



УДК 681.5.015

© 2018 г. **О.Ю. Снегирев**

(Дальневосточный федеральный университет, Владивосток),

**А.Ю. Торгашов**, д-р техн. наук

(Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток),

## **НАБЛЮДАЕМОСТЬ НЕПРЕРЫВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ РЕКТИФИКАЦИИ\***

Рассматривается задача анализа локальной наблюдаемости непрерывного технологического объекта на примере колонны многокомпонентной ректификации. Проведено исследование наблюдаемости технологического объекта в окрестностях нескольких стационарных состояний. Показано, что присутствует только частичная наблюдаемость. В терминах числа обусловленности матрицы наблюдаемости и грамиана наблюдаемости выделены области технологических параметров объекта, при которых достигается максимальное количество наблюдаемых компонент вектора состояния.

**Ключевые слова:** массообменный технологический объект, наблюдаемость, грамиан наблюдаемости.

DOI: 10.22250/isu.2018.56.62-72

### **Введение**

Современные системы управления основаны на прогнозирующих моделях технологических объектов (ТО) [1]. Одна из целей создания данных систем управления заключается в стабилизации вектора состояния технологического объекта. Однако проблеме анализа наблюдаемости непрерывных технологических объектов ректификации уделяется мало внимания. Множество работ посвящено в основном построению наблюдателей ТО [2], в то время как их систематический анализ наблюдаемости отсутствует.

В статье последовательно излагаются вопросы формирования вектора состояния технологического процесса многокомпонентной ректификации, получение

---

\* Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта ДВО РАН программы «Дальний Восток», проект №18-5-044 (0262-2018-0039).

ния локальных линейных моделей ТО при различных технологических параметрах. Определены интервалы технологических параметров, при которых достигается наблюдаемость максимального количества линейных комбинаций из элементов вектора состояния.

### Описание объекта управления и постановка задачи

Рассматривается многоступенчатый процесс многокомпонентной ректификации, протекающий в технологическом аппарате колонного типа с  $j$  ступенями разделения и описываемый следующей системой:

при  $j = 1$ ,

$$\frac{d\tilde{x}_{j,i}}{dt} = \frac{(R+D)\alpha_i\tilde{x}_{j+1,i}}{\alpha_c + \sum_{i=1}^{c-1}\tilde{x}_{j+1,i}(\alpha_i - \alpha_c)} - R\tilde{x}_{j,i} - D\tilde{x}_{j,i}; \quad (1)$$

при  $j = 2, \dots, f-1$ ,

$$\frac{d\tilde{x}_{j,i}}{dt} = R\tilde{x}_{j-1,i} + \frac{(R+D)\alpha_i\tilde{x}_{j+1,i}}{\alpha_c + \sum_{i=1}^{c-1}\tilde{x}_{j+1,i}(\alpha_i - \alpha_c)} - R\tilde{x}_{j,i} - \frac{(R+D)\alpha_i\tilde{x}_{j,i}}{\alpha_c + \sum_{i=1}^{c-1}\tilde{x}_{j,i}(\alpha_i - \alpha_c)}; \quad (2)$$

при  $j = f$ ,

$$\frac{d\tilde{x}_{j,i}}{dt} = R\tilde{x}_{j-1,i} + \frac{(R+D)\alpha_i\tilde{x}_{j+1,i}}{\alpha_c + \sum_{i=1}^{c-1}\tilde{x}_{j+1,i}(\alpha_i - \alpha_c)} - (R+F)\tilde{x}_{j,i} - \frac{(R+D)\alpha_i\tilde{x}_{j,i}}{\alpha_c + \sum_{i=1}^{c-1}\tilde{x}_{j,i}(\alpha_i - \alpha_c)} + F\tilde{x}_{F,i}; \quad (3)$$

при  $j = f+1, \dots, K-1$ ,

$$\begin{aligned} \frac{d\tilde{x}_{j,i}}{dt} = & (R+F)\tilde{x}_{j-1,i} + \frac{(R+D)\alpha_i\tilde{x}_{j+1,i}}{\alpha_c + \sum_{i=1}^{c-1}\tilde{x}_{j+1,i}(\alpha_i - \alpha_c)} - (R+F)\tilde{x}_{j,i} - \\ & - \frac{(R+D)\alpha_i\tilde{x}_{j,i}}{\alpha_c + \sum_{i=1}^{c-1}\tilde{x}_{j,i}(\alpha_i - \alpha_c)}; \end{aligned} \quad (4)$$

