обслуживания. Для увеличения производительности системы введен параметр φ, изменяя значение которого, можно влиять на производительность системы. Оценкой производительности системы признано количество заявок находящихся в системе. В результате анализа работы системы прирост ее производительности составил 1,6 %. Данная работа дает возможность в будущем построить математическую модель системы с n параллельными каналами.

Литература

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: государственное издательство физико-математической литературы, 1962. – 564 С.

2. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Задачи и упражнения по теории вероятностей. – М.: Высшая школа. – 2000. – 366 С.

3. 0лзоева С.И. Моделирование и расчет распределенных информационных систем. – Улан-Удэ: издательство ВСГТУ, 2004. – 67 С.

4. Кофман А., Крюон Р. Массовое обслуживание. Теория и приложения. – М.: Мир, 1965. – 302 С.

5. Жожикашвили В.А., Вишневский В.М. Сети массового обслуживания. Теория и применение к сетям ЭВ. – М.: Радио и связь, 1988. – 192 с.: ил.

6. Колесников К.В., Шадхин В.Е., Прокопчук В.П. Разработка математической модели для расчета задержек в локальных вычислительных сетях // Материалы IV международной научно-практической конференции «Перспективные вопросы мировой науки-2008». – Болгария. София, 2008. – Том 21. – С. 9-16.

Надійшла 13.2.2009 р.

УДК 519.832.3

В.В. РОМАНЮК
Хмельницький національний університет

МЕТОД РЕАЛІЗАЦІЇ ОПТИМАЛЬНИХ ЗМІШАНИХ СТРАТЕГІЙ У МАТРИЧНІЙ ГРІ З ПУСТОЮ МНОЖИНОЮ СІДЛОВИХ ТОЧОК У ЧИСТИХ СТРАТЕГІЯХ З НЕВІДОМОЮ КІЛЬКІСТЮ ПАРТІЙ ГРИ

Представлено метод реалізації оптимальних змішаних стратегій у довільній матричній грі з невідомою кількістю партій гри, котрий полягає у розігруванні гравцем рівномірно розподіленої на одиничному напівсегменті випадкової величини та перевірці елементарних співвідношень, що дозволяє коректно обирати чисту стратегію у кожній партії гри. Розроблений метод є програмно дієвим, а швидкодія відповідного програмного модуля у порівнянні із двома альтернативними запрограмованими методами є найвищою.

There has been represented the method of the optimal mixed strategies realization in any matrix game with the unknown number of the game plays, that lies in raffling off the unit half-segment uniformly distributed random variate and verifying the elementary statements, what allows to select a pure strategy correctly in every game play. The elaborated method is programmatically effectual, and the operation speed of the corresponding program module in comparison with the two alternative programmed methods is the highest.

Передмова та формулювання завдання дослідження

Теорія антагоністичних ігор є основою для найпростішого ігрового математичного моделювання, застосування якого є одним з найбільш простих способів дослідження та прогнозування конфліктно-керованих процесів. Для швидкого вирішення практичних задач, пов'язаних з прийняттям оптимальних рішень в умовах конфліктних ситуацій, перш за все використовують їх моделі у вигляді матричних ігор. Відомі методи розв'язування матричної гри з пустою множиною сідлових точок у чистих стратегіях дозволяють знайти її розв'язки у змішаних стратегіях, де довільна пара оптимальних стратегій гравців складає ситуацію рівноваги і задовольняє принципу оптимальності. Проте практична реалізація цього принципу оптимальності, тобто практична реалізація кожним гравцем його змішаних стратегій у реальних процесах, розроблена та досліджена досить поверхнево [1, 2]. Тим не менше, у роботі [1] показано як реалізувати оптимальні змішані стратегії у довільній матричній 2×2 -грі з кінцевим числом партій гри, де за основу взято розігрування гравцями у кожній партії гри двох незалежних рівномірно розподілених на напівсегменті $[0;1)$ випадкових величин та визначення за певними співвідношеннями тих чистих стратегій гравців, які у даній партії гри необхідно обирати. На цій основі у роботі [2] розроблено метод реалізації оптимальних змішаних стратегій у довільній матричній грі з невідомою кількістю партій гри, де кожен гравець розігрує рівномірно розподілені на одиничному напівсегменті випадкові величини, причому імовірності їх розігрування прив'язані до імовірностей обирання чистих стратегій зі спектру оптимальної змішаної стратегії цього гравця. Нагадаємо цей метод більш детально. Для довільної матричної $M\times N$ -гри, де $M \in \mathbb{N} \setminus \{1\}$ та $N \in \mathbb{N} \setminus \{1\}$, з пустою множиною сідлових точок у чистих стратегіях, де перший гравець володіє множиною $X = \{x_i\}_{i=1}^{M}$ чистих стратегій, а другий – множиною $Y = \{y_j\}_{j=1}^{N}$ чистих стратегій, визначаються спектри оптимальних стратегій першого

