

ПОБУДОВА СЦЕНАРНИХ АЛГОРИТМІВ УПРАВЛІННЯ БРАГО- РЕКТИФІКАЦІЙНОЮ УСТАНОВКОЮ НА ОСНОВІ ФАКТОРНО- ЦІЛЬОВОГО АНАЛІЗУ

Я. В. Смітюх

Кандидат технічних наук, доцент*

Контактний тел.: (044) 287-94-56, 050-861-00-99

E-mail: Smityuh@yandex.ru

В. Д. Кишенько

Кандидат технічних наук, доцент*

Контактний тел.: (044) 287-94-56, 050-696-54-11

E-mail: Kvd1948@gmail.com

*Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Національний університет харчових технологій
вул. Володимирська, 68, м. Київ, Україна, 01033

Розглянуті питання, пов'язані з основними теоретичними та практичними засадами побудови ефективних сценарних алгоритмів управління брагоректифікаційною установкою на основі факторно-цільового аналізу з урахуванням атрактивної поведінки цього об'єкта

Ключові слова: атрактивні зони, факторно-цільовий аналіз, сценарій

Рассмотрены вопросы, связанные с основными теоретическими и практическими положениями построения эффективных сценарных алгоритмов управления брагоректификационной установкой на основе факторно-целевого анализа с учетом атрактивного поведения этого объекта

Ключевые слова: атрактивные зоны, факторно-целевой анализ, сценарий

The questions related to basic theoretical and practical principles of effective management algorithms scenario rectification plant on the basis of target-factor analysis taking into account the behavior of the attractive object

Keywords: attractive area, factor-based analysis, scenario

1. Вступ

В харчовій промисловості для отримання етилового спирту широко використовуються ректифікаційні та брагоректифікаційні установки (відповідно РУ і БРУ), які розповсюджені в спиртовій, гідролізній і інших галузях промисловості.

Процеси брагоректифікації є багатовимірними, так і стан характеризується трьома полями: полем концентрації, полем температури і полем тиску, тобто про-

цеси в колонах БРУ є процесами багатокomпонентної ректифікації.

Властивість багатозв'язності БРУ проявляється в складному взаємозв'язку управляючих дій та вихідних змінних стану об'єкта. Підтримка необхідних режимів роботи БРУ потребує врахування узгодженості управління технологічними змінними, оскільки зміна однієї вхідної змінної в більшості випадків приводить до зміни всіх або декількох вихідних змінних. Така властивість відносить БРУ до класу багатозв'яз-

них об'єктів управління [1, 2, 3]. Виходячи з вказаної властивості при синтезі системи управління, необхідно врахувати можливість виділення провідних керуючих змінних технологічного процесу (ТП) ректифікації спирту (параметрів порядку).

2. Мета статті

Метою роботи є побудова сценарних алгоритмів управління процесами брагоректифікації на основі факторно-цільового аналізу з урахуванням атрактивної поведінки основних змінних, що характеризують роботу БРУ.

3. Основний матеріал

Сценарні алгоритми управління брагоректифікаційною установкою повинні бути достатньо структурованими і при їх побудові необхідно враховувати основні нелінійні особливості поведінки основних процесів, що характерно відрізняє їх від структури стандартних сценаріїв, описаних в роботі [4]. Особлива увага акцентується на врахування семантичних закономірностей та самоорганізаційних особливостей процесів брагоректифікації.

Під БРУ будемо розуміти просторово обмежений об'єкт, який складається з таких основних структурних елементів: бражна колона (БК), ешюраційна колона (ЕК), ректифікаційна колона (РК). Кожний із зазначених технологічних об'єктів виконує певну множину технологічних операцій з визначеними ресурсами на вході і результатами роботи на виході [5]. Кожну технологічну операцію виконує окрема конструкція, представлена декількома елементами та оптимізуєчими функціоналами. При формуванні сценарію враховується, що кожна технологічна операція потребує управління. Сукупність таких операцій утворює функцію, а сукупність функцій – задачу управління. Таким чином задача управління технологічним процесом брагоректифікації складається із задач узгодженого вибору управляючих дій в залежності від виробничої ситуації та прямих показників цільових функцій управління БРУ.

