ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

[illegible] 66.015.4:541.121.001

[illegible]

[illegible]

[illegible], 119571 [illegible]

e-mail: nazanski@yandex.ru

[illegible]

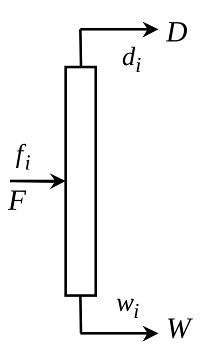
[illegible]

$$s = l - m \qquad (1)$$

[illegible]

$$p = l - s = m . \qquad (2)$$

[illegible]



[illegible] 1. [illegible]

[illegible]

Ìåòîäè îïòèìiçàöiéíîãî ïðîåêòóâàííÿ ïðèñòðîþ äiþ (òåîðåìè iñíóâàííÿ òà îïèñ àëãîðèòìiâ)

Ïiä òåðìiíîì ïðèñòðié äiþ ðîçóìiþòü, íàïðèêëàä, ïðèñòðié äiþ íà îñíîâi ïîâåðõíåâèõ õâèëü [1–3], ïðèñòðié äiþ íà îñíîâi îá'ºìíèõ õâèëü [4–6], ïðèñòðié äiþ íà îñíîâi ïîâåðõíåâèõ òà îá'ºìíèõ õâèëü [7–9] òîùî. Ïiä ïðîåêòóâàííÿì ïðèñòðîþ äiþ ðîçóìiþòü âèçíà÷åííÿ éîãî îïòèìàëüíèõ ïàðàìåòðiâ, ùî çàáåçïå÷óþòü íàéêðàùi çíà÷åííÿ äåÿêèõ ïîêàçíèêiâ åôåêòèâíîñòi ïðèñòðîþ äiþ.

Ïîñòàíîâêà çàäà÷i îïòèìiçàöiéíîãî ïðîåêòóâàííÿ ïðèñòðîþ äiþ (îïèñ îá'ºêòà, ïîêàçíèêiâ åôåêòèâíîñòi, ìíîæèíè äîïóñòèìèõ ïàðàìåòðiâ òà îáìåæåíü)

Ïiä îá'ºêòîì äiþ ðîçóìiþòü ñóêóïíiñòü ôiçè÷íèõ ïðîöåñiâ, ùî âiäáóâàþòüñÿ ïiä äiºþ ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê. Ïiä ïîòîêîì çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê ðîçóìiþòü ñóêóïíiñòü çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê, ùî ðóõàþòüñÿ ïðèáëèçíî îäíàêîâî. Ïiä ïîâåðõíåâèìè õâèëÿìè ðîçóìiþòü õâèëi, ùî ïîøèðþþòüñÿ íà ïîâåðõíi ðiäèíè. Ïiä îá'ºìíèìè õâèëÿìè ðîçóìiþòü õâèëi, ùî ïîøèðþþòüñÿ â îá'ºìi ðiäèíè. Ïiä ïîâåðõíåâèìè õâèëÿìè ðîçóìiþòü õâèëi, ùî ïîøèðþþòüñÿ íà ïîâåðõíi ðiäèíè òà â îá'ºìi ðiäèíè.

Ïiä ïðèñòðîþ äiþ ðîçóìiþòü ñóêóïíiñòü ôiçè÷íèõ îá'ºêòiâ, ùî ñêëàäàþòüñÿ ç íàñòóïíèõ îñíîâíèõ åëåìåíòiâ: äæåðåëà ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê, ïðèñêîðþâà÷à ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê, ïîâiëüíîãî ïðîñòîðó, ùî ðîçäiëÿº äæåðåëî ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê òà ïðèñêîðþâà÷ ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê, òà ïðèéìà÷à ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê. Ïiä äæåðåëîì ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê ðîçóìiþòü ïðèñòðié, ùî ñòâîðþº ïîòîê çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê, ÿêèé ïîòðàïëÿº â ïðèñêîðþâà÷ ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê. Ïiä ïðèñêîðþâà÷åì ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê ðîçóìiþòü ïðèñòðié, ùî ïðiñêîðþº ïîòîê çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê, ÿêèé ïîòðàïëÿº â ïðèéìà÷ ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê. Ïiä ïðèéìà÷åì ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê ðîçóìiþòü ïðèñòðié, ùî ïîãëèíàº ïîòiê çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê, ÿêèé ïîòðàïëÿº â íüîãî. Ïiä ïîâiëüíèì ïðîñòîðîì ðîçóìiþòü ïðîñòîð, ùî ðîçäiëÿº äæåðåëî ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê òà ïðèéìà÷ ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê.