при  $j = K$ ,

$$\frac{d\tilde{x}_{j,i}}{dt} = (R+F)\tilde{x}_{K-1,i} - (F-D)\tilde{x}_{K,i} - \frac{(R+D)\alpha_i\tilde{x}_{K,i}}{\alpha_c + \sum_{i=1}^{c-1}\tilde{x}_{K,i}(\alpha_i - \alpha_c)}, \quad (5)$$

где  $i = 1, \dots, c$ ;  $c$  – количество компонентов на тарелке колонны;  $K$  – число ступеней разделения;  $\tilde{x}_{j,i}$  – концентрация  $i$ -го компонента на  $j$ -й ступени разделения;  $\tilde{x}_{F,i}$  – концентрация  $i$ -го компонента в сырье;  $f$  – номер ступени подачи сырья;  $R$  – расход орошения;  $F$  – расход сырья;  $D$  – расход верхнего продукта;  $\alpha_i$  – относительная летучесть  $i$ -го компонента.

Изменение температуры на  $j$ -й ступени разделения представимо в виде

$$T_j = \frac{B_b + C_b \lg\left(\frac{P_j}{\gamma_j}\right) - C_b A_b}{A_b - \lg\left(\frac{P_j}{\gamma_j}\right)}, \quad (6)$$

где  $A_b, B_b, C_b$  – константы Антуана для базового состава;  $P_j$  – давление на  $j$ -й тарелке;  $\gamma_j$  – параметр, вычисляемый по формуле

$$\gamma_j = \alpha_c + \sum_{i=1}^{c-1} \tilde{x}_{ji} (\alpha_i - \alpha_c). \quad (7)$$

Задача заключается в проведении анализа наблюдаемости массообменного технологического объекта, описание которого представлено уравнениями (1)–(7).

### Упрощенная запись правых частей функций изменения концентраций

Введем следующее обозначение:

$$\xi_q = \frac{d\tilde{x}_{l,p}}{dt}, \quad l = \left\lfloor \frac{q-1}{c-1} \right\rfloor + 1, p = q - (c-1) \times \left\lfloor \frac{q-1}{c-1} \right\rfloor. \quad (8)$$

Правую часть функции изменения концентрации компонента можно представить в виде суммы из нескольких слагаемых:

$$\xi_q = \frac{d\tilde{x}_{l,p}}{dt} = S_{l-1,p} + \tilde{S}_{l+1,p} - S_{l,p} + \tilde{S}_{l,p}, \quad (9)$$

$$\text{где } S_{l,p} = K\tilde{x}_{l,p}; S_{l-1,p} = K\tilde{x}_{l-1,p}; \tilde{S}_{l,p} = \frac{(R+D)\alpha_i\tilde{x}_{l,p}}{\alpha_c + \sum_{i=1}^{c-1} \tilde{x}_{l,p}(\alpha_i - \alpha_c)}; \tilde{S}_{l+1,p} = \frac{(R+D)\alpha_i\tilde{x}_{l+1,p}}{\alpha_c + \sum_{i=1}^{c-1} \tilde{x}_{l+1,p}(\alpha_i - \alpha_c)}.$$

### Анализ наблюдаемости. Матрица наблюдаемости

Для осуществления управления необходимо иметь информацию о текущем состоянии системы, т.е. о значениях вектора состояния  $X$  в каждый момент времени. Состояние  $X$  называется наблюдаемым, если в момент времени наблюдения его можно однозначно определить по данным измерения на конечном интервале времени входных и выходных переменных соответственно  $u(t)$  и  $y(t)$ .

Для оценки наблюдаемости объекта необходимо знать матрицу системы  $A$  и матрицу выхода  $C$  пространства состояний [3].