Оцінка та визначення таких характеристик здійснюються на основі дослідження часових рядів роботи БРУ та дозволяє здійснити синтез оптимального управління і вказати відповідні оптимальні траєкторії проходження процесів брагоректифікації. Це реалізується шляхом визначення ситуаційно значущих зон (атрактивних зон) завдяки аналізу фазових портретів змінних, які однозначно характеризують стан об'єкта управління (ОУ), що, як приклад, показано на рис. 1.

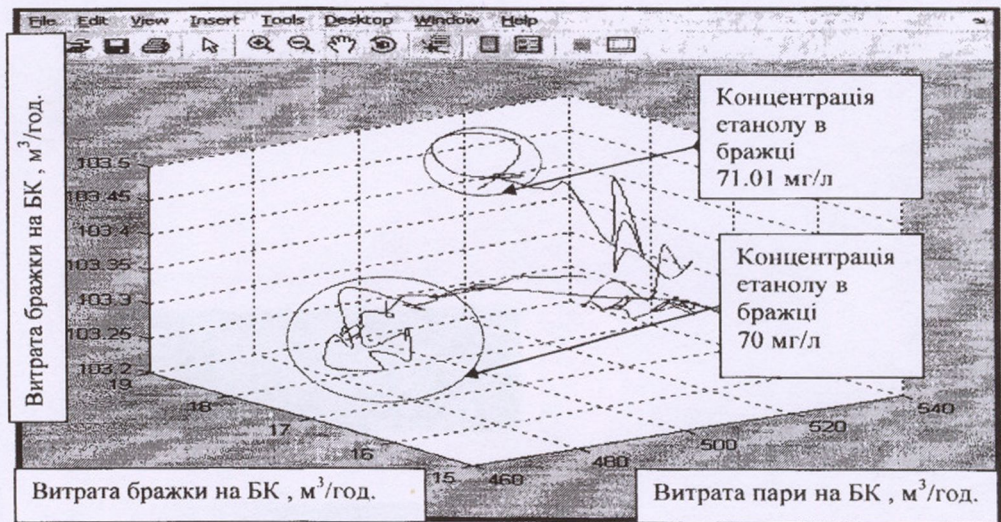


Рис. 1. Залежність температури на нижній тарілці БК від витрати пари на БК та витрати бражки на БК (період – 24 години)

На рис. 1 колами обведені характерні ситуаційно значущі зони в різні періоди роботи БРУ. Кожний період характеризується певним сталим значенням концентрації етанолу в бражці, що, як видно, однозначно визначає атрактивну поведінку ОУ.

На сьогоднішній день одним з найбільш ефективних способів формування алгоритмів управління складними ОУ є сценарний підхід. Сценарій управління БРУ характеризується такими складовими: цілями управління БРУ, факторами впливу на процеси брагоректифікації, операціями, міжопераційними зв'язками.

Для побудови сценаріїв управління БРУ будемо користуватися методологією Юдицького С.А [4], при цьому обов'язково враховуємо особливості нелінійної динаміки процесів брагоректифікації. В основі даного підходу лежить методика побудови А та С - сценарію, в свою чергу в основі А - сценарію лежить макропредставлення послідовності управлінь для досягнення поставлених цілей управління БРУ, а в основі С - сценарію лежить представлення деталізації цієї послідовності. Для реалізації даного підходу необхідно здійснити факторно-цільовий аналіз БРУ. Фактори, що впливають на виконання цілей можна умовно згрупувати, виходячи з тих змінних, які характеризують цей об'єкт.