Ïiä ïîêàçíèêàìè åôåêòèâíîñòi ïðèñòðîþ äiþ ðîçóìiþòü ôiçè÷íi âåëè÷èíè, ùî õàðàêòåðèçóþòü ïðîöåñè, ùî âiäáóâàþòüñÿ ïiä äiºþ ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê, òà äîçâîëÿþòü îöiíþâàòè ðiâåíü äîñêîíàëîñòi ïðèñòðîþ äiþ ç òî÷êè çîðó ðiçíèõ êðèòåðiżâ. Íàïðèêëàä, ïîêàçíèêàìè åôåêòèâíîñòi ïðèñòðîþ äiþ ìîæóòü áóòè ñåðåäíÿ ïèòîìà òÿãà, ñåðåäíÿ ïèòîìà ïîòóæíiñòü, ñåðåäíº çíà÷åííÿ êóòîâîãî ðîçêèäó ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê, ñåðåäíº çíà÷åííÿ ïîòóæíîñòi, ùî âèòðà÷àºòüñÿ íà ôîðìóâàííÿ ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê, òîùî.

Ïiä îïòèìiçàöiéíèì ïðîåêòóâàííÿì ïðèñòðîþ äiþ ðîçóìiþòü çíàõîäæåííÿ òàêèõ çíà÷åíü ïàðàìåòðiâ, ùî îïèñóþòü ïðèñòðié äiþ, ïðè ÿêèõ ïîêàçíèêè åôåêòèâíîñòi ïðèñòðîþ äiþ íàáóâàþòü íàéêðàùèõ çíà÷åíü (íàéìåíøèõ àáî íàéáiëüøèõ, çàëåæíî âiä òîãî, ùî ñàìå âèìàãàºòüñÿ âiä êîíêðåòíîãî ïîêàçíèêà åôåêòèâíîñòi) ñåðåä óñiõ äîïóñòèìèõ íàáîðiâ çíà÷åíü ïàðàìåòðiâ.

Ìàòåìàòè÷íà ìîäåëü îïòèìiçàöiéíîãî ïðîåêòóâàííÿ ïðèñòðîþ äiþ (ìàòåìàòè÷íèé îïèñ îá'ºêòà, ïîêàçíèêiâ åôåêòèâíîñòi, ìíîæèíè äîïóñòèìèõ ïàðàìåòðiâ òà îáìåæåíü)

Ïiä ÷àñîâîþ çàëåæíiñòþ ïîòóæíîñòi, ùî âèòðà÷àºòüñÿ íà ôîðìóâàííÿ ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê, ðîçóìiþòü ôóíêöiþ $W(t)$, ùî äîðiâíþº ïîòóæíîñòi, ùî âèòðà÷àºòüñÿ íà ôîðìóâàííÿ ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê â ìîìåíò ÷àñó t. Ïiä ñåðåäíüîþ ïîòóæíiñòþ, ùî âèòðà÷àºòüñÿ íà ôîðìóâàííÿ ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê, ðîçóìiþòü âåëè÷èíó

$$W_{\text{ñåð}} = \frac{1}{T}\int_0^T W(t)\,dt,$$

äå T – äîñòàòíüî âåëèêèé ïðîìiæîê ÷àñó, ùî ïîâíiñòþ îõîïëþº ïðîöåñ ôóíêöiîíóâàííÿ ïðèñòðîþ äiþ.

