

„Харчова промисловість“
Київ, „Техніка“, 1972, вип. 15

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ЕЛЕКТРОАНАЛОГІЇ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ТІСТА-ХЛІБА В ПРОЦЕСІ ВИПІКАННЯ

Сучасний стан теорії тепло- і масоперенесення в складних капілярно-пористих тілах дає можливість звести вивчення кінетики взаємозв'язаних процесів внутрішнього тепло- і масоперенесення до вивчення окремо взятих процесів масоперенесення і теплоперенесення [1].

У комплексі технологічних задач внутрішнього теплоперенесення при різних гіротермічних процесах обробки харчових продуктів важливу роль відіграє аналіз пошарового вимірювання ефективних коефіцієнтів теплопровідності λ_{ef} . Така інформація становить значимий практичний (з метою спрямованого регулювання технологічного процесу) і теоретичний інтерес для аналізу механізму внутрішнього теплоперенесення.

Використання для цих потреб експериментальних методів становить значні труднощі. На думку авторів, для розв'язання цієї задачі доцільно використати так звані обернені задачі теорії теплопровідності [5] з застосуванням досить простого в практичному здійсненні і надійного електроаналогового методу на $R-C$ -сітках [2].

Безпосередню для розрахунку кінетики пошарових змін коефіцієнтів λ_{ef} автори використали електроінтегратор ЗИПІ-3/66 [4].

На рис.1 показано кінетику температурного поля під час випікання шпеничного хліба з борошна І сорту в лабораторних умовах при радіаційно-конвективному підведенні тепла. Дослідні дані щодо замірювання температур використані для задавання початкових і граничних умов першого роду. Під час моделювання задачу розглядали як одновимірну.

Для визначення коефіцієнтів λ_{ef} використано сіткову $R-C$ -ланку (рис.2), яка складалася з 9 магазинів опорів типу $R-33$ та 8 конденсаторів. Опори $R_1 - R_9$ моделюють λ_{ef} у шарах тіста-хліба, а ємності - об'ємну теплоємність c_v . Моделювання гранич-