Виділяємо основні впливові фактори та приписуємо їм „лінгвістичний” зміст (табл. 1) (через велику розмірність наводиться лише назва нечіткого терму без урахування лінгвістичної апроксимації):

Фактори, які впливають на виконання простих цілей управління БРУ визначають режими роботи та можливість оптимізації процесів брагоректифікації. Визначальними факторами впливу на стабільність роботи БРУ є забезпечення управління оптимальних режимів роботи БК та РК враховуючи основні стратегії - управління з „голови” та управління з „хвоста” [2].

Разом з тим, кількість простих цілей та факторів впливу, навіть при невеликій кількості вихідних цілей може бути дуже великою. Виникає задача кількісної оцінки та ранжування для вибору найбільш значущих цілей та найбільш ефективніших факторів.

Таблиця 1

Позначення основних факторів роботи БРУ

Позначення	Зміст
Фактори впливу на протікання процесів брагоректифікації в БК	
Ф1	концентрація спирту в бражці
Ф2	температура бражки
Ф3	тиск низу БК бражної колони
Ф4	тиск верху БК
Ф5	температура низу БК
Ф6	температура верху БК
Ф7	концентрація спирту в бражному дистилаті
Ф8	концентрація спирту в барді
Фактори впливу на протікання процесів брагоректифікації в ЕК	
Ф9	концентрація спирту в елюраті
Ф10	тиск низу ЕК
Ф11	тиск верху ЕК
Ф12	температура низу ЕК
Ф13	температура верху ЕК
Ф14	міцність ефірів ЕК
Ф15	температура в кубі ЕК
Фактори впливу на протікання процесів брагоректифікації в РК	
Ф16	концентрація спирту в дистилаті низька
Ф17	температура на контрольній тарілці дуже низька
Ф18	тиск низу РК
Ф19	тиск верху РК
Ф20	температура низу РК
Ф21	температура верху РК
Ф22	концентрація спирту в лютерній воді низька
Ф23	температура охолодної води на конденсатор БК
Ф24	температура охолодної води на конденсатор ЕК
Ф25	температура охолодної води на конденсатор РК

Сценарій управління БРУ характеризується такими складовими [6]:

- цілями управління БРУ;
- факторами впливу на процеси брагоректифікації;
- операціями;
- між операційними зв'язками.

На наступному етапі розробки сценаріїв формується графічне представлення. Для формування А – сценарію процесу брагоректифікації слід виділити об'єктні потоки.

Якщо розглядати БРУ як складний ОУ ззовні, то можна виділити множину цілей S_i роботи, а також множину факторів впливу на підтримку поставлених цілей управління БРУ. Обрані цілі та фактори є в свою чергу структурованими, тобто мають свою характерну побудову, а саме складаються з своїх підцілей та підфакторів. В процесі аналізу БРУ отримуємо список зовнішніх цілей та факторів, який може бути дуже великим. Кожний елемент, який входить в список має свою вагу та свій пріоритет. Значення кожної ваги

та пріоритету визначається на основі особливостей функціонування ОУ.

Основні елементи, з яких складається сценарій мають такі характеристики:

1) окремі фактори, які входять в сценарій виражені лінгвістичною змінною, що характеризує його печітку належність до певного лінгвістичного поняття („низько“, „нижче норми“, „норма“, „вище норми“, „високо“) або в більш розширеному варіанті;

2) на основі експертного опитування вводяться бальні оцінки пріоритету цілей та експертні імовірності оцінки досягнення цілей при різних значеннях факторів впливу на протікання процесу брагоректифікації.

В ході управління БРУ може виникнути множина ситуацій, які в свою чергу викликають необхідність розгляду та розробки алгоритмів для поточного аналізу ситуацій в реальному масштабі часу.

В ході розробки сценаріїв управління БРУ слід наголосити на понятті операції. Операція сценарію являє собою крок сценарію управління. Для повної побудови сценаріїв на першому етапі необхідно розробити абстрактний А – сценарій, а на наступному структурований С – сценарій.

