

## РОЗДІЛ «МАШИНОБУДУВАННЯ. МЕХАНІКА»

УДК 621.891

DOI 10.31319/2519-2884.32.2018.165

СОЛОД В.Ю., к.т.н., доцент  
НІКУЛІН О.В., к.т.н., доцент

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

НАБЛИЖЕНЕ ІНТЕГРУВАННЯ  
ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ

**Вступ.** Розв'язання комплексних дослідницьких і прикладних задач триботехніки, як правило, включає розгляд макро- і мікрогеометрії контактуючих поверхонь деталей машин і виробів. Будь-яка реальна поверхня має нерівності: чергуються виступи і западини при малих відстанях між ними (рис. 1). Нерівності, що утворюють в сукупності рельєф поверхні, називаються шорсткістю поверхні [1, 2]. Вимірювання нерівностей поверхні належать до лінійно-кутових вимірювань. Основна їх особливість полягає в малості вимірюваних величин. Виміру на виробництві підлягають значення висот нерівностей  $R$  від 0,025 мкм і кроків  $S$ , починаючи від 2 мкм. Найменша висота нерівностей в десятки разів менша від самого малого діаметрального розміру, а найменший крок – на два порядки менший від самого малого кроку різьблення.

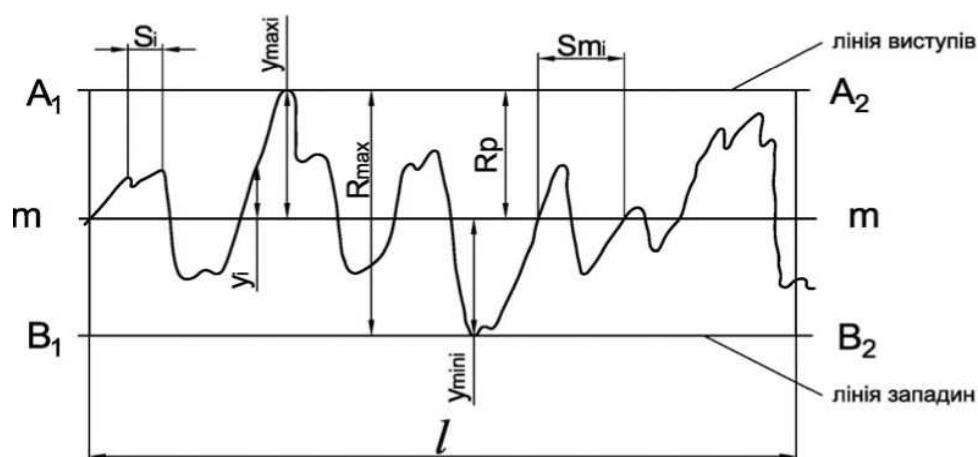


Рисунок 1 – Ділянка профілограми та її характеристики

Макроскопічна поведінка матеріалу безпосередньо залежить від особливостей його мікроструктури. Кількісний підхід при аналізі дозволяє виявити ту оптимальну структуру, яка в найбільшій мірі відповідає умовам служби матеріалу [3]. В даний час існує величезна кількість методів оцінки мікронерівностей поверхні. У кожного з них є свої плюси і мінуси, але їх головний спільний недолік полягає в неточності визначення дійсних значень досліджуваних величин і параметрів шорсткості профілю поверхонь [4]. Шорсткість поверхні характеризується набором показників, які визначаються даними вимірювання стану нерівностей поверхні по малим відрізкамі при базовій величині довжини на профілограмі. Сукупність характеристик, зазначених в нормативних документах, поширюється на вироби, виготовлені з використанням різних матеріалів, технологій та методів обробки, за винятком наявних дефектів. Для вимірювання нерівностей поверхні використовуються три визначальні параметри:

- $R_a$  – середнє арифметичне відхилення досліджуваного профілю, мкм;

- $R_z$  – висота вимірюваних нерівностей, яка визначається по 10 основних точках (сума середніх арифметичних абсолютних відхилень точок п'яти найбільших мінімумів і п'яти найбільших максимумів), мкм;

- $R_{\max}$  – найбільша висота нерівностей профілю, мкм.