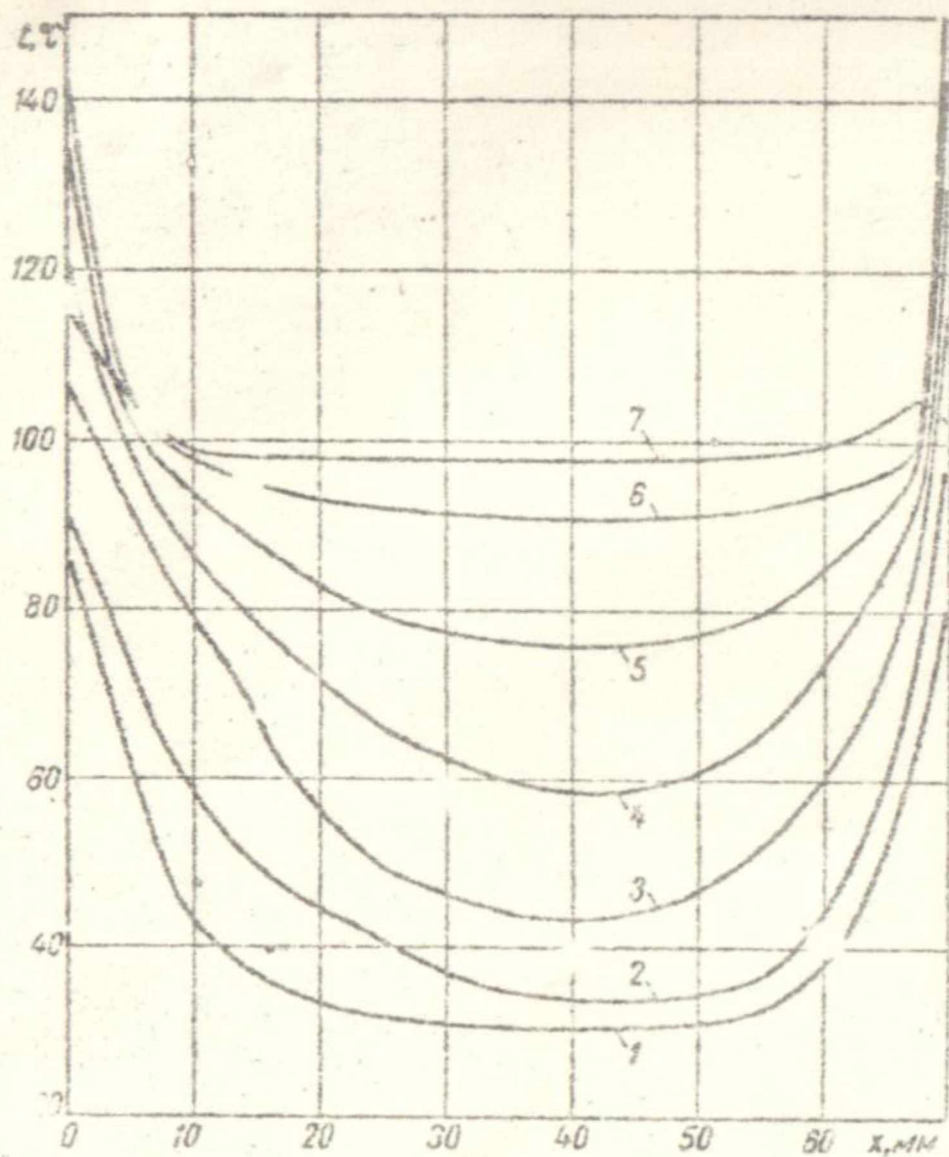


Рис. 1. Температурні криві у процесі випікання тіста-хліба для часу τ :
 1 - 7 - зі згідно 3, 6, 9, 12, 15, 18 і 21 хв.

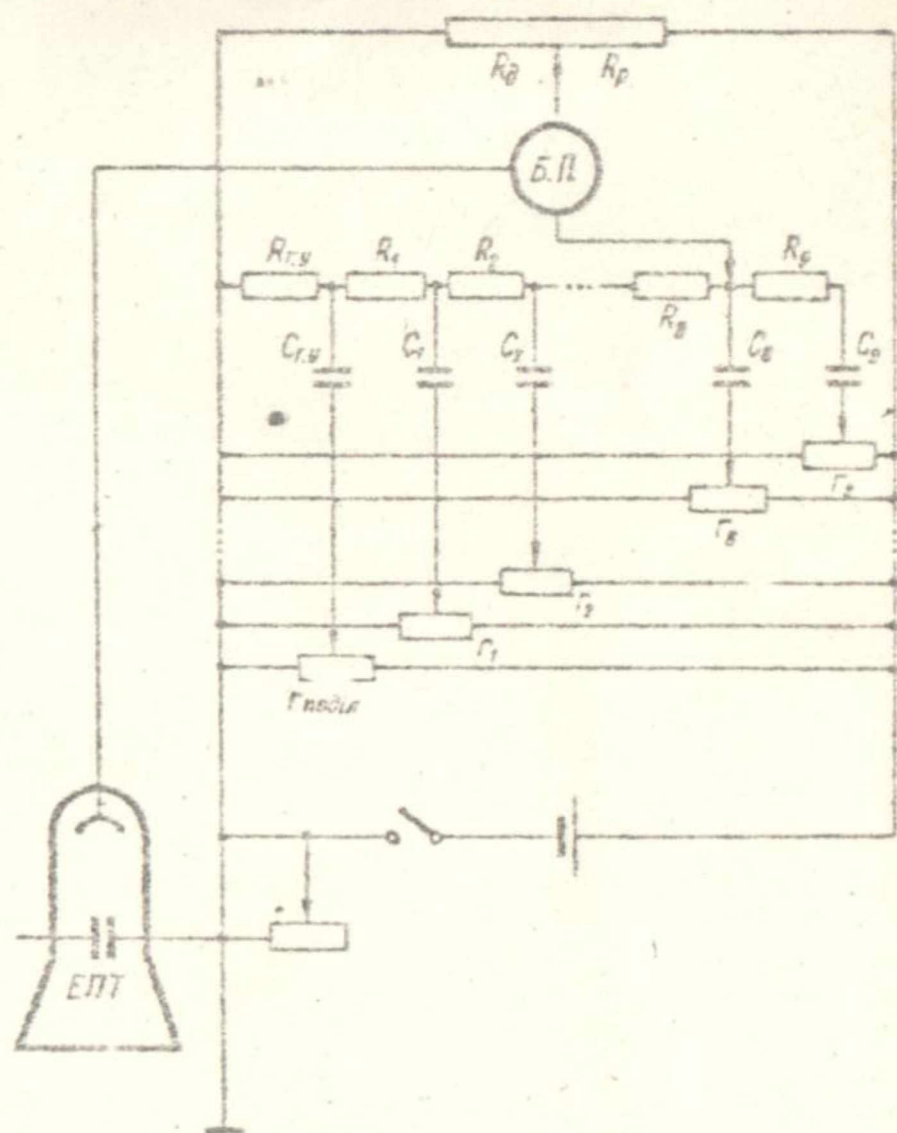


Рис. 3. Схема подключения R - C-ланки до електроінтегратора ЗИИИ-3/66.

них умов здійснювалось за допомогою ланки $R_{2,y} - C_{2,y}$. Задача розв'язувалася з тією ж дискретністю в часі, що й у випадку зняття температурних полів (через 3 хв).