$$\operatorname{supp}\widehat{\mathbf{X}} = \{x_i \in X : \widehat{p}_i > 0\} = \{x_{i_k}\}_{k=1}^{K} \tag{1}$$

та другого

$$\operatorname{supp}\breve{\mathbf{Y}} = \{y_j \in Y : \breve{q}_j > 0\} = \{y_{j_l}\}_{l=1}^{L} \tag{2}$$

гравців відповідно, де вектор

$$\widehat{\mathbf{X}} = \begin{bmatrix} \widehat{p}_1 & \widehat{p}_2 & \dots & \widehat{p}_{M-1} & \widehat{p}_M \end{bmatrix} \tag{3}$$

є оптимальною змішаною стратегією першого гравця, а вектор

$$\breve{\mathbf{Y}} = \begin{bmatrix} \breve{q}_1 & \breve{q}_2 & \dots & \breve{q}_{N-1} & \breve{q}_N \end{bmatrix} \tag{4}$$

є оптимальною змішаною стратегією другого гравця. Ці вектори, звісно, задовольняють очевидним вимогам:

$$\widehat{\mathbf{X}} \in \mathbb{R}^M,\ \widehat{p}_i \in [0;\,1]\ \forall\ i = \overline{1,\,M},\ \sum_{i=1}^{M} \widehat{p}_i = 1\,, \tag{5}$$

$$\breve{\mathbf{Y}} \in \mathbb{R}^N,\ \breve{q}_j \in [0;\,1]\ \forall\ j = \overline{1,\,N},\ \sum_{j=1}^{N} \breve{q}_j = 1\,. \tag{6}$$

Далі за спектром (1) оптимальної стратегії (3) першого гравця формується вектор відповідних імовірностей

$$\widehat{\mathbf{X}}_0 = \begin{bmatrix} \widehat{p}_{i_1} & \widehat{p}_{i_2} & \dots & \widehat{p}_{i_{K-1}} & \widehat{p}_{i_K} \end{bmatrix}, \tag{7}$$

де $K \leqslant M$, $i_k < i_{k+1}\ \ \forall\ k = \overline{1,\,K-1}$ та $i_k \in \{i\}_{i=1}^{M}\ \ \forall\ k = \overline{1,\,K}$. Аналогічно за спектром (2) оптимальної стратегії (4) другого гравця формується вектор відповідних імовірностей

$$\breve{\mathbf{Y}}_0 = \begin{bmatrix} \breve{q}_{j_1} & \breve{q}_{j_2} & \dots & \breve{q}_{j_{L-1}} & \breve{q}_{j_L} \end{bmatrix}, \tag{8}$$

де $L \leqslant N$, $j_l < j_{l+1}\ \ \forall\ l = \overline{1,\,L-1}$ та $j_l \in \{j\}_{j=1}^{N}\ \ \forall\ l = \overline{1,\,L}$. При невідомій наперед кількості партій матричної $M \times N$-гри з пустою множиною сідлових точок у чистих стратегіях, де гравці мають спектри (1) та (2) своїх оптимальних змішаних стратегій, перший гравець має розігрувати $K-1$ рівномірно розподілену на напівсегменті $[0;\,1)$ випадкову величину $\{\Theta_k\}_{k=1}^{K-1}$ зі значеннями $\{\theta_k\}_{k=1}^{K-1}$, а другий гравець – розігруватиме $L-1$ рівномірно розподілену на напівсегменті $[0;\,1)$ випадкову величину $\{\Xi_l\}_{l=1}^{L-1}$ зі значеннями $\{\xi_l\}_{l=1}^{L-1}$. Ясно, що у кожній парі $\left\{\{\Theta_k,\,\Xi_l\}_{k=1}^{K-1}\right\}_{l=1}^{L-1}$ ці випадкові величини мають бути незалежними. Перший гравець розігрує випадкову величину Θ_k завжди перед випадковою величиною $\Theta_{k+1}\ \ \forall\ k = \overline{1,\,K-2}$, причому якщо значення

