Захарян.— Опубл. в Б. И., 1980, № 16.

6 *Карапетян М. А.* Электрическое поле в неоднородном диэлектрике, смоделированном монодисперсной системой — Изв. АН АрмССР (сер. ТН), 1975, т. XXVIII, № 1, с. 18—25.