Крім того, використовуються крокові параметри  $S_m$  і  $S_i$  та опорна довжина досліджуваного профілю  $t_p$ . Дані параметри вказуються при необхідності враховувати умови експлуатації деталей.

Величини  $R_a$  і  $R_z$  наведено в спеціальних таблицях і при необхідності можуть використовуватися при проведенні проектних або технологічних розрахунків. Згідно з діючими нормативними матеріалами існує шкала, в якій наведено значення шорсткості поверхні різних деталей, що мають детальну розбивку на ряди номінальних значень параметра  $R_a$  в залежності від способу обробки.

**Постановка задачі.** Прилади, які базуються на контактних методах вимірювання (профілометр, профілографи) використовуються порівняно тривалий час. Класичною технікою для вимірювання мікроповерхонь є контактний (профільний) метод [3]. При визначенні шорсткості, як правило, використовується параметр середнього арифметичного відхилення профілю. Варто відзначити, що саме шорсткість найбільше впливає на експлуатаційні характеристики двигунів машин, а також деталей і вузлів різного устаткування. Саме тому точне визначення значення шорсткості – одна з найважливіших задач метрології в триботехніці [5].

Теоретично і практично актуально точне визначення параметрів шорсткості. Розгляд математичних аспектів обробки результатів профілограм направлено на підвищення адекватності результатів.

**Результати роботи.** За визначенням  $R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx$ . Для практичних розрахунків [1, 2] рекомендується формула

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|. \quad (1)$$

Однак можна скористатися геометричним змістом інтеграла як площі фігури  $A$  і уточнити результати. Формулу (1) можна отримати, якщо для наближеного обчислення інтеграла скористатися формулою прямокутників (рис.2, а). Дійсно,  $\Delta A_i = |y_i| \Delta x$  – площа прямокутного елемента,  $A = \sum_{i=1}^n \Delta A_i$  – площа фігури. Після підстановки отримуємо

$$\frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx = \frac{1}{l} A = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n |y_i| \Delta x = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n |y_i| \frac{l}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|.$$

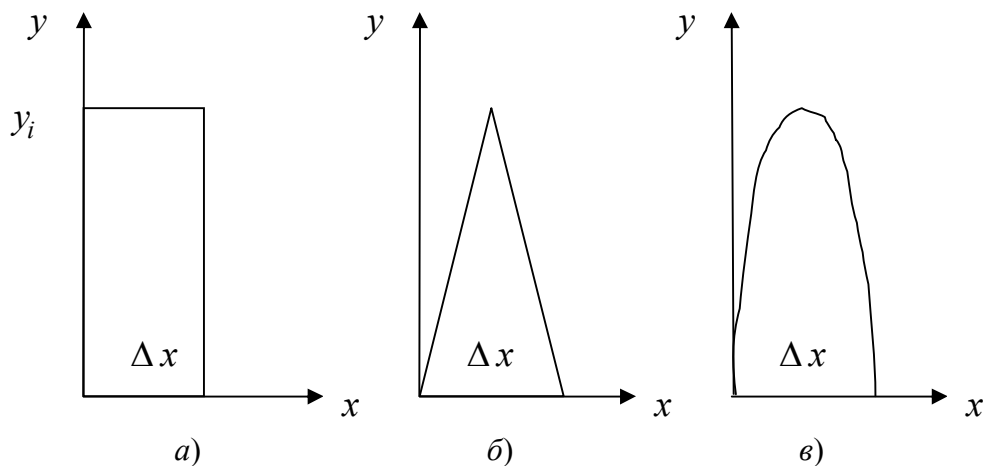
Проте, як показує типова профілограма (рис.1), краще, ніж прямокутне, наближення виступам і западинам рельєфу дають трикутники (рис.2, б) або криволінійні трапеції (рис.2, в).