$$\theta_u < \widehat{p}_{i_u} \frac{1}{1 - \sum\limits_{k=1}^{u-1} \widehat{p}_{i_k}} \tag{9}$$

випадкової величини Θ_u, то перший гравець обирає чисту стратегію $x_{i_u}\ \ \forall\ u = \overline{1,\,K-1}$; інакше, якщо

$$\theta_u \geqslant \widehat{p}_{i_u} \frac{1}{1 - \sum\limits_{k=1}^{u-1} \widehat{p}_{i_k}}\,, \tag{10}$$

то перший гравець має розігрувати випадкову величину $\Theta_{u+1}\ \ \forall\ u = \overline{1,\,K-2}$ та має обирати чисту стратегію x_{i_K} при $u = K-1$. Другий гравець розігрує випадкову величину Ξ_l завжди перед випадковою величиною $\Xi_{l+1}\ \ \forall\ l = \overline{1,\,L-2}$, причому якщо значення

$$\xi_v < \breve{q}_{j_v} \frac{1}{1 - \sum\limits_{l=1}^{v-1} \breve{q}_{j_l}} \tag{11}$$

випадкової величини Ξ_v, то другий гравець обирає чисту стратегію $y_{j_v}\ \ \forall\ v = \overline{1,\,L-1}$; інакше, якщо

$$\xi_v \geqslant \breve{q}_{j_v} \frac{1}{1 - \sum_{l=1}^{v-1} \breve{q}_{j_l}}, \tag{12}$$

то другий гравець має розігрувати випадкову величину Ξ_{v+1} $\forall\, v = \overline{1, L-2}$ та має обирати чисту стратегію y_{j_L} при $v = L-1$. При цьому кожен з гравців обирає чисті стратегії зі спектрів (1) і (2) з відповідними імовірностями (7) і (8), реалізуючи таким способом оптимальні змішані стратегії (3) і (4).

Очевидно, що описаний метод реалізації оптимальних змішаних стратегій має значний недолік, оскільки для обирання вищих за порядковими номерами чистих стратегій може знадобитися більше розігрувань випадкових величин, ніж для обирання нижчих за порядковими номерами чистих стратегій. І взагалі, в іграх з великим числом чистих стратегій в одного з гравців необхідно розігрувати велику кількість попарно незалежних випадкових величин. Виходячи з цього, завданням дослідження у теперішній роботі є побудова ще одного методу реалізації оптимальних змішаних стратегій, який би дозволив спростити процес обирання гравцем його чистої стратегії.

Основна частина дослідження

Спочатку відмітимо, що у викладеному методі реалізації оптимальних змішаних стратегій можна і не знаходити окремо спектри (1) і (2) та відповідні їм вектори імовірностей (7) і (8). Для невеликих за розміром матриці ігор це не вплине на швидкодію значним чином. Тепер покладатимемо, що при невідомій наперед кількості партій матричної $M \times N$-гри з пустою множиною сідлових точок у чистих стратегіях, де гравці мають спектри (1) та (2) своїх оптимальних змішаних стратегій, перший гравець має розігрувати лише одну рівномірно розподілену на напівсегменті $[0; 1)$ випадкову величину Θ зі значенням θ, а другий гравець також розігруватиме тільки одну рівномірно розподілену на напівсегменті $[0; 1)$ випадкову величину Ξ зі значенням ξ. Ясно, що випадкові величини Θ і Ξ мають бути незалежними.

