

свою чергу підтверджується даними з електропровідності системи (рис.3,ряд 3), можна припустити, що електропровідність проявляється за рахунок дипольних взаємодій між малими кінетичними одиницями.

Модифікування НК до 30% (рис.3,ряд 4) призвело до значної зміни в характері протікання кривої. При повній відсутності дипольно-сигментальної рухливості спостерігається різкий скачок прояву максимуму в області 70 кГц і незначний максимум в області 45 кГц. Це вказує на хорошу провідність системи за рахунок взаємодії релаксаторів з модифікованим наповнювачем. Дослідження електропровідності системи підтвердили скачок стану(рис.3,ряд 4).

При збільшенні в системі модифікатора до 40 % (рис.2,ряд 5) помітно змінились процеси релаксації. Всі три дипольно – групові процеси змістились в область високих частот, а дипольно – сигментальний в область низьких частот. Це вказує на те, що модифікатор в цілому робить жорсткою систему, що в свою чергу призвело до збільшення рухливості малих релаксаторів, що підтверджується результатами дослідження електропровідності (рис.2,ряд 5)

найбільший прояв електропровідності спостерігається при 95 кГц і невеликий при 85кГц, що в свою чергу вказує на те, що найбільшу провідність мають тільки кінетичні одиниці, які проявляються тільки в НК (рис.3,ряд 5).

Розглядаючи криву вміст модифікатора 50% (рис.2,ряд 6) можна відмітити, що великі релаксатори мають свої центри провідності (максимум області при 10 кГц), і малі релаксатори в свою чергу володіють невеликою провідністю (70 кГц і 95 кГц) (рис.3,ряд 6).

Таким чином можна прийти до висновку, що модифікація натурального поліізопрену кальцинованим каоліном призводить до пластифікації полімеру і одночасному збільшенні його електропровідності.

**Список літератури:** 1.Кошелев Ф.Ф.,Корнев А.Е., Буканов Л.М. Общая технология резины.- М.:Химия,1978-527 с. 2. Пашенко А.А.,Сербин В.П, Старчевская Е.А. Вяжущие материалы.- К.:Вища школа,1975.- 440 с. 3. Фабуляк Ф.Г. Молекулярное тепловое движение в поверхностных слоях полимеров.-К.:Наук.думка,1991.-304 с.

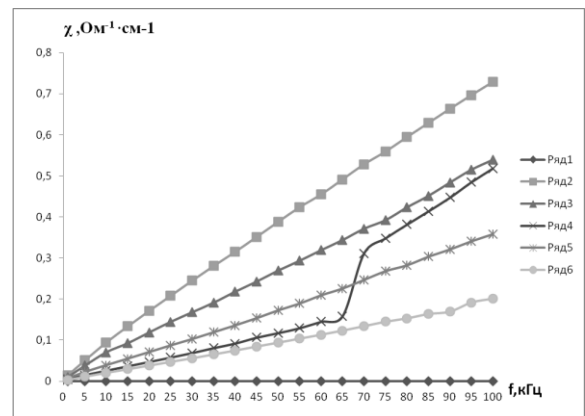
*Поступила в редколлегию 05.04.2012*

**УДК 621.317**

**А.А. НЕСТЕР**, канд. техн. наук, доц., ХНУ, Хмельницький,  
**С.П. ДЕМЧИК**, канд .физ.-мат. наук., доц., РГГУ, Ровно

## **МОДЕЛЬ ФИЛЬТРОВАНИЯ**

В статті розглядаються питання моделювання процесів фільтрації розчинів травлення друкованих плат. Створення моделі передбачає подальші роботи зі створення автоматизованих



**Рис.3.** Залежність  $\chi$  від частоти в модифікований НК

ліній травлення, що базуються на математичному описі процесів фільтрування відпрацьованих розчинів.

В статье рассматриваются вопросы моделирования процессов фильтрации растворов травления печатных плат. Создание модели предполагает дальнейшие работы по созданию автоматизированных линий травления, базирующихся на математическом описании процессов фильтрования отработанных растворов.

The paper represents modeling filtration processes of etching solutions used for printed circuit boards. Creating model assumes further developing automatic etching lines basing on mathematical description of processes for filtrating used solutions.

**Вступ.** При восстановлении водных растворов травления печатных плат и создании замкнутых процессов использования водных ресурсов, необходимо постоянное фильтрование растворов [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Анализ патентной и научно-технической литературы показал, что вопросами фильтрования отработанных водных растворов вплотную не занимаются.

**Постановка завдання:** Учитывая существующее положение на предприятиях целесообразно создание локальных замкнутых систем водного хозяйства работающих в автоматическом режиме [2].

**Виклад досліджень:** Во время эксплуатации установок восстановления через 1-1.5 месяца работы в травильном модуле накапливается грязь, влекущая к необходимости фильтрования растворов.

В реальных технологических условиях концентрация примесных частиц в жидкостях, которые фильтруются, в большинстве случаев есть сменной детерминированной или стохастической. Тем не менее, при моделировании процессов фильтрования через пористые среды традиционно принято считать, что она постоянная. Неточность соответствующих расчетов, проведенных в рамках основных математических моделей теории фильтрования Шехтмана относительно процессов фильтрования жидкостей со сменной концентрацией примесей в большинстве случаев приводит к значительным материальным потерям.