Для формування А – сценарію процесу брагоректифікації слід виділити об'єктні потоки (табл. 2):

Таблиця 2

Основні об'єктні потоки БРУ

Позначення потоків	Зміст			Ваги потоків
	1	2	3	
P1	P1.1	Витрата бражки низька		0.5
	P1.2	Витрата бражки нижче норми		0.7
	P1.3	Витрата бражки норма		1
	P1.4	Витрата бражки вище норми		0.7
	P1.5	Витрата бражки висока		0.4
P2	P2.1	Витрата пари на БРУ низька		0.3
	P2.2	Витрата пари на БРУ нижче норми		0.5
	P2.3	Витрата пари на БРУ норма		1
	P2.4	Витрата пари на БРУ вище норми		0.7
	P2.5	Витрата пари на БРУ висока		0.5
P3	P3.1	Витрата пари на БК дуже низька		0.3
	P3.2	Витрата пари на БК низька		0.5
	P3.3	Витрата пари на БК нижче норми		0.7
	P3.4	Витрата пари на БК норма		1
	P3.5	Витрата пари на БК вище норми		0.7
	P3.6	Витрата пари на БК висока		0.4
	P3.7	Витрата пари на БК дуже висока		0.2
P4	P4.1	Витрата пари на ЕК дуже низька		0.3
	P4.2	Витрата пари на ЕК низька		0.5
	P4.3	Витрата пари на ЕК нижче норми		0.7
	P4.4	Витрата пари на ЕК норма		1
	P4.5	Витрата пари на ЕК вище норми		0.7
	P4.6	Витрата пари на ЕК висока		0.4
	P4.7	Витрата пари на ЕК дуже висока		0.2

Продовження таблиці 2

1	2	3	4
P5	P5.1	Витрата ЕАФ низька	0.3
	P5.2	Витрата ЕАФ нижче норми	0.7
	P5.3	Витрата ЕАФ норма	1
	P5.4	Витрата ЕАФ вище норми	0.7
	P5.5	Витрата ЕАФ висока	0.3
P6	P6.1	Витрата пари на РК дуже низька	0.3
	P6.2	Витрата пари на РК низька	0.5
	P6.3	Витрата пари на РК нижче норми	0.7
	P6.4	Витрата пари на РК норма	1
	P6.5	Витрата пари на РК вище норми	0.7
	P6.6	Витрата пари на РК висока	0.4
	P6.7	Витрата пари на РК дуже висока	0.2
P7	P7.1	Витрата охолодної на БРУ низька	0.3
	P7.2	Витрата охолодної води на БРУ нижче норми	0.7
	P7.3	Витрата охолодної води на БРУ норма	1
	P7.4	Витрата охолодної води на БРУ вище норми	0.7
	P7.5	Витрата охолодної води на БРУ висока	0.3
P8	P8.1	Витрата охолодної на дефл. БК низька	0.2
	P8.2	Витрата охолодної на дефл. БК нижче норми	0.4
	P8.3	Витрата охолодної на дефл. БК норма	1
	P8.4	Витрата охолодної на дефл. БК вище норми	0.7
	P8.5	Витрата охолодної на дефл. БК висока	0.3
P9	P9.1	Витрата охолодної на дефл. ЕК низька	0.2
	P9.2	Витрата охолодної на дефл. ЕК нижче норми	0.5
	P9.3	Витрата охолодної на дефл. ЕК норма	1
	P9.4	Витрата охолодної на дефл. ЕК вище норми	0.7
	P9.5	Витрата охолодної на дефл. ЕК вище норми	0.5
P10	P10.1	Витрата охолодної на дефл. РК низька	0.3
	P10.2	Витрата охолодної на дефл. РК нижче норми	0.7
	P10.3	Витрата охолодної на дефл. РК норма	1
	P10.4	Витрата охолодної на дефл. РК вище норми	0.7
	P10.5	Витрата охолодної на дефл. РК висока	0.3
P11	P11.1	Відбір спирту ректифікату дуже низький	0.1
	P11.2	Відбір спирту ректифікату низький	0.2
	P11.3	Відбір спирту ректифікату нижче норми	0.4
	P11.4	Відбір спирту ректифікату норма	1
	P11.5	Відбір спирту ректифікату вище норми	0.5
	P11.6	Відбір спирту ректифікату високий	0.3
	P11.7	Відбір спирту ректифікату дуже високий	0.2
P12	P12.1	Відбір непастеризованого спирту низький	0.3
	P12.2	Відбір не пастеризованого спирту нижче норми	0.7
	P12.3	Відбір не пастеризованого спирту норма	1
	P12.4	Відбір не пастеризованого спирту вище норми	0.7
	P12.5	Відбір не пастеризованого спирту високий	0.3