### Формирование вектора состояний

Матрица состояний включает в себя значения концентраций каждого из  $c$  компонентов на каждой из  $K$  тарелок. Тогда матрица состояний

$$\tilde{x} = \begin{pmatrix} \tilde{x}_{1,1} & \cdots & \tilde{x}_{1,c} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{K,1} & \cdots & \tilde{x}_{K,c} \end{pmatrix}, \quad (10)$$

будет иметь размерность  $(K \times c)$ . Для уменьшения количества элементов вектора состояний  $X$  будем полагать, что на каждой ступени разделения сумма концентраций всех компонентов равна 1, т.е.

$$\sum_{i=1}^c \tilde{x}_{1,i} = \sum_{i=1}^c \tilde{x}_{\dots,i} = \sum_{i=1}^c \tilde{x}_{K,i} = 1. \quad (11)$$

Следовательно, можно сформировать вектор состояний  $X$  из  $Q = K \times (c - 1)$  элементов:

$$X = (X_1 \dots X_q \dots X_Q)^T, \quad (12)$$

где  $q = 1, \dots, Q$ . Каждому элементу вектора состояний  $X$  будет соответствовать определенный элемент матрицы состояний  $\tilde{x}$

$$X_q = \tilde{x} \left( \left[ \frac{q-1}{c-1} \right] + 1, \left( q - (c-1) \times \left[ \frac{q-1}{c-1} \right] \right) \right), \quad (13)$$

где  $q = 1, \dots, Q$  – номер элемента вектора состояний  $X$ ;  $c$  – количество компонентов смеси;  $[a] = \max\{n \in Z \mid n \leq a\}$  – функция, возвращающая наибольшее целое число, наименьшее или равное  $a$ .

### Получение матрицы $A$ пространства состояний

Матрица системы  $A$  пространства состояний является матрицей частных производных функций системы от элементов вектора состояний. Функции системы отражают изменения концентрации каждого из  $(c - 1)$  компонентов на каждой из  $K$  ступеней разделения. Так как всего имеется  $Q = K \times (c - 1)$  функций, матрица системы  $A$  является квадратной матрицей размерности  $Q \times Q$  вида

$$A = \begin{pmatrix} \frac{\partial \xi_1}{\partial X_1} & \cdots & \frac{\partial \xi_1}{\partial X_g} & \cdots & \frac{\partial \xi_1}{\partial X_Q} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial \xi_k}{\partial X_1} & \cdots & \frac{\partial \xi_k}{\partial X_g} & \cdots & \frac{\partial \xi_k}{\partial X_Q} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial \xi_Q}{\partial X_1} & \cdots & \frac{\partial \xi_Q}{\partial X_g} & \cdots & \frac{\partial \xi_Q}{\partial X_Q} \end{pmatrix}. \quad (14)$$

Рассмотрим функции изменения концентраций компонентов  $i$ . Они различны в зависимости от номера ступени разделения  $j$  и от номера ступени  $f$ , на кото-

рую подается сырье. Исследуя функции изменения концентраций компонентов на ступени разделения, можно заметить, что концентрация компонента на  $j$  ступени зависит от концентрации компонентов на  $j$  ступени и концентраций компонентов на  $(j - 1)$  и  $(j + 1)$  ступенях разделения.

Для нахождения значений элементов матрицы системы необходимо найти частные производные функций изменения концентраций от каждой концентрации. При этом значения коэффициентов матрицы системы  $A_{k,g}$  будут ненулевыми для элементов матрицы, индексы которых удовлетворяют системе неравенств

$$\begin{cases} (j-1) \times (c-1) < k \leq j \times (c-1), \\ (j-2) \times (c-1) < g \leq (j+1) \times (c-1). \end{cases} \quad (15)$$

Значение ненулевых элементов матрицы  $A$  равны

$$A_{k,g} = \frac{\partial \xi_k}{\partial X_g} = \frac{\partial S_{l-1,p}}{\partial \tilde{x}_{m,n}} + \frac{\partial \tilde{S}_{l+1,p}}{\partial \tilde{x}_{m,n}} - \frac{\partial S_{l,p}}{\partial \tilde{x}_{m,n}} - \frac{\partial \tilde{S}_{l,p}}{\partial \tilde{x}_{m,n}}, \quad (16)$$

где  $l = \left\lfloor \frac{k-1}{c-1} \right\rfloor + 1, p = k - (c-1) \times \left\lfloor \frac{k-1}{c-1} \right\rfloor$ ;  $m = \left\lfloor \frac{g-1}{c-1} \right\rfloor + 1, n = g - (c-1) \times \left\lfloor \frac{g-1}{c-1} \right\rfloor$ .