Движение зависших в порах загрузки примесных частиц, формирование и разрушение осадка есть чрезвычайно сложными процессами, эволюция которых определяется большим количеством взаимозависимых факторов [1, 2]. Единичные попытки адекватно учесть совместное действие даже некоторых из этих факторов, не дают удовлетворительных результатов. В связи с этим наиболее перспективным методом описания процессов фильтрования через пористые среды нужно считать статистическое моделирование. Доказательством этому, служит тот факт, что некоторые наиболее известные математические модели фильтрования, при обосновании которых не говорилось о стохастических закономерностях массопереноса, по сути являются стохастическими.

Система модельных уравнений Минца имеет вид:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + v \frac{\partial C}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = bvC - a\rho \quad (2)$$

$$C|_{x=0} = C_0 = const, \rho|_{t=0} = 0. \quad (3)$$

где  $t$  - время фильтрования;  $x$ - координата по высоте загрузки ( $x=0$  отвечает входному пересечению);  $C(x,t)$  – массовая концентрация зависших в порах загрузки примесных частичек твердой фазы суспензии;  $\rho(x,t)$  – плотность насыщения загрузки осадком;  $v = const$  - скорость фильтрования;  $a, b$  – параметры фильтрования (постоянные).

Уравнение (1) является уравнением материального баланса. Уравнение (2) - уравнение кинетики фильтрования, которое выражает тот факт, что скорость изменения плотности насыщения загрузки осадком определяется конкуренцией процессов захвата и отрыва частичек. Выходная суспензия и осадок, который образовывается считаются моодисперсными.

Словом в модели Минца, так как и в ее прототипе, из теории сорбции, неявно постулируется пуассонов закон процессов захвата и отрыва частичек. Причем, в процессе захвата роль времени выполняет координата  $x$ . Соответственно параметры  $b$  и  $a$  – это среднее число примесных частичек, которые захватываются при прохождении единичного пути в загрузке и среднее число частичек осадка, которые отрываются за единицу времени.

Данный вывод приводит к необходимости тщательного анализа решений рассматриваемой модели (1)-(3) с точки зрения их статистического содержания. Действительно в специальной литературе рассматривается более общий, чем система (1)-(3) случай:

$$\frac{\rho}{\rho_*} = ae^{-bx-at} \int_0^t I_0(\sqrt{abx} \sqrt{t-\eta}) e^{a\eta} d\eta \quad (4)$$

Здесь  $I_0$  - модифицированная функция Бесселя первого рода нулевого порядка от мысленного аргумента.

Выполняя замену сменной и проводя соответствующие переобозначения, сведем выражение (5) к виду

$$\frac{\rho}{\rho_*} = \frac{1}{\sigma^2} \int_0^{2\sqrt{abxt}} ye^{-\frac{y^2+\alpha^2}{2\sigma^2}} I_0\left(\frac{\alpha y}{\sigma^2}\right) dy = F(\sqrt{abxt}), \quad (5)$$

где  $\alpha = \sigma^2 = 2bx$ ;  $F$  – интегральная функция распределения Релея-Райса или вероятность того, что модуль радиус-вектора, компоненты которого независимые и распределенные по нормальному закону с параметрами  $(a_1, \sigma), (b_1, \sigma)$ , не превышает величины  $2\sqrt{abxt}$ ;  $a_1, b_1$  – средние значения проекции радиус-вектора на оси  $x$  и  $t$ ;  $\sigma^2$  - дисперсия;  $\alpha = \sqrt{a_1^2 + b_1^2}$ .

Таким образом, несмотря на то, что при обосновании выбора системы модельных уравнений (1)-(3) ничего не говорилось о стохастической природе процессов, которые происходят в фильтрах, все же таки она проявилась в точном совпадении относительной плотности  $\rho/\rho_*$  с интегральной функцией известного распределения.

В дальнейшем логически предположить возможность преобразования системы модельных уравнений Минца к виду, который разрешает сравнить их с

известными в статистической физике уравнениями. Действительно, систему (1), (2) можно свести к следующим уравнениям

$$\rho_t = -a\rho + ab \int_0^x \rho(\xi, t) e^{b(\xi-x)} d\xi + b\nu C_0 e^{-bx}, \quad (6)$$

$$0 = -\nu \frac{\partial C}{\partial x} - b\nu C + ab \int_0^t C(\xi, \tau) e^{a(\tau-t)} d\tau. \quad (7)$$