При трикутних наближеннях

$$\frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx = \frac{1}{l} A = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n \Delta A_i = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n |y_i| \frac{l}{2 \cdot n} = \frac{1}{2 \cdot n} \sum_{i=1}^n |y_i|. \quad (2)$$

Якщо для наближень використовуються криволінійні трапеції, то формула Сімпсона набуває вигляду

$$\frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx = \frac{1}{l} A = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n \Delta A_i = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n |y_i| \frac{2 \cdot l}{3 \cdot n} = \frac{2}{3 \cdot n} \sum_{i=1}^n |y_i|. \quad (3)$$



а) – прямокутне; б) – трикутне; в) – криволінійне

Рисунок 2 – Наближення елементів рельєфу поверхні

З урахуванням формул (2) і (3) пропонується використовувати уточнену з використанням коефіцієнта форми  $k$  формулу практичних розрахунків

$$R_a = \frac{k}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|, \quad (4)$$

де  $k = 0,5 \dots 0,67$  і вибирається залежно від переважної форми виступів і западин на профілограмі (трикутники або криволінійні трапеції).

Приймати  $k = 1$ , як у формулі (1), недоцільно, тому що реальна форма западин і виступів не є прямокутною.

Фактами, що підтверджують правильність коригування формули розрахунку (1) за допомогою (4), є співвідношення між  $R_a$  і  $R_z$ . За даними таблиць співвідношень

$$\frac{R_z}{R_a} \approx 4.$$

Порівняння розрахункових формул для  $R_a$  і  $R_z$  дає

$$R_z = \frac{1}{5} \cdot \left( \sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}| \right) = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^{10} |y_i|,$$

$$R_a = \frac{k}{10} \sum_{i=1}^{10} |y_i|.$$

Після підстановки значень і з урахуванням табличних даних отримуємо

$$\frac{R_z}{R_a} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^{10} |y_i| \Big/ \frac{k}{10} \cdot \sum_{i=1}^{10} |y_i| = \frac{2}{k} = 4.$$

Тоді коефіцієнт форми  $k = 0,5$ .

Для ілюстрації застосування формули (4) і наступних висновків можна використати робочу профілограму з відповідною розміткою (рис.3). Профілограму записано з горизонтальним збільшенням профілографа  $K_z = 5000$  і вертикальним збільшенням  $K_g = 1000$ . Дані вимірювань заносяться у табл.1.