Частные производные слагаемых  $S_{l,p}$  от  $\tilde{x}_{m,n}$ , принимают значения

$$\begin{aligned} \frac{\partial S_{l,p}}{\partial \tilde{x}_{m,n}} &= K, \quad m = l \wedge n = p, \\ \frac{\partial S_{l,p}}{\partial \tilde{x}_{m,n}} &= 0, \quad m \neq l \vee n \neq p. \end{aligned} \quad (17)$$

Частные производные слагаемых  $\tilde{S}_{l,p}$  от  $\tilde{x}_{m,n}$  определяются в виде:

$$\frac{\partial \tilde{S}_{l,p}}{\partial \tilde{x}_{m,n}} = \frac{(R+D)\alpha_p \times \left( \alpha_c + \sum_{p=1}^{c-1} \tilde{x}_{l,p} (\alpha_p - \alpha_c) \right)}{\left( \alpha_c + \sum_{p=1}^{c-1} \tilde{x}_{l,p} (\alpha_p - \alpha_c) \right)^2} - \frac{(R+D)\alpha_p \tilde{x}_{l,p} (\alpha_p - \alpha_c)}{\left( \alpha_c + \sum_{p=1}^{c-1} \tilde{x}_{l,p} (\alpha_p - \alpha_c) \right)^2}, \quad (18)$$

$$m = l \wedge n = p;$$

$$\frac{\partial \tilde{S}_{l,p}}{\partial \tilde{x}_{m,n}} = - \frac{(R+D)\alpha_p \tilde{x}_{l,p} (\alpha_p - \alpha_c)}{\left( \alpha_c + \sum_{p=1}^{c-1} \tilde{x}_{l,p} (\alpha_p - \alpha_c) \right)^2}, \quad (19)$$

$$m = l \wedge n \neq p;$$

$$\frac{\partial \tilde{S}_{l,p}}{\partial \tilde{x}_{m,n}} = 0, \quad (20)$$

$$m \neq l \wedge n \neq p.$$

## Получение матрицы $C$ пространства состояний

Матрица выхода  $C$  пространства состояний является матрицей частных производных функций изменения температуры от концентрации  $Q$  компонентов. Всего мы имеем  $K$  функций. Матрица выхода  $C$  является матрицей размерности  $K \times Q$  следующего вида:

$$C = \begin{pmatrix} \frac{\partial T_1}{\partial X_1} & \dots & \frac{\partial T_1}{\partial X_g} & \dots & \frac{\partial T_1}{\partial X_Q} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial T_h}{\partial X_1} & \dots & \frac{\partial T_h}{\partial X_g} & \dots & \frac{\partial T_h}{\partial X_Q} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial T_K}{\partial X_1} & \dots & \frac{\partial T_K}{\partial X_g} & \dots & \frac{\partial T_K}{\partial X_Q} \end{pmatrix}. \quad (21)$$

Рассмотрим функции изменения температуры на  $j$ -й ступени разделения. Исследуя функции изменения температуры на  $j$ -й ступени, можно заметить, что температура зависит только от концентрации компонентов на этой ступени. Тогда значения коэффициентов матрицы состояний  $C_{h,g}$  будут ненулевыми для элементов матрицы, индексы которых удовлетворяет системе:

$$\begin{cases} h = j, \\ (j-1) \times (c-1) < g \leq j \times (c-1). \end{cases} \quad (22)$$

Значение ненулевых элементов матрицы  $C$  равны:

$$C_{h,g} = \frac{\partial T_h}{\partial X_g} = \frac{-B_b \ln(10) (\alpha_{g-(h-1) \times (c-1)} - \alpha_c)}{\left( A_b \ln(10) - \ln \left( \frac{P_h}{\gamma_h} \right) \right)^2 \gamma_h}, \quad (23)$$

где  $\gamma_h = \alpha_c + \sum_{i=1}^{c-1} X_{(h-1) \times (c-1) + i} \cdot (\alpha_i - \alpha_c)$ .

