

МЕТОД РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Б.Х. Драганов, доктор технических наук

Приведен расчетно-экспериментальный метод моделирования тепломассообменных процессов, характерных для строительной теплофизики. При решении обратной задачи получены решения, наиболее соответствующие результатам проводимого эксперимента.

Параметрический анализ, идентификация параметров, решение обратных задач, итерационный процесс, вычислительный эксперимент, матрица, пространственно-временная область.

Одним из путей уменьшения погрешности расчетного анализа и экспериментальных исследований является использование расчетно-экспериментального подхода.

Расчетно-экспериментальный подход к моделированию и прогнозированию исследуемых тепломассообменных процессов обеспечивает идентификацию параметров математической модели решением обратных задач по имеющимся данным проведенных экспериментов.

Цель исследования – разработка метода, направленного на снижение тепловых потерь на основе теоретических и экспериментальных данных.

Материалы и методика исследований. Схема расчетно-экспериментального анализа тепломассообменных процессов приведена на рисунке.

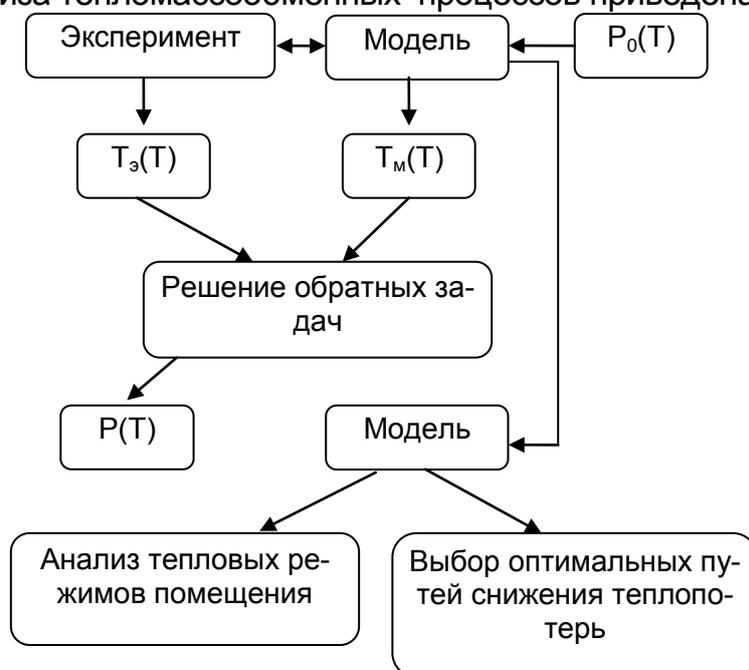


Схема расчетно-экспериментального подхода

В ходе расчетных и экспериментальных исследований определяются расчетные T_M и экспериментальные T_{ε} значения температур в одних и тех же временных и пространственных точках. Параметрический анализ позволяет найти самые важные характеристики в модели P (искомые параметры). При решении обратных задач находят P путем минимизации отклонения между экспериментальными T_{ε} и расчетными T_M температурами. По уточненным параметрам модели (найденным решением обратных задач) получают решение, наиболее соответствующее результатам проводимого эксперимента.

Решение обратных задач имеет значение для идентификации параметров, используемых при исследовании моделей, как важный этап обеспечения адекватности этих моделей (если есть какая-либо экспериментальная информация об исследуемом процессе) [2].

Результаты исследований. Постановка обратной задачи теплообмена (ОЗТ) сводится к следующему: найти такие значения коэффициентов модели, для которых выполняется условие:

$$F = \left\{ \sum_{j=1}^m |T_{jm}(P) - T_{j\varepsilon} - \bar{T} / m \right\}^{0,5} \approx \delta, \quad (1)$$

где T_{jm} та $T_{j\varepsilon}$ – экспериментальные и модельные (полученные при решении обратных задач) значения потенциала в j -той точке пространственно-временной области решения задачи; m – общее количество этих точек; δ – среднеквадратичная погрешность экспериментальных данных; P – вектор искомых параметров.