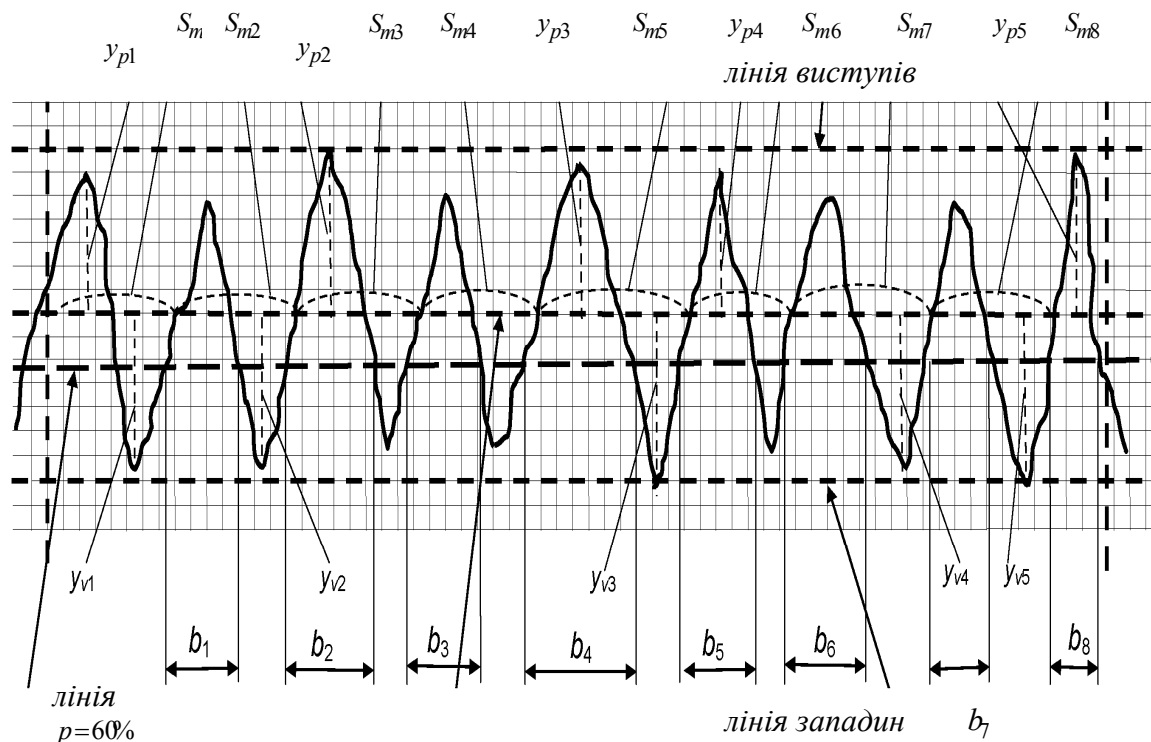


Рисунок 3 – Робоча профілограма

Таблиця 1 – Дані по характеристиках робочої профілографи

Ділянка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$ y_i $ , мм	13	15	16	14	15	16	14	15	15	16

Значення параметра розраховується за формулою

$$R_z = \frac{1}{5 \cdot K_g} \sum_{i=1}^{10} |y_i| \cdot 10^3 .$$

Після підстановки табличних даних

$$R_z = \frac{1}{5 \cdot 1000} \cdot (13 + 15 + \dots + 16) \cdot 10^3 = 29,8 \text{ мкм} .$$

Можна помітити, що форма виступів і западин наближується до трикутної (рис.3). У формулі (4) обираємо  $k \approx 0,5$ , враховуючи, що  $K_g = 1000$ . Далі отримуємо

$$R_a = \frac{0,5}{10K_g} \sum_{i=1}^{10} |y_i| \cdot 10^3 = 7,45 \text{ мкм} .$$

Відповідно до даних табл.1 за отриманими значеннями  $R_a$  і  $R_z$  поверхня відноситься до 5 класу шорсткості. Результати узгоджено.

За формулою (1)

$$R_a = \frac{1}{10K_\sigma} \sum_{i=1}^{10} |y_i| \cdot 10^3 = 14,9 \text{ мкм},$$

тобто за значенням  $R_a$  треба було б віднести поверхню до попереднього номінального значення в ряді шорсткості.

Тому при знаходженні  $R_a$  слід використовувати формулу (4) як більш адекватну.

**Висновки.** В роботі проаналізовано відомі формули визначення шорсткості поверхні металів і сплавів, на основі методів наближеного інтегрування визначено додаткові критерії оцінки мікрогеометрії поверхонь і запропоновано коригування формули визначення середнього арифметичного відхилення досліджуваного профілю  $R_a$ .

Встановлення взаємозв'язків між характеристиками  $R_a$  і  $R_z$  дає додаткову можливість контролювати процес досягнення заданих експлуатаційних характеристик виробів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Гаркунов Д.Н. Триботехника / Д.Н.Гаркунов. – М.: Машиностроение, 1985. – 424с.
2. Максименко О.П. Теорія і практика змащування металургійних машин: навч. посіб. / О.П.Максименко, В.В.Перемітько, В.М.Самохвал. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2007. – 224с.
3. Аналіз сучасних методів визначення структури та топології поверхонь матеріалів / О.Ю.Повстяной, В.Д.Рудь, Ю.А.Мельник, Н.Ю.Імбірович // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2014. – № 2. – С.37-42.
4. Исследование шероховатости поверхности подложек из совершенных монокристаллов  $CdTe$  / В.М.Каневский, Ю.М.Иванов, А.Н.Поляков [и др.] // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2006. – № 12. – С.12-14.
5. Методы исследования и контроля шероховатости поверхности металлов и сплавов / Ю.Ф.Назаров, А.М.Шкилько, В.В.Тихоненко, И.В.Компанец // Физическая инженерия поверхности. – 2007. – Т. 5, № 3-4. – С.207-216.