Ïiä ïîâíèì ÷àñîì ôóíêöiîíóâàííÿ ïðèñòðîþ äiþ ðîçóìiþòü ïðîìiæîê ÷àñó, ùî äîðiâíþº ñóìi ÷àñó ðîçãîíó ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê, ÷àñó ñòàáiëiçàöiż ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê òà ÷àñó ðîáîòè ïðèñòðîþ äiþ. Ïiä ÷àñîì ðîçãîíó ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê ðîçóìiþòü ïðîìiæîê ÷àñó, ùî âiäðàõîâóºòüñÿ âiä ìîìåíòó óâiìêíåííÿ äæåðåëà ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê äî ìîìåíòó, êîëè ïîòiê çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê âïåðøå äîñÿãíå çíà÷åííÿ, ùî äîðiâíþº 95 % âiä ñòàáiëüíîãî çíà÷åííÿ. Ïiä ÷àñîì ñòàáiëiçàöiż ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê ðîçóìiþòü ïðîìiæîê ÷àñó, ùî âiäðàõîâóºòüñÿ âiä ìîìåíòó óâiìêíåííÿ äæåðåëà ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê äî ìîìåíòó, êîëè ïîòiê çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê âïåðøå äîñÿãíå ñòàáiëüíîãî çíà÷åííÿ. Ïiä ÷àñîì ðîáîòè ïðèñòðîþ äiþ ðîçóìiþòü ïðîìiæîê ÷àñó, ùî âiäðàõîâóºòüñÿ âiä ìîìåíòó óâiìêíåííÿ äæåðåëà ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê äî ìîìåíòó, êîëè ïîòiê çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê âïåðøå ïîâíiñòþ çíèêíå.

Ïiä ïîâíèì ÷àñîì ôóíêöiîíóâàííÿ ïðèñòðîþ äiþ ðîçóìiþòü ïðîìiæîê ÷àñó, ùî äîðiâíþº ñóìi ÷àñó ðîçãîíó ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê, ÷àñó ñòàáiëiçàöiż ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê òà ÷àñó ðîáîòè ïðèñòðîþ äiþ. Ïiä ñåðåäíüîþ ïîòóæíiñòþ, ùî âèòðà÷àºòüñÿ íà ôîðìóâàííÿ ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê, ðîçóìiþòü âåëè÷èíó

$$W_{\text{ñåð}} = \frac{1}{T_{\text{ïîâí}}}\int_0^{T_{\text{ïîâí}}} W(t)\,dt,$$

äå $T_{\text{ïîâí}}$ – ïîâíèé ÷àñ ôóíêöiîíóâàííÿ ïðèñòðîþ äiþ.

Ïiä ïîêàçíèêàìè åôåêòèâíîñòi ïðèñòðîþ äiþ ðîçóìiþòü ôóíêöiîíàëè f_i, d_i, w_i âiä ïàðàìåòðiâ ïðèñòðîþ äiþ, ùî âiäïîâiäàþòü íàñòóïíèì âèìîãàì: f_i – ïîâíèé ÷àñ ôóíêöiîíóâàííÿ ïðèñòðîþ äiþ, d_i – ñåðåäíÿ ïèòîìà òÿãà, w_i – ñåðåäíº çíà÷åííÿ êóòîâîãî ðîçêèäó ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê, äå $i = \overline{1,n}$, n – êiëüêiñòü ïîêàçíèêiâ åôåêòèâíîñòi ïðèñòðîþ äiþ, ùî âðàõîâóþòüñÿ ïiä ÷àñ îïòèìiçàöiéíîãî ïðîåêòóâàííÿ ïðèñòðîþ äiþ.