Методика розв'язування оберненої задачі теплопровідності для визначення коефіцієнтів λ_{ef} зводиться ось до чого. Для початкового моменту часу $t = 0$ за допомогою подільників напруги $r_1 - r_9$ на емкостях моделі $c_1 - c_9$ встановлюються потенціали $\varphi = 0$, що відповідає $t = 30^\circ\text{C}$. Величини опорів моделі $R_1 - R_9$ встановлюються однаковими і розраховуються [3] за формулою

$$R = \frac{c_y \cdot l^2}{\alpha_t \lambda_{ef} C_m n^2}, \quad (1)$$

де c_y - об'ємна теплосмність тіста; λ_{ef} - коефіцієнт ефективною теплопровідності тіста; C_m, R - відповідно електроємність і опір комірки моделі; n - кількість вузлів на модельований шар; l - умовна одиниця довжини натури; α_t - масштаб часу.

Потім на декаді R_9 і реохорді R_p електроінтегратора по черзі встановлюють безрозмірні потенціали, які відповідають температурам кожного шару для третьої хвилини. Змінюючи величини опорів $R_1 - R_9$, добиваються рівності відносних потенціалів на декаді і реохорді з падінням потенціалів на відповідних модельованих комірках.

У момент, коли потенціали комірки моделі і встановлений на декаді та реохорді збігаються, блок порівняння БП дає імпульс, завдяки чому на екрані електроннопроменевої трубки виникає спалах. На екрані є шкала часу. У дослідях авторів спалах повинен був з'являтися на поділці $n \approx 30$, що відповідає інтервалу часу в натурі $t \approx 3$ хв.

Після виконання цієї умови знімають покази опорів на магазині $R_1 - R_9$, виходячи з яких за формулою (1) розраховують λ_{ef} для даного моменту часу.

Дальшим етапом розв'язання задачі є перехід на $t \approx 6$ хв. Для цього на подільниках $r_1 - r_9$ встановлюють в єдині потенціали, які відповідають температурам кожного шару для $t \approx 3$ хв, а на декаді та реохорді виставляють по черзі відносні потенціали для $t \approx 6$ хв і таким чином розв'язують кожний наступний етап.

Зв'язок між відносним потенціалом і температурою розраховують [3] за такою формулою:

$$\varphi = \frac{t - t_{\min}}{t_{\max} - t_{\min}} \quad (2)$$

У процесі випікання хліба величини c_{γ} змінюються, тому з переходом до кожного наступного етапу відповідно змінюється і величини $c_1 - c_0$.