Надійшла до редколегії 22.01.2018.

УДК 621.923

DOI 10.31319/2519-2884.32.2018.166

МОЛЧАНОВ В.Ф. к.т.н., доцент

Днепропетровский государственный технический университет, г. Каменское

### ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ГРАНИЧНОЙ ЗАДАЧИ ФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТЕЙ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ

**Введение.** Исследованию механизма образования шероховатости поверхностей при окончательной обработке шлифованием посвящено значительное число работ. Однако механизм образования микропрофиля поверхности с учетом влияния твердых частиц, содержащихся в смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), исследован недостаточно.

*Анализ публикаций.* Известно, что металлические частицы шлама, попавшие вместе с жидкостью в зону контакта абразивных зерен круга с поверхностью заготовки,

деформируются сами и оказывают определенное влияние на деформацию материала обрабатываемой поверхности, что приводит к образованию прижогов. Абразивные частицы шлама практически не деформируются, а, вступая в силовой контакт при шлифовании, как бы «удлиняя» абразивные зерна на поверхности круга и участвуя в единичных актах резания, внедряются в обрабатываемую поверхность, оставляя следы воздействия на поверхностном слое детали, которые приводят к росту шероховатости. Для исключения прижогообразования при шлифовании и уменьшения шероховатости поверхности, загрязненные жидкости необходимо очищать от твердых частиц металлообработки [1-3].

Использование фильтрации для очистки и осветления технологических жидкостей наиболее эффективно, так как при фильтрации через слой пористых материалов можно достигнуть полного извлечения твердых частиц из жидкостей [4]. Однако особенности строения порового пространства обуславливают ряд специфических явлений, возникающих при движении жидкостей в каналах пористой среды.

**Постановка задачи.** Целью исследования являются изучение и установление закономерности процесса фильтрации технологических жидкостей через пористые материалы. При фильтрации технологических жидкостей через слой пористых материалов пористая среда фильтрующей перегородки деформируется с изменением ее пористости. Изменение пористости происходит за счет уменьшения объема пор порового пространства, так как твердые частицы вместе с жидкостью проникают в поры каналов порового пространства и застревают в них.

**Результаты работы.** В рассматриваемой модели процесс фильтрации шламовой суспензии протекает с постоянным закупориванием пор фильтрующей перегородки. При фильтрации с постепенным закупориванием пор на фильтрующую перегородку объемом  $W_{\phi}$ , в которой содержится слой сыпучего пористого материала пористостью  $\Pi$ , непрерывно поступает технологическая жидкость со скоростью  $W_{ж}$ , в которой содержатся твердые частицы массой  $\kappa_3$ . Поступающие с жидкостью в поры каналов фильтрующей перегородки твердые частицы застревают и задерживаются в ней, а отфильтрованная жидкость продолжает двигаться с той же скоростью. Твердые частицы, застрявшие в порах каналов фильтрующей перегородки, изменяют ее пористость и оказывают влияние на длительность процесса фильтрации [5].

Предполагая, что изменение пористости пропорционально приросту массы твердых частиц в пористом слое фильтрующей перегородки объемом  $W_{\phi}$ , получим

$$d\Pi = \frac{dm_T}{\rho_T \cdot W_{\phi}}, \quad (1)$$

где  $\rho_T$  – плотность твердых частиц, кг/м<sup>3</sup>.