## Исследование влияния технологических параметров массообменного объекта управления на наблюдаемость объекта

### Влияние флегмового числа и расхода верхнего продукта.

Проведем исследования наблюдаемости технологического объекта с числом ступеней разделения  $K = 20$  и сырьем, состоящим из  $c = 4$  компонентам. Изменение расхода верхнего продукта  $D$  в интервале  $\{100 \dots 300\}$  с шагом 10. Изменение флегмового числа  $RR$  в интервале  $\{0.5, \dots, 3\}$  с шагом 0.1.

Флегмовое число представляет собой отношение количества жидкости  $R$ ,

стекающей с любой тарелки в концентрационной секции колонны, к количеству отбираемого верхнего продукта  $D$  и определяется отношением

$$RR = \frac{R}{D}. \quad (24)$$

Для оценки наблюдаемости объекта можно воспользоваться матрицей наблюдаемости

$$Q_B = (C \quad CA \quad CA^2 \quad \dots \quad CA^{n-1})^T. \quad (25)$$

Система наблюдаема тогда и только тогда, когда ранг матрицы наблюдаемости  $Rang(Q_B)$  равен размерности вектора состояний  $Q$ , т.е.

$$Rang(Q_B) = Q. \quad (26)$$

На рис. 1 представлена поверхность рангов матрицы наблюдаемости в зависимости от расхода верхнего продукта и флегмового числа в заданных интервалах, на котором видно, что рассматриваемый объект – ненаблюдаемый при заданных параметрах.

Можно оценить степень наблюдаемости объекта. Используя критерий оценки наблюдаемости через ранг матрицы наблюдаемости, можно выделить область, на которой степень наблюдаемости будет выше. Для этого выделим область, где ранг матрицы наблюдаемости больше либо равен 9. Данная область представлена на рис. 2.

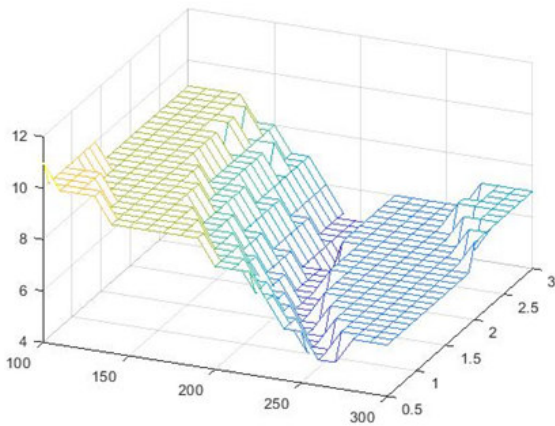


Рис. 1. Изменение ранга матрицы наблюдаемости при изменении значений  $RR$  и  $D$ .

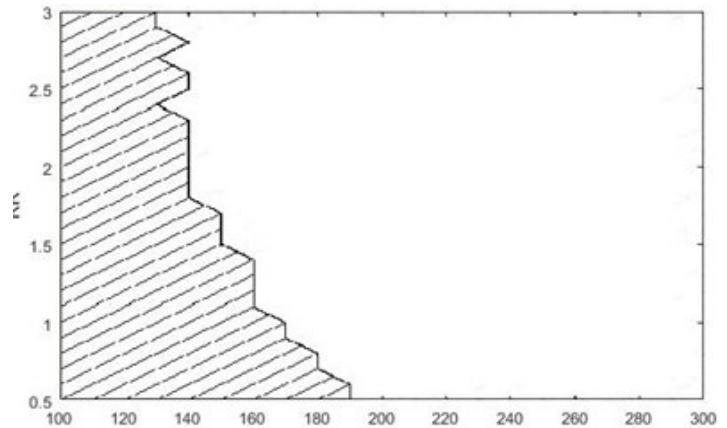


Рис. 2. Рекомендуемая область  $D$  и  $RR$  по критерию ранга матрицы наблюдаемости.

Существует способ оценки наблюдаемости объекта с использованием числа обусловленности матрицы наблюдаемости  $\mu(Q_B)$  [4 – 6]. Чем меньше  $\mu(Q_B)$ , тем выше степень наблюдаемости рассматриваемого объекта.