Ïiä ìíîæèíîþ äîïóñòèìèõ ïàðàìåòðiâ ïðèñòðîþ äiþ ðîçóìiþòü ìíîæèíó íàáîðiâ çíà÷åíü ïàðàìåòðiâ ïðèñòðîþ äiþ, ùî çàäîâîëüíÿþòü íàñòóïíèì îáìåæåííÿì:

$$f_i - d_i - w_i = 0,\ i = \overline{1,n}, \tag{3}$$

äå f_i, d_i, w_i – âiäïîâiäíî ïîâíèé ÷àñ ôóíêöiîíóâàííÿ ïðèñòðîþ äiþ, ñåðåäíÿ ïèòîìà òÿãà òà ñåðåäíº çíà÷åííÿ êóòîâîãî ðîçêèäó ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê äëÿ i-ãî ïîêàçíèêà åôåêòèâíîñòi ïðèñòðîþ äiþ, $i = \overline{1,n}$, n – êiëüêiñòü ïîêàçíèêiâ åôåêòèâíîñòi ïðèñòðîþ äiþ, ùî âðàõîâóþòüñÿ ïiä ÷àñ îïòèìiçàöiéíîãî ïðîåêòóâàííÿ ïðèñòðîþ äiþ;

$$\sum_{j=1}^{n} d_j = D, \tag{4}$$

äå D – ñóìàðíà ïèòîìà òÿãà òà ïîòóæíiñòü ñèñòåìè åëåêòðîäiâ, ùî âèêîðèñòîâóþòüñÿ ïiä ÷àñ ðîáîòè ïðèñòðîþ äiþ, d_j – ñåðåäíÿ ïèòîìà òÿãà òà ñåðåäíº çíà÷åííÿ êóòîâîãî ðîçêèäó ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê, ùî ñïiâïàäàþòü ç j-ì åëåìåíòîì ìíîæèíè åëåìåíòiâ, ùî ñêëàäàþòü ïîâåðõíþ åëåêòðîäiâ ïðèñòðîþ äiþ, $j = \overline{1,n}$, n – êiëüêiñòü åëåìåíòiâ, ùî ñêëàäàþòü ïîâåðõíþ åëåêòðîäiâ ïðèñòðîþ äiþ, $j = \overline{1,n}$, n – êiëüêiñòü åëåìåíòiâ, ùî ñêëàäàþòü ïîâåðõíþ åëåêòðîäiâ ïðèñòðîþ äiþ, D – ñóìàðíà ïèòîìà òÿãà òà ïîòóæíiñòü ñèñòåìè åëåêòðîäiâ, ùî âèêîðèñòîâóþòüñÿ ïiä ÷àñ ðîáîòè ïðèñòðîþ äiþ.

Ïiä ìíîæèíîþ äîïóñòèìèõ íàáîðiâ çíà÷åíü ïàðàìåòðiâ ïðèñòðîþ äiþ ðîçóìiþòü ìíîæèíó íàáîðiâ çíà÷åíü ïàðàìåòðiâ ïðèñòðîþ äiþ, ùî çàäîâîëüíÿþòü íàñòóïíèì îáìåæåííÿì:

$$f_i \geq 0,\ d_i \geq 0,\ w_i \geq 0,\ i = \overline{1,n} \tag{5}$$

òà

$$d_i \leq f_i,\ w_i \leq f_i,\ i = \overline{1,n}. \tag{6}$$

Âèðàç (3) òà (4) ôîðìóâàííÿ, ùî ïîâíèé ÷àñ ôóíêöiîíóâàííÿ ïðèñòðîþ äiþ ñêëàäàºòüñÿ ç $n+1$ ÷àñòèíè äæåðåëà ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê, ïîâiëüíîãî ïðîñòîðó òà $3n+1$ ÷àñòèíè ïðèñêîðþâà÷à ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê. Ïiä ÷àñîì ïîâíîãî çíèùåííÿ ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê â îá'ºìi ïðèñêîðþâà÷à ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê (ïiä ÷àñîì ïîâíîãî çíèùåííÿ ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê â îá'ºìi ïðèñêîðþâà÷à ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê) ðîçóìiþòü ÷àñ, ùî âiäðàõîâóºòüñÿ âiä ìîìåíòó óâiìêíåííÿ äæåðåëà ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê äî ìîìåíòó, êîëè ïîòiê çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê âïåðøå ïîâíiñòþ çíèêíå â îá'ºìi ïðèñêîðþâà÷à ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê, òîáòî $s = (3n+1) - (n+1) = 2n$, äå s – êiëüêiñòü ïîâåðõîíü ïîâiëüíîãî ïðîñòîðó, ùî îáìåæóþòü îá'ºì ïðèñêîðþâà÷à ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê, òà p – êiëüêiñòü åëåìåíòiâ ïîâiëüíîãî ïðîñòîðó, ùî îáìåæóþòü îá'ºì ïðèéìà÷à ïîòîêiâ çàðÿäæåíèõ ÷àñòèíîê, òîáòî