Так как при фильтрации шламовых суспензий через слой твердых частиц шлама пористая среда непрерывно деформируется, то уравнение неразрывности принимает вид

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} + \Pi \frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \frac{\partial \Pi}{\partial t} = 0. \quad (2)$$

Подставляя в уравнение неразрывности значения

$$\frac{\partial \Pi}{\partial t} = \frac{d\Pi}{dm_T} \cdot \frac{\partial m_T}{\partial t} \quad \text{и} \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{d\rho}{dP} \cdot \frac{\partial P}{\partial t},$$

получаем

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} + \Pi \frac{d\rho}{dP} \frac{\partial P}{\partial t} + \rho \frac{d\Pi}{dm_T} \frac{\partial m_T}{\partial t} = 0.$$

Реальная жидкость слабо сжимаема, поэтому с достаточной степенью точности можно записать

$$\rho - \rho_0 = \frac{\rho_0}{\alpha} (P - P_0), \quad (3)$$

где  $\alpha$  – модуль упругости жидкости, Па.

Определяя по приведенным выше формулам значения величин

$$\frac{\partial m_T}{\partial t} = W_{жс} K_3 e^{-W_{жс} \cdot t}; \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{d\rho}{dP} \frac{\partial P}{\partial t}; \quad \frac{d\Pi}{dm_T} = \frac{1}{\rho_T W_\phi}; \quad \frac{d\rho}{dP} = \frac{\rho}{\alpha},$$

уравнение неразрывности для деформируемой пористой среды окончательно принимает следующий вид:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} + \frac{\Pi \rho}{\alpha} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\rho K_3 W_{жс} e^{-W_{жс} \cdot t}}{\rho_T W_\phi} = 0.$$

Из уравнения неразрывности получаем уравнение движения жидкости в деформируемой среде

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = \frac{\Pi \mu}{k\alpha} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\mu K_3 W_{жс} e^{-W_{жс} \cdot t}}{k\rho_T W_\phi}. \quad (4)$$

Так как при фильтрации суспензии через слой твердых частиц движение протекает в одном направлении, то уравнение (4) принимает вид

$$\frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = \frac{\Pi \mu}{k\alpha} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\mu K_3 W_{жс} e^{-W_{жс} \cdot t}}{k\rho_T W_\phi}. \quad (5)$$

Это уравнение позволяет при заданных начальных и граничных условиях получить решение задачи фильтрации жидкости через слой твердых частиц деформируемой пористой среды фильтрующей перегородки. На основании закона изменения пористости фильтрующей перегородки получено дифференциальное уравнение движения жидкости в деформируемой пористой среде с начальными и граничными условиями в области значений  $0 \leq t \leq T$ ,  $0 \leq z \leq L$ :

$$\frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = \frac{\Pi \mu}{k\alpha} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\mu K_3 W_{жс} e^{-W_{жс} \cdot t}}{k\rho_T W_\phi}, \quad (6)$$

$$P(z,0) = P_1; \quad P(0,t) = P_1; \quad P(L,t) = P_2. \quad (7)$$

На поверхности фильтрующей перегородки распределение давления задаем как функцию координат и времени  $P(z,t)$ .

Распределение давления на поверхности фильтрующей перегородки в начальный момент фильтрации при  $t = 0$   $P(z,0) = P_1$ .

Так как давление на поверхности фильтрующей перегородки во время фильтрации поддерживается постоянным, то

$$\text{при } z = 0 \quad P(0, t) = P_1,$$

$$\text{при } z = L \quad P(L, t) = P_2.$$

В итоге приходим к постановке нестационарной граничной задачи фильтрации шламовых жидкостей в деформируемой пористой среде.

Решение нестационарной задачи (6) с начальными и граничными условиями (7) осуществляем с помощью метода конечных разностей. Сущность метода состоит в том,

что решением задачи является искомый набор чисел в соответствующих точках множества. В качестве дискретного множества точек  $D_h$ , которые показаны на рис.1, используем совокупность точек пересечения прямых линий  $z = mh$ ,  $t = n\tau$  при  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$  и  $n = 0, 1, 2, \dots [T/\tau]$ , где  $h > 0$ ,  $\tau > 0$  – некоторые числа.