Очевидно, що якщо значення

$$\theta < \widehat{p}_{i_1} \tag{13}$$

випадкової величини Θ, то перший гравець обирає чисту стратегію x_{i_1} зі спектру (1). При

$$\theta \geqslant \widehat{p}_{i_1} \tag{14}$$

далі перевіряється умова

$$\theta < \widehat{p}_{i_1} + \widehat{p}_{i_2} \tag{15}$$

входження значення θ у напівсегмент $\left[\widehat{p}_{i_1}; \widehat{p}_{i_1} + \widehat{p}_{i_2}\right)$. Якщо після (14) нерівність (15) є справедливою, то перший гравець обирає чисту стратегію x_{i_2}. Якщо ж виконується

$$\theta \geqslant \widehat{p}_{i_1} + \widehat{p}_{i_2}, \tag{16}$$

то при

$$\theta < \widehat{p}_{i_1} + \widehat{p}_{i_2} + \widehat{p}_{i_3} \tag{17}$$

перший гравець обирає чисту стратегію x_{i_3}. Процес такого пошуку може тривати до тих пір, поки не залишиться дві чисті стратегії $x_{i_{K-1}}$ та x_{i_K}, серед яких першому гравцю необхідно вибрати одну. І тоді, якщо

$$\theta < \sum_{k=1}^{K-1} \widehat{p}_{i_k}, \tag{18}$$

то перший гравець обирає чисту стратегію $x_{i_{K-1}}$. Інакше, при виконанні

$$\theta \geqslant \sum_{k=1}^{K-1} \widehat{p}_{i_k} \tag{19}$$

перший гравець обирає чисту стратегію x_{i_K}. Отже, при виконанні нерівностей

$$\theta \geqslant \sum_{k=1}^{u-1} \widehat{p}_{i_k} \tag{20}$$

та

$$\theta < \sum_{k=1}^{u} \widehat{p}_{i_k} \tag{21}$$

для $u \in \left\{\overline{1, K}\right\}$ перший гравець обирає чисту стратегію x_{i_u}.

Аналогічно повинен діяти і другий гравець. Якщо

$$\xi \geqslant \sum_{l=1}^{v-1} \breve{q}_{j_l} \tag{22}$$

та

$$\xi < \sum_{l=1}^{v} \breve{q}_{j_l} \tag{23}$$

для $v \in \left\{\overline{1, L}\right\}$, то другий гравець має обирати чисту стратегію y_{j_v}.

Метод, розроблений у роботі [2], де перевіряються нерівності (9) і (10) або (11) і (12), досить легко запрограмувати у програмному середовищі MATLAB. На рис. 1 показано реалізований у середовищі MATLAB 7.0.1 модуль opr1p0, котрий за цим методом повертає номер чистої стратегії, яку у даній партії гри гравцю потрібно обирати. Метод реалізації оптимальних змішаних стратегій, що полягає у перевірці (20) і (21) або (22) і (23), реалізований у середовищі MATLAB 7.0.1 у вигляді модуля opr1p1, вікно якого зображено на рис. 2. Власне кажучи, для першого гравця цей метод полягає у перевірці того, чи

$$\theta \in \left[\sum_{k=1}^{u-1} \widehat{p}_{i_k}; \sum_{k=1}^{u} \widehat{p}_{i_k}\right) \tag{24}$$

для $u \in \left\{\overline{1, K}\right\}$. Якщо має місце (24), то перший гравець обирає чисту стратегію x_{i_u}. Аналогічно цьому, якщо має місце

$$\xi \in \left[\sum_{l=1}^{v-1} \breve{q}_{j_l}; \sum_{l=1}^{v} \breve{q}_{j_l}\right) \tag{25}$$