Продовження таблиці 2

11	2	3	4
P13	P13.1	Витрата бражного дистилату дуже низька	0.3
	P13.2	Витрата бражного дистилату низька	0.5
	P13.3	Витрата бражного дистилату нижче норми	0.7
	P13.4	Витрата бражного дистилату норма	1
	P13.5	Витрата бражного дистилату вище норми	0.7
	P13.6	Витрата бражного дистилату вище норми	0.4
	P13.7	Витрата бражного дистилату вище норми	0.2
P14	P14.1	Витрата еспорату дуже низька	0.3
	P14.2	Витрата еспорату низька	0.5
	P14.3	Витрата бражного еспорату нижче норми	0.7
	P14.4	Витрата еспорату норма	1
	P14.5	Витрата еспорату вище норми	0.7
	P14.6	Витрата еспорату вище норми	0.4
	P14.7	Витрата еспорату вище норми	0.2
P15	P15.1	Витрата барди з БК низька	0.3
	P15.2	Витрата барди з БК нижче норми	0.7
	P15.3	Витрата барди з БК норма	1
	P15.4	Витрата барди з БК вище норми	0.7
	P15.5	Витрата барди з БК висока	0.3
P16	P16.1	Витрата лютерної води з РК низька	0.3
	P16.2	Витрата лютерної води з РК нижче норми	0.7
	P16.3	Витрата лютерної води з РК норма	1
	P16.4	Витрата лютерної води з РК вище норми	0.7
	P16.5	Витрата лютерної води з РК висока	0.3
P17	P17.1	Витрата сивушних масел з РК низька	0.3
	P17.2	Витрата сивушних масел з РК нижче норми	0.7
	P17.3	Витрата сивушних масел з РК норма	1
	P17.4	Витрата сивушних масел з РК вище норми	0.7
	P17.5	Витрата сивушних масел з РК висока	0.3

Необхідною передумовою побудови сценаріїв є виділення атрибутів об'єктів функціонування (табл. 3).

Таблиця 3

Атрибути об'єктів

Клас	Позн. атрибута	Зміст атрибута
1	2	3
A1	a1.1	Концентрація спирту в бражці, %об
	a1.2	Температура бражки, °С
	a1.3	Тиск низу БК, м.в.ст.
	a1.4	Тиск верху БК, м.в.ст.
	a1.5	Температура низу БК, °С
	a1.6	Температура верху БК, °С
	a1.7	Температура холодної води, що подається на дефлегматора БК, °С
	a1.8	Температура холодної води, що відводиться з дефлегматора БК, °С
	a1.9	Температура бражки на вході в колону, °С
	a1.10	Концентрація домішок в бражному дистилаті, %об
	a1.11	Міцність бражного дистилату, %об
	a1.12	Температура в кубі колони, °С
	a1.13	Міцність барди, %об