Данные уравнения являются уравнениями Колмогорова-Феллера, в которых: концентрации  $C$  и  $\rho$  - это проинтегрированные по возможным состояниям примесных частичек и частичек осадка плотности вероятностей перехода; состояния частичек - координаты  $x$  и  $x'$  и времена  $t$  и  $\tau$ ;  $b$  и  $a$  - плотности вероятностей скачкообразного изменения состояния частичек в следствие их захвата и отрыва соответственно  $b e^{b(\xi-x)}$ ,  $\frac{a}{\nu} e^{a(\tau-t)}$  - плотности условных вероятностей перехода частичек осадка из состояния  $x'$  в  $x$  и примесных частичек из  $\tau$  в  $t$  при наличии прыжка. Уравнение (6), (7) отображают баланс массы осадка и зависших в порах загрузки примесных частичек в выделенном в окрестности пересечения  $x$  элементарном объеме. А именно, член  $\rho_t$  в уравнении (6) - это скорость изменения плотности насыщения загрузки осадком в момент времени  $t$ . Она равняется разности скорости захвата в элементарном объеме частичек, которые оторвались в пересечении  $x'$  (интегральный член) и скорости отрыва частичек осадка (член  $a\rho$ ) плюс скорость захвата частичек, который определяется действием источника, размещенного в том же объеме и эквивалентного действия источника примесных частичек на входе фильтра (член, который содержит  $C_0$ ).

Интерпретация уравнения (7) аналогичная. Член  $-\nu \frac{\partial C}{\partial x}$  описывает скорость изменения систематического потока  $\nu C$ . Член  $b\nu C$  - это скорость захвата примесных частичек. Рост концентрации  $C$  в данном объеме за счет зависших примесных частичек, которые попали к нему в момент времени  $\tau$  и остались в зависшем состоянии по крайней мере к моменту времени  $t$ . Соответственно, интегральный член равняется скорости вследствие чего их концентрация в выделенном элементарном объеме (в пересечении  $x$ ) уменьшается отрыв частичек осадка в момент времени  $t$ , захваченный в момент  $\tau$ .

**Висновки:** Таким образом, проведенный анализ показал, что основная математическая модель процессов фильтрования через пористые среды - модель Минца есть стохастической. Тот факт, что модель Минца сводится к уравнениям Колмогорова-Феллера однозначно указывает на принцип и форму введения обобщенных стохастических уравнений процессов фильтрования через пористые среды, которые учитывают все их основные особенности. Учитывая изложенное, можно прогнозировать исследования по фильтрованию, а не ждать установления численных соотношений для строгого обоснования обобщенных уравнений.

**Список литературы:** 1. Виговська Т.В. Отходы как факторы экологической опасности/ Т.В. Виговська // Вестник ТУП. -2002. -№4. -ч.3. -С.153-158. 2. Гибкие автоматизированные

## УДК 535.62

**В.А. ПАРХОМЧУК**, асп.,асис., НТУУ «КПІ», Київ,  
**Б.О. ЯХНО**, канд.техн.наук,доц., НТУУ «КПІ», Київ

### **ВИЗНАЧЕННЯ ТОВЩИНИ І ГУСТИНИ ЗРОШЕННЯ ПЛІВКИ, ЯКА СТИКАЄ ПІД ДІЄЮ ГРАВІТАЦІЙНИХ СИЛ, НА КОНІЧНИХ ПОВЕРХНЯХ**

Розглянуто стенд для вивчення течії рідинної плівки по профільованим поверхням. Представлені профільовані конічні поверхні, по яким стікає рідинна плівка.

**Ключові слова:** конічна поверхня, рідинна плівка, профільована поверхня.

Рассмотрен стенд для изучения течения жидкостной пленки по профилированным поверхностям. Представлены профилированные конические поверхности, по которым стекает жидкостная пленка.

**Ключевые слова:** коническая поверхность, жидкостная пленка, профилированная поверхность.

The stand for the study of stream of liquid film on the profile surfaces is considered. The researches of flow down film of liquid on the cone surface are resulted.

**Keywords:** conical surface, liquid tape, profiled surface.

#### **1.Вступ**

В технологічних процесах, пов'язаних з інтенсифікацією масо- і теплообміну, в апаратах для випарювання рідини, при очищенні рідин і газів все ширше використовуються течії в тонких рідинних шарах. Використання таких течій в багатьох випадках підвищує ефективність роботи обладнання, його економічність, екологічну чистоту. Практичний досвід показує, що коло проблем, які відносяться до течій рідинних плівок по твердим поверхням, надзвичайно широкий і містить в собі течії різного типу рідин по вертикальним, нахиленим, циліндричним та іншим типам поверхонь. Формування плівок на таких поверхнях залежить від багатьох факторів: виду розподільчих пристроїв, умов на межі контакту рідина – тверда поверхня, рідина – газ. Плівкові течії охоплюють великий комплекс реологічних і гідромеханічних проблем, вирішення якого суттєво підвищило б ефективність виробництва і забезпечило б значний економічний ефект. Цим пояснюється актуальність і великий практичний інтерес до подібного типу проблем. Однією з найактуальніших серед них є проблема течії в'язких і аномально в'язких рідин по конічним поверхням, тобто поверхням з кривизною, що змінюється по довжині, яка, в свою чергу, призводить до появи відмінних від плоскої поверхні ефектів в плівці, підвищену дестабілізацію течії і т.д. Нажаль, на сьогодні ще повністю не вирішені задачі визначення для даного випадку основних гідродинамічних параметрів в плівці і вплив на них аномалій в'язкості рідини. Відсутні методики розрахунку елементів плівкових апаратів з робочою рідиною у вигляді конуса.