для $v \in \left\{\overline{1, L}\right\}$, то другий гравець має обирати чисту стратегію y_{j_v}. Перевірка умов (24) або (25), що є компактно записаними (20) і (21) або (22) і (23) відповідно, запрограмована у середовищі MATLAB 7.0.1 у вигляді модуля opr1p2, вікно якого зображено на рис. 3. Тестування на швидкодію виявило, що найбільш зручним є модуль opr1p1, за яким гравець перевіряє належність (24) або (25), але при цьому виконуючи перевірки (20) і (21) або (22) і (23) відповідно. Так при обиранні чистих стратегій з чотирьохелементного вектора імовірностей (7) або (8) за 100000 партій гри виконання модулів opr1p0, opr1p1 та opr1p2 потребувало інтервали часу, відповідні довжини яких зображено на рис. 4, де серія зі 100000 партій гри повторювалась п'ять разів. Як бачимо, перевірка належності (24) або (25) у програмному виді значно поступається за швидкістю перевірці (20) і (21) або (22) і (23) відповідно. А остання, у свою чергу, відбувається швидше за реалізацію розробленого у роботі [2] методу.

```
E:\MATLAB7p0p1\work\opr1p0.m
function [Pure_Strategy_Number] = opr1p0(Spectrum_Probabilities_or_Optimal_Mixed_Strategy, Pure_Strategy_Number_display)
if nargin==1
   Pure_Strategy_Number_display=0;
end
k=1;
theta(1)=rand;
while theta(k)>=Spectrum_Probabilities_or_Optimal_Mixed_Strategy(k)/(1-sum(Spectrum_Probabilities_or_Optimal_Mixed_Strategy(1:k-1)))
      k=k+1;
      theta(k)=rand;
end
Pure_Strategy_Number=k;
if Pure_Strategy_Number_display==1
   disp(['Number of the Pure Strategy to be selected: ' num2str(Pure_Strategy_Number)])
end
```

Рис. 1. Програмний модуль opr1p0 у середовищі MATLAB 7.0.1

```
E:\MATLAB7p0p1\work\opr1p1.m
function [Pure_Strategy_Number] = opr1p1(Spectrum_Probabilities_or_Optimal_Mixed_Strategy, ...
                                         Pure_Strategy_Number_display)
if nargin==1
   Pure_Strategy_Number_display=0;
end
k=1;
theta=rand;
while theta>=sum(Spectrum_Probabilities_or_Optimal_Mixed_Strategy(1:k))
      k=k+1;
end
Pure_Strategy_Number=k;
if Pure_Strategy_Number_display==1
   disp(['Number of the Pure Strategy to be selected: ' num2str(Pure_Strategy_Number)])
end
```