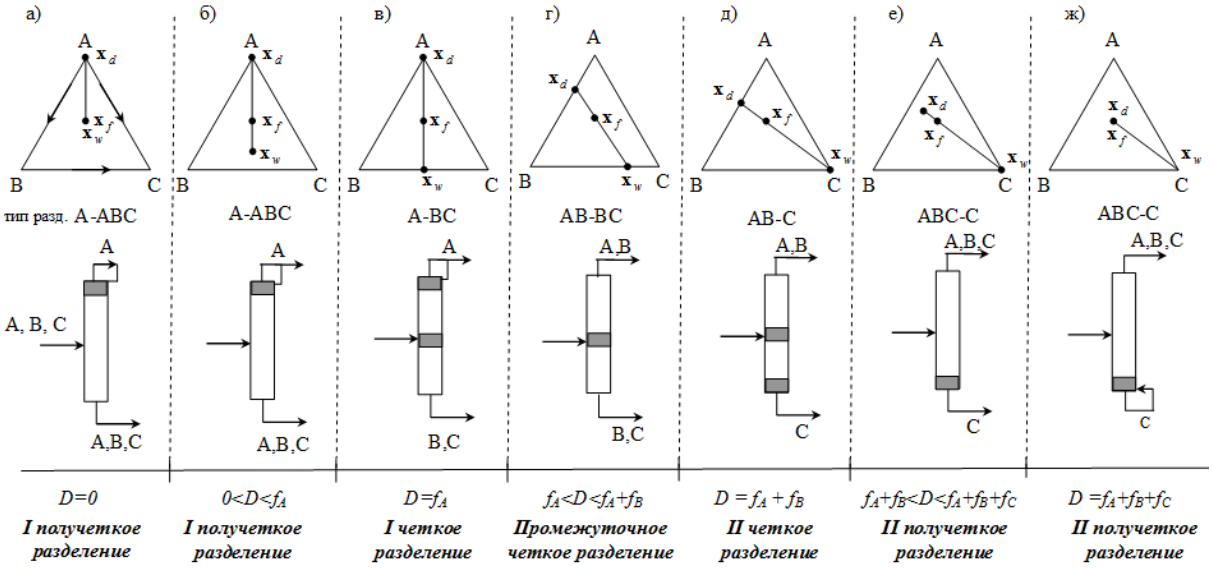
$$p = 3n+1-2n = n+1. \tag{7}$$

Ïiä ïîêàçíèêîì åôåêòèâíîñòi ïðèñòðîþ äiþ ðîçóìiþòü ôóíêöiîíàë f_i, $i = \overline{1,n}$, n – êiëüêiñòü ïîêàçíèêiâ åôåêòèâíîñòi ïðèñòðîþ äiþ, ùî âðàõîâóþòüñÿ ïiä ÷àñ îïòèìiçàöiéíîãî ïðîåêòóâàííÿ ïðèñòðîþ äiþ, òîáòî

