

У статті сформульована задача керування основними технологічними процесами виробництва пива з точки зору сценаріїв оптимізації показників якості, ефективності використання матеріальних та енергетичних ресурсів та продуктивності виробництва. На основі лінгвістичної апроксимації змінних за результатами проведеного експертного опитування створено сценарії керування технологічним комплексом пивзаводу та наведена реалізація А-сценарію управління пивзаводом

Ключові слова: сценарний підхід, оптимізація процесу пивоваріння, мережа Петрі, когнітивне моделювання

В статье сформулирована задача управления основными технологическими процессами производства пива с точки зрения сценариев оптимизации показателей качества, эффективности использования материальных и энергетических ресурсов и производительности производства. На основе лингвистической аппроксимации переменных по результатам проведенного экспертного опроса созданы сценарии управления технологическим комплексом пивзавода и приведена реализация А-сценария управления пивзаводом

Ключевые слова: сценарный подход, оптимизация процесса пивоварения, сеть Петри, когнитивное моделирование

РОЗРОБКА СИСТЕМИ СЦЕНАРНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ПРИГОТУВАННЯ ПИВА

М. С. Романов

Аспірант, асистент*

E-mail: gluk7c5@gmail.com

В. Д. Кишенько

Кандидат технічних наук, професор*

E-mail: kvd@gmail.com

А. П. Ладанюк

Доктор технічних наук, професор*

E-mail: ladaniuk@ukr.net

*Кафедра автоматизації процесів управління
Національний університет харчових технологій
вул. Володимирська, 68, м. Київ, Україна, 01601

1. Вступ

Керування таким складним об'єктом, яким є пивзавод, можливе при умові врахування таких основних його особливостей, як високий рівень невизначеності,

яка проявляється в оцінці технологічних параметрів, особливо показників якості продукції та напівфабрикатів; складність поведінки через явища переміжності, тобто в чергуванні детермінованих технологічних режимів із стохастичними та хаотичними; наявності

багатьох цілей керування, які мають динамічну пріоритетність, що залежать від виробничих ситуацій, та оцінка управління, що здійснюється в нечіткій формі.

Характерною особливістю процесу приготування пива є велика ступінь невизначеності, що насамперед помітно при аналізі якісних показників, так як значення багатьох з них вимірюються за допомогою органолептичних методів [1, 2]. Саме тому для створення ефективних систем керування потрібно враховувати цю інформацію та використовувати інтелектуальні засоби керування. Простота та потужність нечіткої логіки, як методології вирішення проблемних ситуацій, гарантує її успішне застосування у вбудованих системах контролю та аналізу інформації, при цьому відбувається залучення інтуїції та досвіду оператора. Ефективним механізмом керування в системах з великим ступенем невизначеності є застосування сценарного підходу [3].

Враховуючи такі особливості об'єкта, ефективне керування ним можливе завдяки застосуванню методів сценарного керування [4]. Такий підхід дозволяє більш ефективно відслідковувати зміну показників якості, та запобігати негативним змінам цих показників, що веде до збільшення ефективності використання матеріальних та енергетичних ресурсів та продуктивності виробництва в цілому.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Для сучасних технологічних комплексів, до яких відноситься технологічний комплекс пивзаводу, притаманний зв'язок окремих підпроцесів та взаємний вплив технологічних процесів [2].

Методи оптимізації таких систем, що існують, базуються на дослідженні окремих технологічних процесів [5], не враховуючи в повній мірі взаємний вплив процесів та явища переміжності [6]. Запропоновані способи формальної побудови внутрішньосистемних операцій полягають в тому, що операційне числення в сценарному просторі будується як ієрархія операцій, що застосовуються до елементів, з яких складається об'єкт керування – сценарій, що розглядається як формальна система із заданими принципами побудови [7]. Цей підхід відображає формальну варіабельність отримання можливих сценаріїв при зміні вихідних елементів, що синтезують його як системний об'єкт (субстрат, структура і концепт) [8]. Відповідно до такої методології можемо розділити операції на «Елементарні», базисні операції, що застосовуються до вихідних модельних об'єктів, і «складні» операції, що застосовуються до синтезованих модельних об'єктів [9]. Математичний апарат теорії графів і теорії відносин є ефективним інструментом для аналізу проблем варіантності і активно використовується для побудови сценаріїв [10]. Апарат теорії графів застосовується, як правило, на перших етапах дослідження для розробки його загальних основ. Прикладом може служити побудова дерев подій, розробка проблемних мереж, аналіз структури моделей. Інструментарій теорії графів і теорії відносин зручний також тим, що він безпосередньо може бути представлений за допомогою операцій над матрицями та конвертований у вигляд обчислювальних алгоритмів і схем [11].

3. Мета і завдання дослідження

Метою роботи є дослідження пивзаводу як складного об'єкта управління, виділення множини цілей роботи, множини факторів впливу на підтримку поставлених цілей управління виробництвом, а також формування сценаріїв керування технологічним комплексом пивзаводу.

Для досягнення поставленої мети потрібно було вирішити наступні задачі:

- провести формалізацію змінних на основі лінгвістичної апроксимації за результатами проведеного раніше експертного опитування;
- визначити фактори, які безпосередньо чи опосередковано впливають на режими роботи пивоварного виробництва;
- побудувати сценарій керування технологічним комплексом пивзаводу на основі об'єктних потоків, атрибутів об'єкта та стани життєвого циклу об'єкта.