Рис. 2. Програмний модуль opr1p1 у середовищі MATLAB 7.0.1

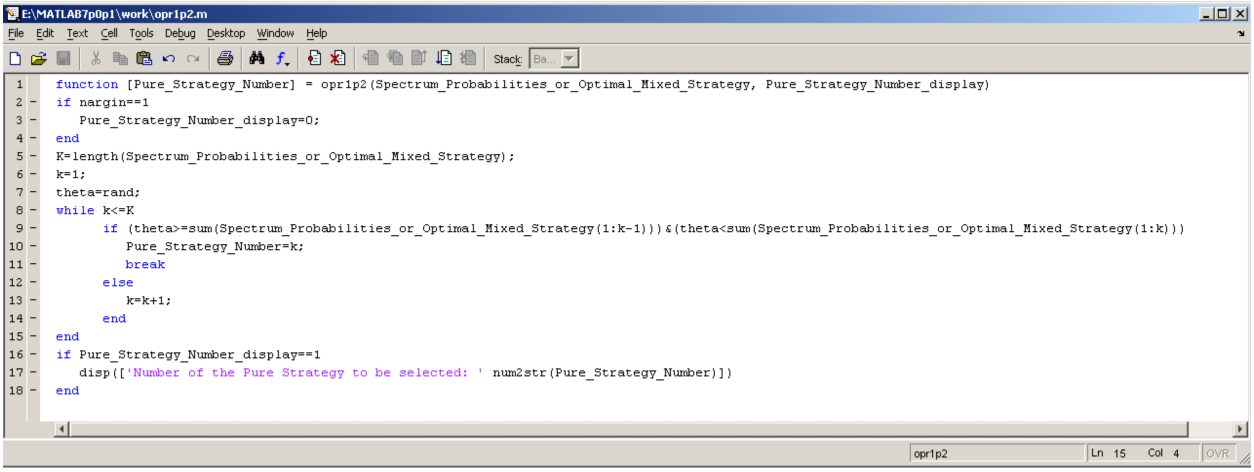

Рис. 3. Програмний модуль opr1p2 у середовищі MATLAB 7.0.1

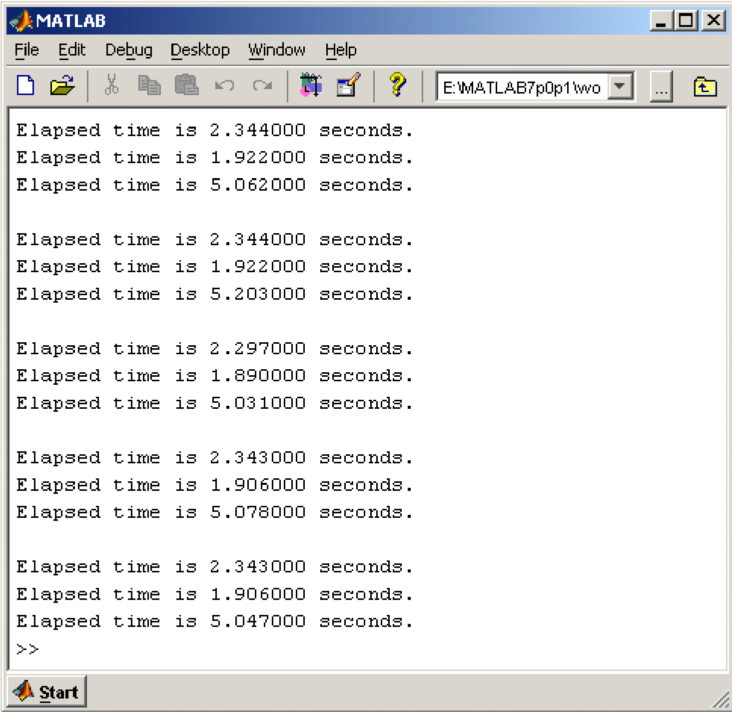

Рис. 4. Тривалості виконання модулів opr1p0, opr1p1 та opr1p2 у серії зі 100000 партій гри при обиранні чистих стратегій з чотирьохелементного вектора імовірностей (7) або (8)

Висновок та перспектива подальшого дослідження

У матричній $M \times N$-грі з пустою множиною сідлових точок у чистих стратегіях кожен гравець, розігруючи рівномірно розподілену на напівсегменті $[0; 1)$ випадкову величину, обирає відповідні чисті стратегії за допомогою перевірки належностей (24) або (25). Проте у програмному виді така перевірка має здійснюватися шляхом виконання перевірок нерівностей (20) і (21) або (22) і (23) відповідно. При невідомій наперед кількості партій гри цей процес і є розробленим методом реалізації оптимальних змішаних стратегій у матричній грі з пустою множиною сідлових точок у чистих стратегіях, який порівняно із двома іншими запропонованими методами є більш швидким у плані програмного виконання. Але очевидно, що розроблений метод реалізації принципу оптимальності можна застосовувати тільки при невідомій наперед кількості партій гри, тобто там, де невідомо, коли гра зупиниться. Питання про те, як діяти гравцям у реалізації їх оптимальних змішаних стратегій з відомим наперед числом партій гри, перевіркою належностей (24) або (25) вирішується лише частково. Це пов’язано з тим, що розігрування відповідних випадкових величин Θ та Ξ забезпечує реалізацію лише векторів імовірностей (7) і (8), а ймовірність у даному сенсі математично і практично реалізується при нескінченній кількості випробувань, тобто при нескінченній кількості партій гри. При заздалегідь відомій кількості партій гри гравець намагатиметься розробити власну тактику перебору чистих стратегій [3] для забезпечення свого якомога більшого середнього виграшу. Тому одним із напрямків подальшого дослідження, що пов’язане з представленою роботою, є розробка методу реалізації оптимальних змішаних стратегій для довільної матричної $M \times N$-гри з фіксованим і наперед відомим числом партій гри. Також необхідно адаптувати розроблений метод реалізації оптимальних змішаних стратегій у матричній грі з пустою множиною сідлових точок у чистих стратегіях для ігор, де гравець володіє незліченою множиною чистих стратегій, що входять у спектр його оптимальної змішаної стратегії.

Література

1. Романюк В. В. Моделювання реалізації оптимальних змішаних стратегій в антагоністичній грі з двома чистими стратегіями в кожного з гравців // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2007. – № 3. – С. 74 – 77.

2. Романюк В. В. Метод реалізації принципу оптимальності у матричних іграх без сідлової точки // Вісник НТУ “ХПІ”. Тематичний випуск: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2008. – № 49. – С. 146 – 154.