На рис. 3 представлен график зависимости числа обусловленности матрицы наблюдаемости от параметров массообменного процесса. Для упрощения восприятия полученных значений числа обусловленности представлены в виде

$$\mu_g(Q_B) = \frac{\log_{10} \mu(Q_B)}{\max(\log_{10} \mu(Q_B))} 100\%, \quad (27)$$

где  $\max(\log_{10} \mu(Q_B))$  – максимальное значение десятичного логарифма числа обусловленности матрицы наблюдаемости на рассматриваемом интервале изменения флегмового числа  $RR$  и расхода верхнего продукта  $D$ .

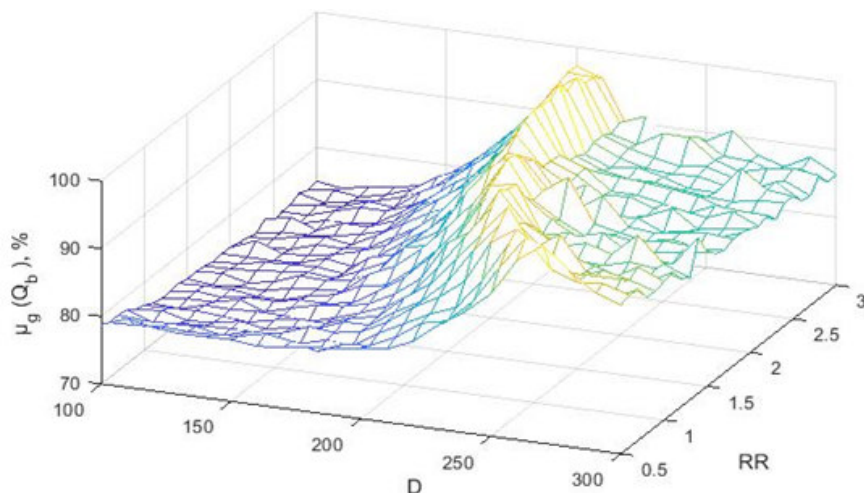


Рис. 3. Изменение числа обусловленности матрицы наблюдаемости при изменении значений  $RR$  и  $D$ .

Выберем область изменения значений  $RR$  и  $D$ , которую можно рекомендовать к использованию в рассматриваемом технологическом объекте, где  $\mu_g(Q_B) > 90\%$ . На рис. 4 представлена выбранная область.

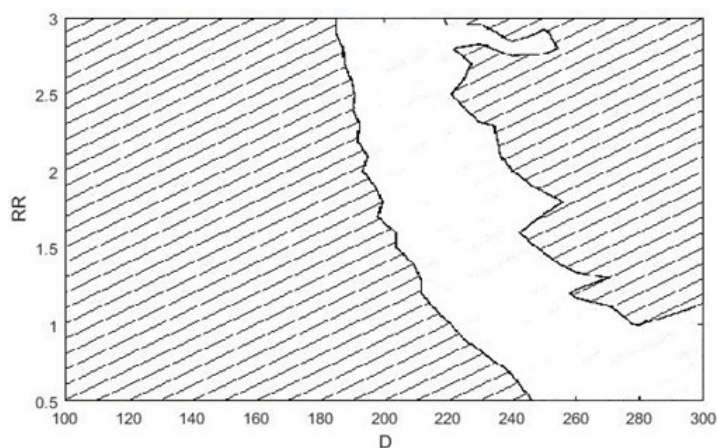


Рис. 4. Рекомендуемая область  $D$  и  $RR$  по критерию числа обусловленности матрицы наблюдаемости.

Еще один критерий, по которому можно оценить наблюдаемость объекта, использует понятие грамиана наблюдаемости [5, 6]. Согласно принципу дуальности Калмана в рассмотрение вводится дуальная система, переменные состояния которой образуют свою матрицу Грама в сходных рассмотренным выше условиях. Грамиан наблюдаемости можно найти из следующего уравнения Ляпунова:

$$GA + A'G + c'c = 0. \quad (28)$$



В оценке степени наблюдаемости объекта рассматривается число обусловленности грамиана наблюдаемости  $\mu(G_B)$ . Чем меньше  $\mu(G_B)$ , тем выше степень наблюдаемости рассматриваемого объекта.