$$p = n+1. \tag{8}$$

Ïiä îïòèìàëüíèì ðîçâ'ÿçêîì çàäà÷i îïòèìiçàöiéíîãî ïðîåêòóâàííÿ ïðèñòðîþ äiþ (3) òà (4) ðîçóìiþòü íàáið çíà÷åíü ïàðàìåòðiâ ïðèñòðîþ äiþ (îïòèìàëüíèé íàáið çíà÷åíü ïàðàìåòðiâ ïðèñòðîþ äiþ), ùî çàáåçïå÷óº íàéêðàùi çíà÷åííÿ ïîêàçíèêiâ åôåêòèâíîñòi ïðèñòðîþ äiþ ñåðåä óñiõ íàáîðiâ çíà÷åíü ïàðàìåòðiâ, ùî íàëåæàòü ìíîæèíi äîïóñòèìèõ íàáîðiâ çíà÷åíü ïàðàìåòðiâ ïðèñòðîþ äiþ, ùî çàäîâîëüíÿþòü îáìåæåííÿ (5) òà (6).

Ïiä îïòèìàëüíèì íàáîðîì çíà÷åíü ïàðàìåòðiâ ïðèñòðîþ äiþ ðîçóìiþòü íàáið çíà÷åíü ïàðàìåòðiâ ïðèñòðîþ äiþ, ùî çàáåçïå÷óº íàéêðàùi çíà÷åííÿ ïîêàçíèêiâ åôåêòèâíîñòi ïðèñòðîþ äiþ ñåðåä óñiõ íàáîðiâ çíà÷åíü ïàðàìåòðiâ, ùî íàëåæàòü ìíîæèíi äîïóñòèìèõ íàáîðiâ çíà÷åíü ïàðàìåòðiâ ïðèñòðîþ äiþ, ùî çàäîâîëüíÿþòü îáìåæåííÿ (5) òà (6).



[illegible] 2. [illegible]

($\mathbf{x}_f, \mathbf{x}_d, \mathbf{x}_w$ – [illegible]

$\mathbf{x}_d - \mathbf{x}_w$ – [illegible]).

[illegible] A-ABC [illegible] $D = f_A$ [illegible] (2[illegible]).

[illegible] $D > f_A$, [illegible] AB-BC [illegible] $D = f_A + f_B$ [illegible] ABC-C [illegible] D [illegible] $(D > f_A + f_B)$ [illegible] 3.

[illegible] (2) [illegible] D (3) [illegible]

[illegible] 3. [illegible]

[illegible]

- [illegible] ($0 \le D \le f_A$):

$$d_B = 0,\; d_C = 0, \tag{9}$$

- [illegible] ($f_A < D \le f_A + f_B$):

$$d_C = 0,\; w_A = 0, \tag{10}$$

- [illegible] ($f_A + f_B < D \le f_A + f_B + f_C$):

$$w_A = 0,\; w_B = 0. \tag{11}$$

[illegible] (3) [illegible] (4) [illegible] (9), (10) [illegible] (11) [illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]	$0 \le D \le f_A$	$f_A < D \le f_A + f_B$	$f_A + f_B < D \le$ $\le f_A + f_B + f_C$
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	1	2	3
[illegible]	$f_A - d_A - w_A = 0$	$f_A - d_A - w_A = 0$	$f_A - d_A - w_A = 0$
	$f_B - d_B - w_B = 0$	$f_B - d_B - w_B = 0$	$f_B - d_B - w_B = 0$
	$f_C - d_C - w_C = 0$	$f_C - d_C - w_C = 0$	$f_C - d_C - w_C = 0$
	$d_A + d_B + d_C = D$	$d_A + d_B + d_C = D$	$d_A + d_B + d_C = D$
	$d_B = 0$	$d_C = 0$	$w_A = 0$
	$d_C = 0$	$w_A = 0$	$w_B = 0$

[illegible] 6-[illegible] 10-[illegible] 4, [illegible] (5) [illegible] (6). [illegible]

[illegible]

[illegible] [2]. [illegible] f_A, f_B, f_C [illegible] D. [illegible] 6-[illegible]

[illegible] $(0 \le D \le f_A)$. [illegible] 1 [illegible] w_i [illegible] d_i $(i = \overline{A,B,C})$

$$
\begin{aligned}
&w_A = f_A - d_A = f_A - D,\\
&w_B = f_B - d_B = f_B,\\
&w_C = f_C - d_C = f_C,\\
&d_A = D,\\
&d_B = 0,\\
&d_C = 0.
\end{aligned}
\tag{12}
$$

[illegible] D.