3. Романюк В. В. Тактика перебору чистих стратегій як теоретичне підґрунтя для дослідження ефективності різних способів реалізації оптимальних змішаних стратегій // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2008. – № 3. – С. 61–68.

Надійшла 19.2.2009 р.

УДК 536.24: 631.371

Н.В. РЕЗИДЕНТ
Вінницький національний технічний університет

ЗАСТОСУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РОЗРАХУНКОВОГО МЕТОДУ ПРИ РОЗРОБЦІ ТЕПЛООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ БІОКОНВЕРСІЇ

Проведено подальше обґрунтування, застосування експериментально-розрахункового методу визначення коефіцієнтів тепловіддачі в конструктивному розрахунку і чисельному експерименті утилізатора теплоти відпрацьованої суміші в системі біогазової установки.

The further grounding has been carried out concerning experimental-calculation method of coefficient heatexchange evaluation in project calculation and figure experiment of heat utilization and worked out mixture in biogas installation system.

Постановка задачі

Використання відходів виробництва, перш за все біомаси, для вироблення тепла і електроенергії є однією із важливих задач енергозбереження. При цьому не тільки економляться первинні енергоносії, але в більшості випадків вдається знизити шкідливі викиди в атмосферу.

Швидкість метаногенерації є основним показником досконалості технології отримання біогазу, і її підвищення – одна із основних задач наукових досліджень і розробок [1]. В існуючих конструкціях біогазових установок підтримання відповідних температурних режимів супроводжується значною витратою енергії на власні потреби. Теплота, яка міститься в суміші, що вивантажується з реактора – це додатковий резерв енергії, яку потрібно використовувати для компенсації витрат теплоти через поверхню реактора та підігрівання вхідної сировини. В схемі з утилізацією теплоти можливо збільшити вихід товарного біогазу до 70…80 % від того, що виробляється [2]. Для підігрівання та утилізації теплоти відпрацьованої суміші в схемі біогазової установки доцільно застосовувати теплообмінники, поверхня яких буде дещо заноситись осадом. Тому теплообмінні апарати з оребреною поверхнею та малими прохідними діаметрами для суміші не можуть використовуватися в біогазових установках (БГУ). Проектування теплообмінних пристроїв для підсистем термостабілізації ускладнюється тим, що можуть виникати різні режими теплообміну залежно від: усередненої по об’єму масової концентрації сухих речовин $\overline{C}$; температурного режиму зброджування; температурного напору Δt, а теплофізичні властивості сумішей, які використовуються в системах біоконверсії, як правило, невизначені в практично цікавому діапазоні. Тому, нами запропоновано нетрадиційний підхід до виявлення закономірностей теплообміну в цих умовах [3-5].

Мета роботи – обґрунтування, застосування експериментально- розрахункового методу в конструктивному розрахунку і чисельному експерименті утилізатора теплоти відпрацьованої суміші в системі БГУ.

Для прикладу розглядаємо схему БГУ з активним об’ємом реактора $V_р$ = 20 м^3 та з підвищеною часткою виходу товарного біогазу за рахунок утилізації теплоти відпрацьованого субстрату. Теплоутилізатор висотою Н (рис. 1) виконаний таким чином, що утворені робочі порожнини: внутрішня циліндрична з об’ємом V та зовнішня у вигляді кільцевого зазору. На внутрішній теплообмінній поверхні циліндричної форми розміщені по колу виступи, які обмежують розвиток теплового і гідродинамічного граничного шару.

Внутрішній об’єм теплообмінника $V_{ту}$ визначається взалежності від об’єму реактора $V_{ту} = \psi \cdot V_р$, де ψ залежить від технологічного регламенту завантаження-вивантаження БГУ.

Теплообмінник працює у напівпроточному режимі. Тепла (гаряча) суміш з реактора при вивантаженні надходить у ємність 1, заповнює її і знаходиться в ній до наступного вивантаження-завантаження реактора $\tau_{в\text{-}з}$. За цей час суміш охолоджується проточною водою від температури в реакторі $t_с'$ до деякої заданої кінцевої температури $t_с''$. Тобто теплота суміші передається воді і вводиться в теплову