На рис. 5 представлен график зависимости числа обусловленности грамиана наблюдаемости от параметров массообменного процесса. Для упрощения восприятия полученных значений числа обусловленности представлены в виде

$$\mu_g(G_B) = \frac{\log_{10} \mu(G_B)}{\max(\log_{10} \mu(G_B))} 100\%, \quad (29)$$

где  $\max(\log_{10} \mu(G_B))$  – максимальное значение десятичного логарифма числа обусловленности грамиана наблюдаемости на рассматриваемом интервале изменения флегмового числа  $RR$  и расхода верхнего продукта  $D$ .

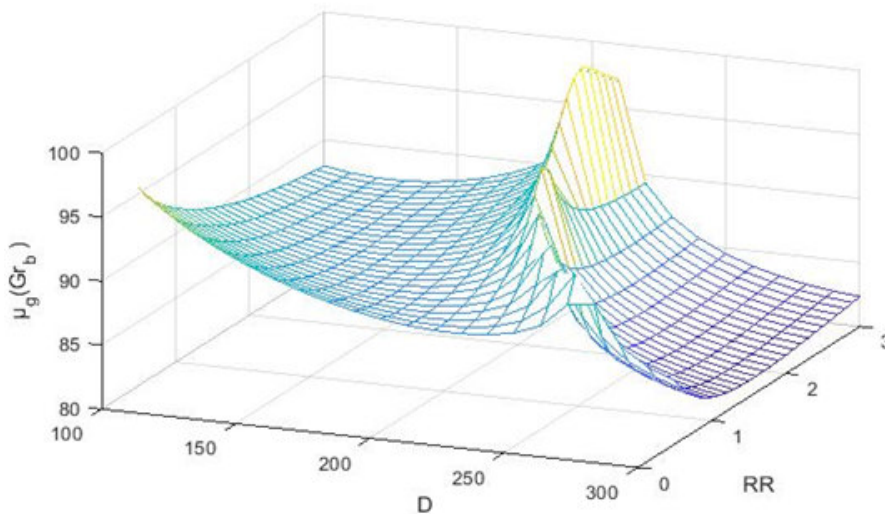


Рис. 5. Изменение числа обусловленности грамиана наблюдаемости при изменении значений  $RR$  и  $D$ .

Выберем область изменения значений  $RR$  и  $D$ , которую можно рекомендовать к использованию для рассматриваемого технологического объекта и где  $\mu_g(G_b) < 90\%$ . На рис. 6 представлена выбранная область.

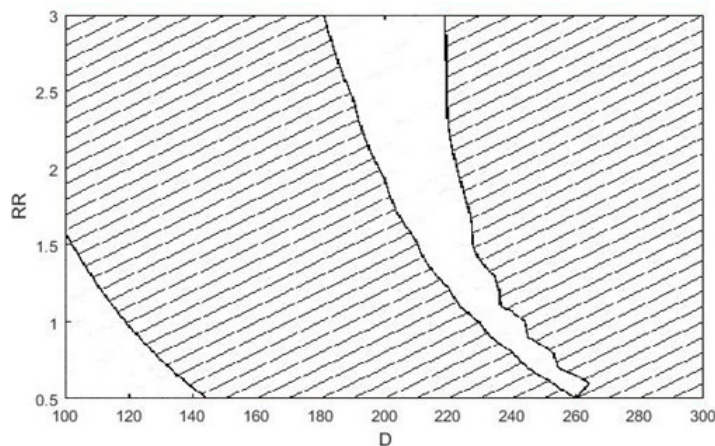


Рис. 6. Рекомендуемая область  $D$  и  $RR$  по критерию числа обусловленности грамиана наблюдаемости.

Рекомендуемые области по трем представленным критериям оценки наблюдаемости объекта имеют схожие черты, но различаются. Найдем такую область, которая будет удовлетворять всем вышеописанным критериям. На рис. 7 представлена полученная область.

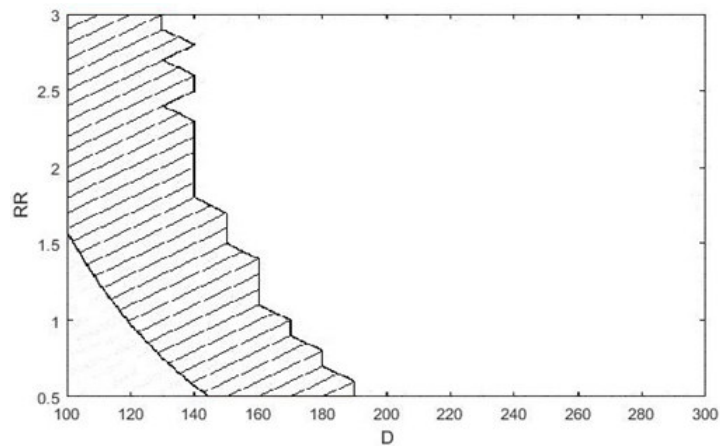


Рис. 7. Рекомендуемая область  $D$  и  $RR$ .