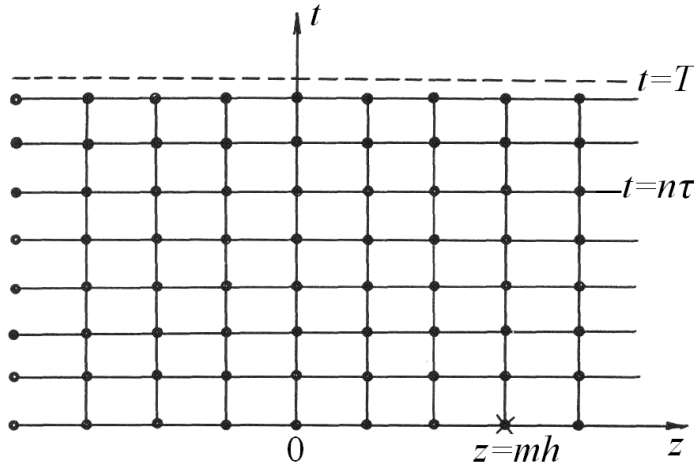


Рисунок 1 – Дискретное множество точек  $D_h$

Считаем, что шаг  $\tau$  связан с шагом  $h$  зависимостью  $\tau = rh^2$ , где  $r = \text{const}$ , так что сетка  $D_h$  зависит только от параметра  $h$ .

Искомой сеточной функцией является таблица  $[P]_h = \{P(mh, n\tau)\}$  значений решения  $P(z, t)$  уравнения (6) в точках сетки  $D_h$ .

Неявная разностная схема, аппроксимирующая дифференциальное уравнение (6), имеет вид

$$\frac{P_m^{n+1} - P_m^n}{\tau} - \frac{k\alpha}{\Pi\mu} \cdot \frac{P_{m+1}^{n+1} - 2P_m^{n+1} + P_{m-1}^{n+1}}{h^2} = \frac{\alpha k_0 W_{жс} e^{-W_{жс} \cdot t}}{\Pi \rho_T W_\phi}, \quad (8)$$

$$P_m^0 = P_1; \quad P_0^n = P_1; \quad P_L^n = P_2. \quad (9)$$

Для того, чтобы вычислить значение  $P_m^{n+1}$  при  $m = 0, 1, 2, \dots, L$ , зная значения  $P_m^n$  при  $m = 0, 1, 2, \dots, L$ , надо решить задачу

$$\frac{P_m^{n+1}}{\tau} - \frac{k\alpha}{\Pi\mu} \cdot \frac{P_{m+1}^{n+1} - 2P_m^{n+1} + P_{m-1}^{n+1}}{h^2} = \frac{P_m^n}{\tau} + \frac{\alpha k_0 W_{жс} e^{-W_{жс} \cdot t}}{\Pi \rho_T W_\phi}. \quad (10)$$

$$P_0^{n+1} = P_1; \quad P_L^{n+1} = P_2. \quad (11)$$

Эта задача после умножения обеих частей разностного уравнения на множитель « $-\tau$ » примет вид

$$a_m V_{m-1} + b_m V_m + c_m V_{m+1} = q_m \quad (12)$$

при  $m = 1, 2, 3, \dots, L - 1$ ,



$$V_0 = \alpha_0; \quad V_L = \beta_0, \quad (13)$$

где  $V_m = P_m^{n+1}$ ,  $a_m = \frac{k\alpha}{\Pi\mu}r$ ,  $b_m = -2\frac{k\alpha}{\Pi\mu}r - 1$ ,  $c_m = \frac{k\alpha}{\Pi\mu}r$ ,

$$q_m = -P_m^n - \tau \frac{\alpha k_0 W_{жс} e^{-W_{жс} \cdot t}}{\Pi \rho_T W_\phi}, \quad a_0 = P_1, \beta_0 = P_2.$$

Коэффициенты  $a_m$ ,  $b_m$ ,  $c_m$  удовлетворяют условиям  $a_m > 0$ ,  $c_m > 0$ ,  $|b_m| > a_m + c_m + \delta$ , где ( $\delta > 0$ ). Поэтому задача имеет единственное решение.