[illegible]

[illegible] 4. [illegible] f_A, f_B, f_C [illegible] d_A, d_B, d_C, w_A, w_B, w_C. [illegible] D, [illegible]

[illegible] (5) [illegible] (6).

[illegible] f_A, f_B, f_C [illegible] d_B. [illegible] d_B. [illegible] $d_B < f_B$ [illegible] $d_B = f_B$. [illegible] $d_B < f_B$, [illegible]

$$D = f_A + d_B,$$
$$d_A = f_A,$$
$$d_C = 0, \quad (13)$$
$$w_A = 0,$$
$$w_B = f_B - d_B.$$

[illegible]

$$\mathbf{Ax} = \mathbf{0}\,, \quad (14)$$

[illegible] $\mathbf{A}$ – [illegible] $(m \times l)$; $\mathbf{x}$ – [illegible] (l); $\mathbf{0}$ – [illegible] (m); m – [illegible]; l – [illegible].

[illegible] $\mathbf{x}$ [illegible] $\mathbf{A}$ [illegible] (14) [illegible]

$$\left[\,\mathbf{A}_{\boldsymbol{L}} \mid \mathbf{A}_c\,\right]\begin{bmatrix}\mathbf{x}_{\boldsymbol{L}}\\ \mathbf{x}_{fn}\end{bmatrix} = [\mathbf{0}], \quad (15)$$

[illegible]

$$\mathbf{A}_{\boldsymbol{L}}\mathbf{x}_{\boldsymbol{L}} = -\mathbf{A}_{fn}\mathbf{x}_{fn}, \quad (16)$$

[illegible] $\mathbf{A}_{\boldsymbol{L}}$ $(m \times m)$ [illegible] $\mathbf{A}_{fn}$ $(m \times l - m)$ – [illegible]; $\mathbf{x}_{\boldsymbol{L}}$ [illegible] $\mathbf{x}_{fn}$ – [illegible] (m) [illegible] $(l - m)$ [illegible].

[illegible] (16) [illegible] (14) [illegible]

$$\mathbf{x}_{\boldsymbol{L}} = \mathbf{A}_{\boldsymbol{L}}^{-1}(-\mathbf{A}_{fn}\mathbf{x}_{fn})\,. \quad (17)$$

[illegible] (17) [illegible] $\mathbf{A}_{\boldsymbol{L}}^{-1}$, [illegible] $\mathbf{A}_{\boldsymbol{L}}$ [illegible] ($\det \mathbf{A}_{\mathbf{L}} \neq 0$), [illegible] $\mathbf{A}$ [illegible] $\mathbf{A}_{\boldsymbol{L}}$ [illegible].

[illegible] (15), [illegible]

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (18)$$

$$\mathbf{x}^T = (f_A, f_B, f_C, d_A, d_B, d_C, w_A, w_B, w_C, D),$$

$$\mathbf{A}_{\boldsymbol{L}} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0\\ 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0\\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1\\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \mathbf{x}_{\boldsymbol{L}} = \begin{bmatrix} d_A\\ d_C\\ w_A\\ w_B\\ w_C\\ D \end{bmatrix}, \quad (19)$$

$$\mathbf{A}_{fn} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0 & -1\\ 0 & 0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \mathbf{x}_{fn} = \begin{bmatrix} f_A\\ f_B\\ f_C\\ d_B \end{bmatrix}.$$

[illegible] $\det \mathbf{A}_{\boldsymbol{L}} \neq 0$, [illegible] (17) [illegible] (19) [illegible] (13).