Продовження таблиці 3

1	2	3
A2	a2.1	Тиск верху БК, м.вод.ст
	a2.2	Тиск низу БК, м.вод.ст
	a2.3	Температура низу БК, °С
	a2.4	Температура верху БК, °С
	a2.5	Міцність спурата, % об
	a2.6	Міцність ефірів, % об
	a2.7	Міцність погону з кип'ятильника, % об
	a2.8	Кількість домішок, моль
A3	a3.1	Концентрація спирту в дистилаті РК, %об
	a3.2	Температура в кубі колони, °С
	a3.3	Тиск низу РК, м.в.ст.
	a3.4	Тиск верху РК, м.в.ст.
	a3.5	Температура низу РК, °С
	a3.6	Температура верху РК, °С
	a3.7	Температура охолодної води на дефл. РК, °С
	a3.8	Температура відходячої води з дефл. РК, °С
	a3.9	Домішки в дистилаті, моль

Життєвий цикл об'єктів визначається основними керуючими діями на БРУ, що являють собою зміну завдань регуляторів основних контурів регулювання режимними змінними БРУ, або можливістю безпосереднього управління виконавчими механізмами. Кожна з цих змінних визначається відповідним станом та його змістом - лінгвістичною оцінкою (табл. 4).

Таблиця 4

Позначення основних станів

Клас	Позначення стану	Зміст стану
1	2	3
S1	S1.1	Збільшення подачі пари на БК
	S1.2	Зменшення подачі пари на БК
	S1.3	Збільшення подачі охолод. води на дефл. БК
	S1.4	Зменшення подачі охолод. води на дефл. БК
	S1.5	Збільшення подачі бражки
	S1.6	Зменшення подачі бражки
	S1.7	Збільшення відбору барди
	S1.8	Зменшення відбору барди
	S1.9	Збільшення відбору бражного дистилату
	S1.10	Зменшення відбору бражного дистилату
	S1.11	Підвищення міцності бражки
	S1.12	Зменшення міцності бражки
	S1.13	Підвищення температури бражки
	S1.14	Зменшення температури бражки
	S1.15	Збільшення температури верху БК
	S1.16	Зменшення температури верху БК
	S1.17	Збільшення тиску верху БК
	S1.18	Зменшення тиску верху БК
	S1.19	Збільшення температури низу БК
	S1.20	Зменшення температури низу БК
	S1.21	Збільшення тиску низу БК
	S1.22	Зменшення тиску низу БК

Продовження таблиці 4

1	2	3
S2	S2.1	Збільшення подачі пари на ЕК
	S2.2	Зменшення подачі пари на ЕК
	S2.3	Збільшення подачі охолод. води на дефлегматор ЕК
	S2.4	Зменшення подачі охолод. води на дефлегматор ЕК
	S2.5	Збільшення подачі бражного дистилату
	S2.6	Зменшення подачі бражного дистилату
	S2.7	Збільшення відбору ефіро-альдегідної фракції (ЕАФ)
	S2.8	Зменшення відбору ЕАФ
	S2.9	Збільшення відбору спурату
	S2.10	Зменшення відбору спурату
	S2.11	Підвищення міцності спурату
	S2.12	Зменшення міцності спурату
	S2.13	Підвищення міцності ЕАФ
	S2.14	Зменшення міцності ЕАФ
	S2.15	Збільшення температури верху ЕК
	S2.16	Зменшення температури верху ЕК
	S2.17	Збільшення тиску верху ЕК
	S2.18	Зменшення тиску верху ЕК
	S2.19	Збільшення температури низу ЕК
	S2.20	Зменшення температури низу ЕК
	S2.21	Збільшення тиску низу ЕК
	S2.22	Зменшення тиску низу ЕК
S3	S3.1	Збільшення подачі пари на РК
	S3.2	Зменшення подачі пари на РК
	S3.3	Збільшення подачі охолод. води на дефлегматор РК
	S3.4	Зменшення подачі охолод. води на дефлегматор РК
	S3.5	Збільшення подачі епурату
	S3.6	Зменшення подачі епурату
	S3.7	Збільшення відбору сивушних масел
	S3.8	Зменшення відбору сивушних масел
	S3.9	Збільшення відбору спирту
	S3.10	Зменшення відбору спирту
	S3.11	Підвищення міцності спирту ректифікату
	S3.12	Зменшення міцності спирту ректифікату
	S3.13	Підвищення міцності лютера
	S3.14	Зменшення міцності лютера
	S3.15	Збільшення відбору непастеризованого спирту
	S3.16	Зменшення відбору непастеризованого спирту
	S3.17	Збільшення тиску верху РК
	S3.18	Зменшення тиску верху РК
	S3.19	Збільшення температури низу РК
	S3.20	Зменшення температури низу РК
	S3.21	Збільшення тиску низу РК
	S3.22	Зменшення тиску низу РК
	S3.23	Збільшення температури охолодної води, що подається на дефлегматор
	S3.24	Зменшення температури охолодної води, що подається на дефлегматор