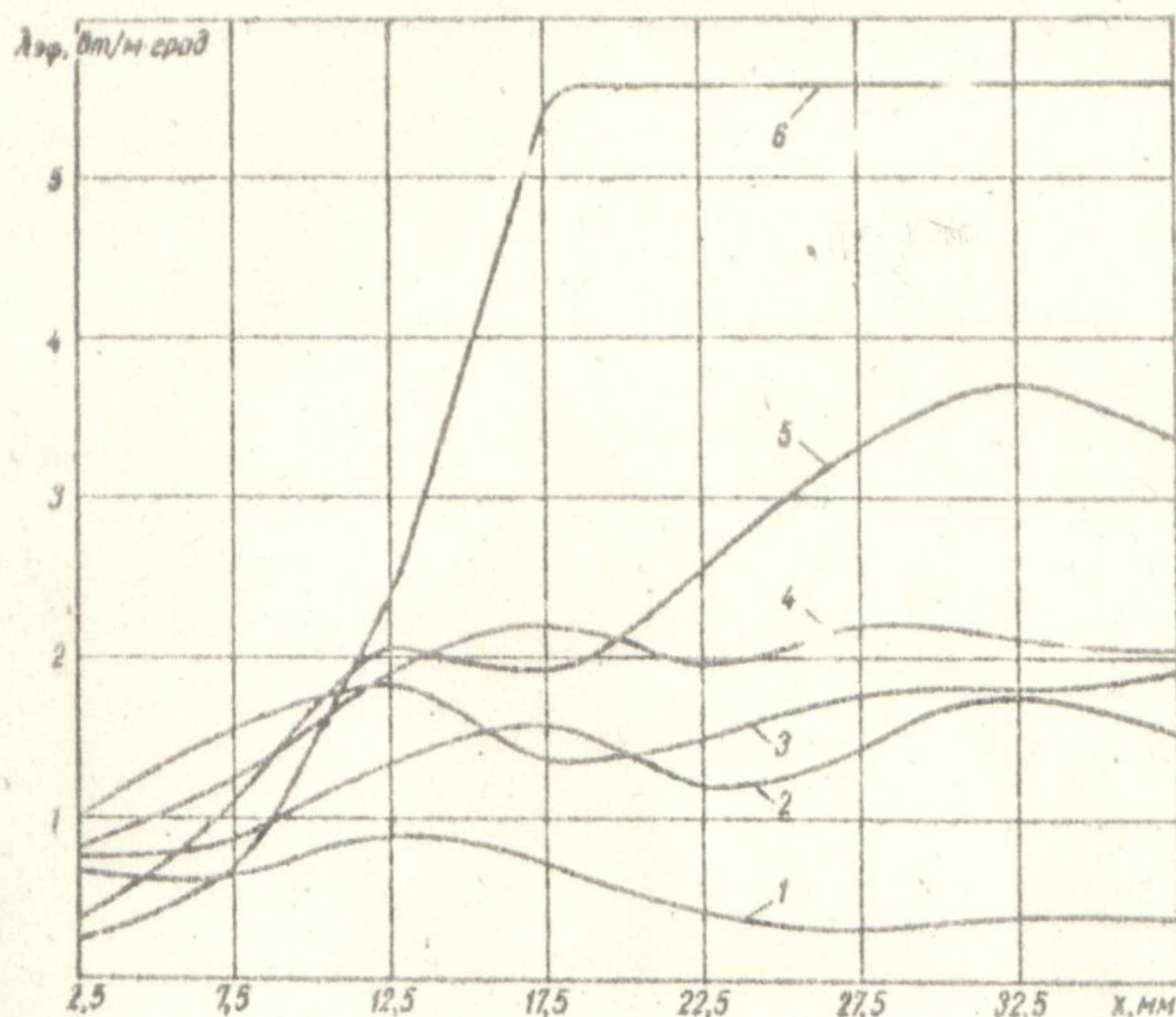


Рис.3. Кінетика ефективних коефіцієнтів теплопровідності у процесі випікання тіста-хліба для часу τ :
1 - 6 - відповідно 3, 6, 9, 12, 15, і 18 хв.

Знаючи величини опорів $R_1 - R_2$ для кожного етапу, за формулою (1) розраховують пошарові коефіцієнти $\lambda_{\text{эф}}$.

Результати досліджень представлені на рис.3. Як видно, коефіцієнти $\lambda_{\text{эф}}$ значно змінюються у процесі випікання. Так, для $\tau = 18$ хв $\lambda_{\text{эф}}$ в 10-13 раз зростають у порівнянні з $\lambda_{\text{эф}}$ для $\tau = 3$ хв (криві 1 і 6). Цей факт, очевидно, зв'язаний не тільки з підвищенням температури тіста-м'якушки, а із значним впливом змі-

ни структури тіла і процесів масоперенесення (головним чином пароповітряної суміші) всередині пор на теплопровідність.

Коефіцієнти λ_{ef} у скоринці спочатку зростають до 1 Вт/м·град, а потім спадають до 0,25 Вт/м·град. Зростання коефіцієнта λ_{ef} у скоринці на початку процесу можна пояснити підвищенням температури. Так, вже на 9-й хвилині процесу випікання температура в підскоринковому шарі на глибині 2,5 мм близько 98°C. Це приводить до бурхливого випаровування вологи скоринки. Далі із зменшенням вологовмісту коефіцієнти λ_{ef} зменшуються.

Збільшення коефіцієнтів λ_{ef} на глибині 8 ~ 18 мм, очевидно, відбувається за рахунок явища термодифузії. Переміщена всередину волога переносить певну кількість тепла, за рахунок чого і збільшується λ_{ef} .

На кінці процесі випікання температура по товщині виробу, що випікається, встановлюється майже однакова, що приводить до сталого значення коефіцієнта λ_{ef} .

Література

1. Д н к о в А.В. Теория сушки. М., "Энергия", 1968.
2. Т а р а п о н А.Г. Моделирование дифференциальных уравнений в частных производных параболического типа на электропроводной бумаге с распределенной емкостью. - У зб.: "Некоторые вопросы прикладной математики и аналоговой техники". Вып. 2. Киев, "Наукова думка", 1966.
3. Т а р а п о н А.Г. и др. Моделирование тепловых задач. - У зб.: "Некоторые вопросы прикладной математики и аналоговой техники". Вып. 2. Киев, "Наукова думка", 1966.
4. Т а р а п о н А.Г., У л а с о в и ч М.Н. Интегратор ЭИИИ для моделирования двумерных нестационарных полей на электропроводной бумаге с распределенной емкостью. - У зб.: "Некоторые вопросы прикладной математики и аналоговой техники". Вып. 2. Киев, "Наукова думка", 1966.
5. Т е м к и н А.Г. Реконструкция полей тепло- и массосодержаний коллоидного тела. - У зб.: "Вопросы нестационарного переноса тепла и массы". Изд. ИТМО АН ВССР, 1965.

Надійшла 30 березня 1971 р.