Для решения разностной граничной задачи записываем уравнение  $V_0 = a_0$  системы (12) в виде

$$V_0 = M_{1/2} V_1 + K_{1/2},$$

где  $M_{1/2} = 0$ ,  $K_{1/2} = a_0$ .

Из уравнения  $a_1 V_0 + b_1 V_1 + c_1 V_2 = q_1$ , отвечающего в системе (12) номеру  $m = 1$ , исключим  $V_0$  с помощью равенства  $V_0 = M_{1/2} V_1 + K_{1/2}$ .

Результат записываем в разрешенном относительно  $V_0$  виде

$$V_1 = M_{3/2} V_2 + K_{3/2},$$

где  $M_{3/2} = \frac{-c_1}{b_1}$ ,  $K_{3/2} = \frac{a_1 \alpha_0 - q_1}{-b_1}$ .

Описанный процесс исключения продолжаем для значений  $m = 2, 3, 4, \dots$

Коэффициенты, получаемые в процессе исключения соотношений

$$V_m = M_{m+1/2} V_{m+1} + K_{m+1/2},$$

вычисляются по рекуррентным формулам

$$M_{m+1/2} = \frac{-c_m}{b_m + a_m M_{m-1/2}}; \quad K_{m+1/2} = \frac{q_m - a_m K_{m-1/2}}{b_m + a_m M_{m-1/2}}.$$

Последнее из получаемых таким образом соотношений имеет вид

$$V_{L-1} = M_{L-1/2} V_L + K_{L-1/2}.$$

Так как значение  $V_L = \beta_0$ , то можно вычислить  $V_{L-1} = M_{L-1/2} \beta_0 + K_{L-1/2}$ .

После этого  $V_{L-2} = M_{L-3/2} V_{L-1} + K_{L-3/2}$  и так далее, пока не будет определено  $V_1$ .

Полученное решение позволяет при заданных начальных и граничных условиях определять гидродинамические параметры фильтрации жидкости через слой частиц деформируемой пористой среды фильтрующей перегородки.

#### Выводы.

1. Проведенное исследование позволяет выявлять и изучать закономерности процесса фильтрации технологических жидкостей через пористые материалы.

2. Выявленные закономерности позволяют установить закон изменения пористости фильтрующей перегородки.

3. На основании закона изменения пористости получено дифференциальное уравнение, которое позволяет при заданных начальных и граничных условиях решить нестационарную задачу фильтрации жидкостей через деформируемый слой пористой среды фильтрующей перегородки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Худобин Л.В. Влияние загрязнения СОЖ отходами шлифования на прижогообразование / Л.В.Худобин, Е.П.Гульнов // Вестник машиностроения. – 1978. – №1. – С.67-68.
2. Степанов М.С. Влияние механических примесей, содержащихся в СОЖ, на структуру и микротвердость поверхностного слоя шлифованных деталей / М.С.Степанов, Н.С.Шумакова // Смазочно-охлаждающие технологические средства в процессе абразивной обработки. – Ульяновск. – 1988. – С.78-84.
3. Полянсков Ю.В. К методике исследования эффективной очистки СОЖ от механических примесей при абразивной обработке / Ю.В.Полянсков, Е.А.Карев, Е.М.Булыжев [и др.] // Машиностроение: труды института. – Куйбышев: Ульяновский политехнический институт. – 1976. – Том X, вып.1. – С.46-54.
4. Молчанов В.Ф. Постановка нестационарной граничной задачи фильтрации жидкостей в деформируемой пористой среде / В.Ф.Молчанов // Математичні проблеми технічної механіки: четверта всеукр. наук. конф., 19-21 квітня 2004 р.: матеріали конференції. – Дніпропетровськ, 2004. – С.88.
5. Молчанов В.Ф. Постановка нестационарной задачи фильтрации жидкостей в пористой среде / В.Ф.Молчанов // Математичне моделювання: науковий журнал. – 2014. – №1. – С.28-30.

*Поступила в редколлегию 26.02.2018.*