Базою сценарних алгоритмів в описуваній САУ БРУ є список сценаріїв у вигляді фреймів з однаковою структурою, тому основною одиницею бази знань є фрейм. База знань представляється ієрархічною структурою таких фреймів і реалізується на основі ідеології побудови каузальних сценаріїв (КСЦ) [9].

Для даної предметної області пропонується виконувати такі імена структурного елементу - фрейму бази знань:

(КСЦ ім'я):

макросценарій управління БРУ();	}
вектор ознак ситуації ();	
відношення ();	
вектор управління ();	

Теоретичні схеми побудови бази знань, етапи генерування рішень, структури представлення даних знайшли своє застосування в дослідному прототипі

САУ БРУ, створення якої виявилось кінцевим етапом роботи над проектуванням інтелектуальної системи управління БРУ. На цьому етапі (виконання і тестування) здійснюється наповнення бази знань і тестуванням інтелектуальної системи управління БРУ.

4. Висновки

Аналіз фазових траєкторій, що описуються часовими рядами основних змінних БРУ дозволив визначити ситуаційно-значущі зони цього ОУ. В свою чергу факторно-цільовий аналіз процесів брагоректифікації забезпечив вирішення складної задачі декомпозиції формування сценарних алгоритмів багатозв'язного керування процесом брагоректифікації.

Методи побудови сценаріїв управління забезпечують гнучкість у формуванні оптимальних рішень в складних ситуаціях та перехідних режимах функціонування БРУ.

Література

1. Стабников В.Н., Николаев А.П., Мандельштейн М.Л. Ректификация в пищевой промышленности. Теория процесса, машины, интенсификация. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982.- 232 с.
2. Мандельштейн М. Л. Автоматические системы управления технологическим процессом брагоректификации. - М.: Пищевая промышленность, 1975. - 240 с.
3. Мандельштейн М. Л. Математическая модель и статические характеристики ректификационной колонны // Ферментная и спиртовая промышленность. -1969.- №1.- С.11-16.
4. Юдицкий С.А. Целевое моделирование организационных систем // Приборы и системы управления. - 1999. - № 12. - с. 62-66.
5. Буравлев А.И., Доценко Б.И., Казаков И.Е. Управление техническим состоянием динамических систем. — М.: Машиностроение, 1995. — 240с.
6. Конопов Д.А., Косяченко С.А., Кульба В.В. Формирование региональных сценариев развития взаимосвязанных объектов в АСУ ЧС // Автоматика и телемеханика. - 2000. - №8. - С. 173-185.
7. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Пер. с англ.- М.: Мир, 1984. - 264 с.
8. Белоусов А. И., Кирильченко А. А. Использование сетей Петри для синхронизации движения распределенной мобильной системы. — М., 2000. — 23 с.
9. Искусственный интеллект. Применение в интегрированных производственных системах / Под ред. Э. Кьюсиака. — М.: Машиностроение, 1991. — 544 с.