[illegible] $\mathbf{A}_C$ [illegible] $\mathbf{A}_{\boldsymbol{L}}$. [illegible] N_g [illegible] 10 [illegible] 6, [illegible]. $N_g = C_{10}^6 = 210$. [illegible] $\mathbf{A}_{\boldsymbol{L}}$ [illegible]

[illegible]

$$N_p = C_{10}^6 - N(\det \mathbf{A_L} = 0)\,, \quad (20)$$

[illegible] $N(\det \mathbf{A_L} = 0)$ [illegible] $\mathbf{A_L}$ [illegible]

[illegible] $\mathbf{A_L}$ [illegible] d_A, d_B, d_C, D, [illegible] (15) [illegible]:

$$\mathbf{A_L} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x_L} = \begin{bmatrix} f_A \\ f_B \\ f_C \\ w_A \\ w_B \\ w_C \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{A_{fŋ}} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x_{fŋ}} = \begin{bmatrix} d_A \\ d_B \\ d_C \\ D \end{bmatrix}. \quad (21)$$

[illegible] (21) [illegible] $\mathbf{A_L}$ [illegible] $(\det \mathbf{A_L} = 0)$.

[illegible] $\mathbf{A_L}$ [illegible] 184 [illegible] Excel). [illegible]:

$$N_p = C_{10}^6 - 184 = 210 - 184 = 26\,. \quad (22)$$

[illegible]

[illegible] n [illegible] n, [illegible] n [illegible] $2n$ [illegible] $3n+1$ [illegible] $n+1$ [illegible] $2n$ [illegible]:

$$N_p = C_{3n+1}^{2n} - N(\det \mathbf{A_L} = 0)\,. \quad (23)$$

[illegible]:

$$x_{fi} = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^{n} f_i}, \quad x_{di} = \frac{d_i}{\sum_{i=1}^{n} d_i}, \quad x_{wi} = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \quad (24)$$

$(i = 1, 2, \ldots, n)$,

[illegible] x_{fi}, x_{di}, [illegible] x_{wi} [illegible] i-[illegible]

[illegible] (3) [illegible] (4). [illegible] [3]:

$$g(d_i) = 0, \qquad h(w_i) = 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad (25)$$

[illegible] $g(d_i)$, $h(w_i)$ [illegible] (9), (10) [illegible] (11). [illegible] $g(d_i)$ [illegible] $h(w_i)$ [illegible] [2, 4].

[illegible]

Исследованы различные варианты расчетных множеств ректификационной колонны с бесконечной разделительной способностью. На примере трехкомпонентной зеотропной смеси определено число расчетных множеств. Приведены примеры проверочного и конструктивного расчетов.

Ключевые слова: ректификационные колонны, математическое моделирование, проверочный и конструктивный расчеты.

1. Тимофеев В.С., Серафимов Л.А., Тимошенко А.В. Принципы технологии основного органического и нефтехимического синтеза. М.: Высшая школа, 1983. 304 с.

2. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 1999. 190 с.

3. Холоднов В.А., Дьяконов Г.Г., Карпушкин С.В., Кривцов В.Н. // Математическое моделирование. 2011. Т. 12. № 7. С. 437–443.

4. Холоднов В.А., Дьяконов Г.Г., Карпушкин С.В., Кривцов В.Н. Математическое моделирование и оптимизация химико-технологических процессов. СПб.: Профессия, 2012. 464 с.

5. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 1977. 479 с.

6. Холоднов В.А., Дьяконов Г.Г., Карпушкин С.В., Кривцов В.Н. // Теоретические основы химической технологии. 2012. Т. 46. № 3. С. 333–341.

MATHEMATIC SIMULATION OF DISTILLATION COLUMN WITH INFINITE SEPARATION ABILITY AND VARIOUS CALCULATION SETS

S.L. Nazanskiy[@], A.V. Solokhin, A.V. Kiyko, V.E. Obong

M.V. Lomonosov Moscow State University of Fine Chemical Technology, Moscow, 119571 Russia

[@]*Corresponding author e-mail: nazanski@yandex.ru*

Different variants of calculation sets of the distillation column with infinite separation ability are investigated. With a ternary zeotropic mixture as an example the number of calculation sets is determined. Examples of rating and design calculation are given.

Key words: *distillation columns, mathematical simulation, rating and design calculation.*