Для оценки (идентификации) параметров в общем случае нелинейных математических моделей (в том числе моделей процессов тепломассообмена) выбран итерационный метод Ньютона-Гаусса.

Для поиска вектора искомых параметров P используется итерационная процедура, основанная на методе Ньютон-Гаусса

$$P^{l+1} = P^l + \Delta P^l, \quad l = 0, 1, \dots, n, \quad (2)$$

где приращение ΔP^l определяется решением системы линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} Z_{1,1}^l \Delta P_1^l + \dots + Z_{1,i}^l \Delta P_i^l + \dots + Z_{1,n}^l \Delta P_n^l = T_{1M}^l - T_{1\varepsilon} \\ \dots \\ Z_{j,1}^l \Delta P_1^l + \dots + Z_{j,i}^l \Delta P_i^l + \dots + Z_{j,n}^l \Delta P_n^l = T_{jM}^l - T_{j\varepsilon} \\ \dots \\ Z_{m,j}^l \Delta P_1^l + \dots + Z_{m,i}^l \Delta P_i^l + \dots + Z_{m,n}^l \Delta P_n^l = T_{mM}^l - T_{m\varepsilon} \end{cases}, \quad (3)$$

где $Z_{j,i}^l$ – функция степени изменения потенциала T_{jM}^l в j -той пространственно-временной точке измерения ($j=1, 2, \dots, m$) к изменению j -ого параметра P_i^l ($i=1, 2, \dots, n$).

Значения T_{jM}^l вычисляются решением прямой задачи теплообмена при известных (заданных при $l=0$) параметрах на предыдущей итерации l

в тех же пространственно-временных точках y , в которых измерены соответствующие значения $T_{j\beta}$. Система линейных алгебраических уравнений (3) размерностью $m \times n$ ($m > n$) решается с помощью метода наименьших квадратов:

$$A^T A \Delta P = A^T B, \quad (4)$$

где A – матрица коэффициентов чувствительности $Z'_{j,i}$; B – вектор правой части; A^T – матрица, транспонированная к матрице A .

Итерационный процесс (2) – (4) приводит к минимизации квадратичного критерия качества решения обратной задачи (1).

Итерационные методы заключается в определении собственных значений и собственных векторов матрицы [1].

Анализ матрицы $A^T A$ показывает, что она не всегда хорошо обусловлена. В плохой обусловленности матрицы $A^T A$ и проявляется физическая и математическая некорректность обратных задач, поэтому обращение матрицы $A^T A$ (решение уравнения (3) может привести к неустойчивым решениям этой обратной задачи).

С целью борьбы с неустойчивостью решения обратных задач теплообмена предлагается использовать комплекс регуляризирующих процедур, совместное использование которых позволяет получать устойчивые решения:

- учет ограничений сверху и снизу на искомое решение (искомые параметры) обратных задач;
- итерационная регуляризация – остановка итерационного процесса;
- классическая регуляризация по А.Н. Тихоновой, согласно которой вместо уравнений (3) решается задача:

$$(A^T A + \alpha E) \Delta P = A^T B, \quad (5)$$

где E – единица матрицы; α – параметр регуляризации.

В данном случае речь идет об использовании формы отбора допустимых решений при построении устойчивых к исходной информации приближенных решений некоторых задач [3].

Методика проведения вычислительного эксперимента и идентификации параметров модели следующая:

- решаем прямую задачу. В качестве входного параметра используем вектор P искомых параметров. В результате получаем значения температур $T_{jm}(P)$;

- из полученных температур $T_{jm}(P)$ составляем выборку из точек наиболее характерных точкам экспериментальных исследований. В результате получаем точки, которые используются в качестве уже экспериментальных данных $T_{j\beta}$ ("точные экспериментальные данные");

- проводим решение ОЗТ с поиском от 1 до n параметров модели согласно методу последовательной идентификации. При этом в качестве начального приближения выбирается вектор искомых параметров P^0 , который отличается от P ;

- моделируем ошибки эксперимента. В результате получаем значения $T_{jэ}$ как "возмущенные экспериментальные данные";
- проводим поиск тех же параметров P , что и в п. 3, но уже на "возмущенных экспериментальных данных".