### Влияние номера ступени разделения, на которую подается сырье.

Ранг матрицы наблюдаемости также зависит от номера  $f$  ступени разделения, на которую подается сырье. На рис. 8 представлены графики изменения максимальных и минимальных значений ранга матрицы наблюдаемости для рассматриваемого технологического объекта в заданной области изменения расхода выходного продукта и флегмового числа.

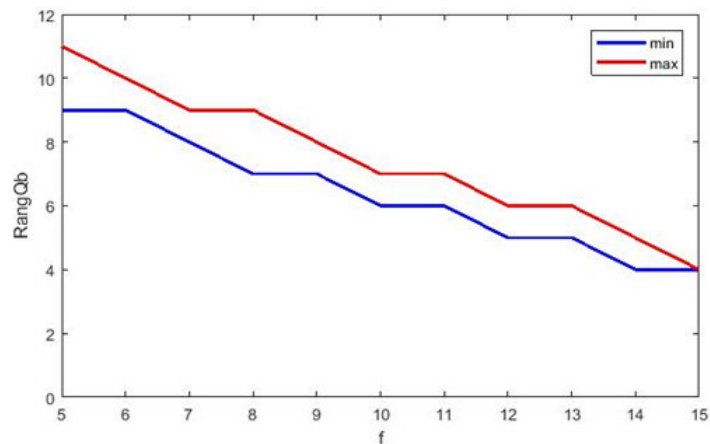


Рис. 8. Изменение максимальных и минимальных значений ранга матрицы наблюдаемости при изменении номера ступени подачи сырья.

Из графиков рис. 8 видно, что при увеличении номера ступени разделения, на которую подается сырье, уменьшаются значения ранга матрицы наблюдаемости.

## **Заключение**

Исследование влияния технологических параметров непрерывного ТО многокомпонентной ректификации на наблюдаемость показало, что объект не полно-

стью наблюдаемый. Количество наблюдаемых компонент вектора состояния различно в зависимости от значений флегмового числа и количества отбираемого верхнего продукта, а также номера ступени разделения, на которую подается сырье.

Для массообменного объекта с 20 степенями разделения и четырехкомпонентной исходной смесью веществ можно рекомендовать область значений флегмового числа и количества отбираемого верхнего продукта, показанную на рис. 7. Для достижения максимального количества наблюдаемых комбинаций элементов вектора состояния ТО рекомендуется выбирать ступень разделения, на которую подается сырье, с наименьшим возможным номером.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Lee J.H.* Model predictive control: Review of the three decades of development // International Journal of Control, Automation and Systems. – 2011. – Vol. 9, No 3. – P. 415-424.
2. *Mohd Ali J., Hoang N. Ha, Hussain M.A., Dochain D.* Review and classification of recent observers applied in chemical process systems // Comp Chem Eng. – 2015. – Vol. 76. – P. 27-41.
3. *Поляк Б.Т., Щербаков П.С.* Робастная устойчивость и управление. – М.: Наука, 2002.
4. *Цей Р., Шумафов М.М.* Число обусловленности матрицы как показатель устойчивости при решении прикладных задач // Труды ФОРА. – 2011. – № 16.
5. *Singh A., Hahn J.* On the use of empirical Gramians for controllability and observability analysis // Proc. of American Control Conference. – Portland, 2005. – P. 140-146.
6. *Qi J., Sun K. Kang W.* Optimal PMU placement for power system dynamic state estimation by using empirical observability Gramian // IEEE Transactions on Power Systems. – 2015. – Vol. 30, № 4. – P. 2041-2054.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии О.В. Абрамовым.*

*E-mail:*

*Олег Юрьевич Снегирев – 2995oleg@mail.ru;*

*Андрей Юрьевич Торгашов – torgashov@iacp.dvo.ru.*