Под моделированием ошибок эксперимента подразумевается внесение искусственных возмущений в "точные экспериментальные данные", которое проводится по формуле (5):

$$T_{jэ} = T_{jм}^T (1 + \varepsilon \rho_j), \quad (6)$$

где ε – коэффициент линейной зависимости плотности от температуры;
 ρ – плотность, кг/м³.

Таким образом, расчетно-экспериментальный подход – это способ анализа, оптимизации и прогнозирования исследуемых процессов тепло-массообмена на основе компьютерной (расчетной) модели, адекватность которой обеспечивается путем параметрической или структурной идентификации с помощью экспериментальной информации об исследуемом процессе и решении обратных задач. Параметрическая идентификация – это определение величин некоторых параметров модели, которые минимизируют разницу экспериментальных и расчетных значений температур, а структурная идентификация – определение неизвестных составляющих модели, также приводящее к минимизации отклонения расчетных и экспериментальных значений температур.

Выводы

Исследования тепломассообменных процессов на основе моделирования теоретических и экспериментальных методов анализа позволяет получить наиболее точные решения и указать пути уменьшения тепловых потерь.

Список литературы

1. Канторович Л.В. Функциональный анализ /Л.В. Канторович, Г.П. Акимов. – [2-е изд.]. – М.: Наука, 1977.
2. Круковский П.Г. Обратные задачи тепломассопереноса (общий инженерный подход) / П.Г. Круковский. – К.: Ин-т технической теплофизики НАН Украины, 1998. – 224 с.
3. Тихонов А.Н. Доклады АН СССР/ А.Н. Тихонов. – М., 1963. – Т.151, №3. – С. 501– 504.

Наведено розрахунково-експериментальний метод моделювання тепломасообмінних процесів, характерних для будівельної теплофізики. При вирішенні зворотної задачі отримано рішення, найбільш відповідні до результатів проведеного експерименту.

Параметричний аналіз, ідентифікація параметрів, рішення зворотних задач, ітераційний процес, обчислювальний експеримент, матриця, просторово-часова область.

The calculated and experimental method for modeling heat and mass transfer processes typical for the construction of Thermophysics. Solution of the inverse problem solution to get the most relevant results to the experiment.

Parametric analysis, parameter identification, the solution of inverse problems, iterative process, a computational experiment, matrix, space-time region.

УДК 621.3: 631.53.027.33

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТРОКУ ВІДЛЕЖУВАННЯ
НАСІННЯ КРУП'ЯНИХ КУЛЬТУР, ОБРОБЛЕНОГО В СИЛЬНОМУ ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ, НА ЙОГО ПОСІВНІ ЯКОСТІ**

О.М. Берека, доктор технічних наук

С.М. Усенко, кандидат технічних наук

С.А. Шворов, доктор технічних наук

***Національний університет біоресурсів
і природокористування України***

М.М. Сучек, кандидат сільськогосподарських наук

Хмельницька ДСГДС ІКСГП НААН України

Наведено результати досліджень впливу електричного поля високої напруженості постійного струму на посівні якості круп'яних культур. Встановлено ефективність дії електричного поля високої напруженості на енергію проростання і схожість насіння залежно від строку відлежування перед посівом.

Електричне поле високої напруженості, круп'яні культури, схожість, енергія проростання.

Передпосівна обробка насінневого матеріалу є одним із найважливіших етапів у процесі вирощування сільськогосподарської продукції. На сучасному етапі розвитку зернової галузі передпосівна обробка передбачає декілька етапів, основними з яких є: протруювання насіння та обробка біологічними стимуляторами росту. В результаті протруювання насіння знищується шкідлива мікрофлора, яка призводить до захворюваності рослин після висіву, але в той же час погіршуються посівні якості. Тому насіння потребує додаткової обробки біологічними стимуляторами росту. Така технологія передбачає використання хімічних та біологічних препаратів, які мають здатність накопичуватись як у ґрунті, так і у продукції рослинництва, що врешті-решт негативно впливає на екологічну ситуацію в природі та організм людини.