4. Методи дослідження технологічного комплексу пивзаводу та створення сценаріїв для імітаційного моделювання перебігу процесів

Сценарний підхід є достатньо поширеним методом аналізу, що дозволяє адекватно формулювати думки фахівців щодо прогнозування перебігу подій у складних системах шляхом проведення багатоваріантного ситуаційного аналізу поведінки об'єкта управління. Кожен сценарій зв'язує параметри об'єкта, із зміною зовнішніх умов.

Сценарій має такі характеристики як цілі, фактори впливу, операції, міжопераційні зв'язки. Операція як крок сценарію по різному визначається в абстрактному (А) та структурному (С) сценаріях. В першому випадку операція має справу з неструктурованими об'єктами, тобто такими, в яких не врахована внутрішня структура, спосіб внутрішнього перетворення не розкривається, тобто операція трактується як „чорний ящик”. С-сценарій виходить з того, що внутрішня структура об'єктів є визначеною та описується наборами властивостей-атрибутів. Атрибути приймають значення з деякої області, ці значення можуть змінюватись внаслідок застосування визначених правил. Операція С-сценарію являє собою блок, в якому розміщені об'єкти з однаковою набором атрибутів, трактується як клас, екземпляри якого – об'єкти „живуть в деякому просторі” [8].

С-сценарій являє собою деталізацію А - сценарію з урахуванням еволюції об'єкта при виконанні операцій та передачі об'єктів від одних операцій до інших. Еволюція об'єктів при виконанні операцій проявляється у зміні значень їх ознак (атрибутів), при переходах виникають „мутації” – виникнення нових ознак і втрата ознак, що стали непотрібними. Кожен клас С-сценарію працює автономно. Його взаємодія з „зовнішнім світом”, тобто з іншими класами і зовнішнім середовищем полягає у внесенні у вхідні черги нових об'єктів та видалення із вихідних черг „відпрацьованих” об'єктів [9].

Для реалізації сценарних алгоритмів управління процесами виробництва пива необхідною є формалізація змінних. Для цього була вирішена задача лінгвістичної апроксимації.

Далі на другому етапі формуємо А - сценарій системи, для якого визначені об'єктні потоки. Для відображення динаміки складної системи використовується апарат мереж Петрі, який дозволяє виявляти помилки абстрактного сценарію системи [10–12].

Перевірка коректності сценарію системи може бути організована як глобальна чи локальна процедура, тобто створюється повний ієрархічний опис сценарію і лише потім відбувається аналітичне чи/або імітаційне дослідження повного опису або виконується послідовне покрокове моделювання шляхом побудови та аналізу ланцюжка сценарних модулів як мереж Петрі. Мережа Петрі – дискретна динамічна модель з наглядним графічним представленням. Одна з основних переваг апарату мереж Петрі полягає у тому, що вони можуть бути представлені як в графічній формі (що забезпечує наочність), так і в аналітичній (що дозволяє автоматизувати процес їх аналізу). Мережа Петрі є дводольний орієнтований граф, множина вершин якого розбивається на дві підмножини і не існує дуги, що сполучає дві вершини з однієї підмножини. Отже, мережа Петрі – це набір $N=(T, P, A)$, $T \cap P = \emptyset$, де $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ – підмножина вершин, що називаються переходами; $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ – підмножина вершин, що називаються місцями; $A \subseteq (T \times P) \cup (P \times T)$ – множина орієнтованих дуг.

Вершини позиції позначаються колом, вершини-переходи – рисками. Із змістовної точки зору, переходи відповідають подіям, які властиві досліджуваній системі, а позиції – умовам їх виникнення. Таким чином, сукупність переходів, позицій і дуг дозволяє описати причинно-наслідкові зв'язки, властиві системі, але в статичі. Щоб мережа Петрі «запрацювала», вводять ще один вид об'єктів мережі – так звані фішки, або мітки позицій. Перехід вважається активним, якщо в кожній його вхідній позиції є хоча б одна фішка.

Моделювання мережі Петрі відбувається імітаційним чи аналітичним способом. Імітаційне моделювання полягає у визначенні послідовності станів мережі, що відповідають тій чи іншій послідовності спрацювання переходів. При аналітичному моделюванні ви-

значаються її властивості та застосовується метод дерева досягнення цілей. Мережа Петрі, отримана на основі А-сценарію, дозволяє моделювати рух об'єктних потоків в системі, але без врахування досягнення цілей та факторів впливу зовнішнього середовища.

Після цього А-сценарій перетворюють в С-сценарій, тобто структурують об'єкти; вводять класи об'єктів та переходи між ними, формують описи життєвих циклів всередині кожного класу; визначається набір інтегральних показників функціонування системи (значення цих показників встановлюються в ході імітаційного моделювання С-сценарію); задаються вирази залежності ступеню досягнення цілей від інтегральних показників та факторів впливу [12].

5. Лінгвістична апроксимація змінних та побудова сценарію керування технологічним комплексом пивзаводу

Для реалізації сценаріїв управління процесами пивоварного виробництва була зроблена формалізація змінних на основі лінгвістичної апроксимації, яка будувалась на базі експертної інформації, що отримана в результаті опитування експертів. На рис. 1 наведено результат лінгвістичної апроксимації змінної „прозорість сула”, значення функції належності наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Лінгвістична апроксимація

Позначення факторів	Ступінь прозорості	Параметри функцій належності
Ф2.1	Дуже прозоре (1)	[0 0, 0.0753, 0.3112]
Ф2.2	Прозоре (2)	[0.2304, 0.458, 0.543, 0.671]
Ф2.3	Середня прозорість (3)	[0.5969, 0.9031, 1.097, 1.405]
Ф2.4	Мутне (4)	[1.331, 1.462, 1.539, 1.76]
Ф2.5	Дуже мутне (5)	[1.698, 1.932, 2 2]

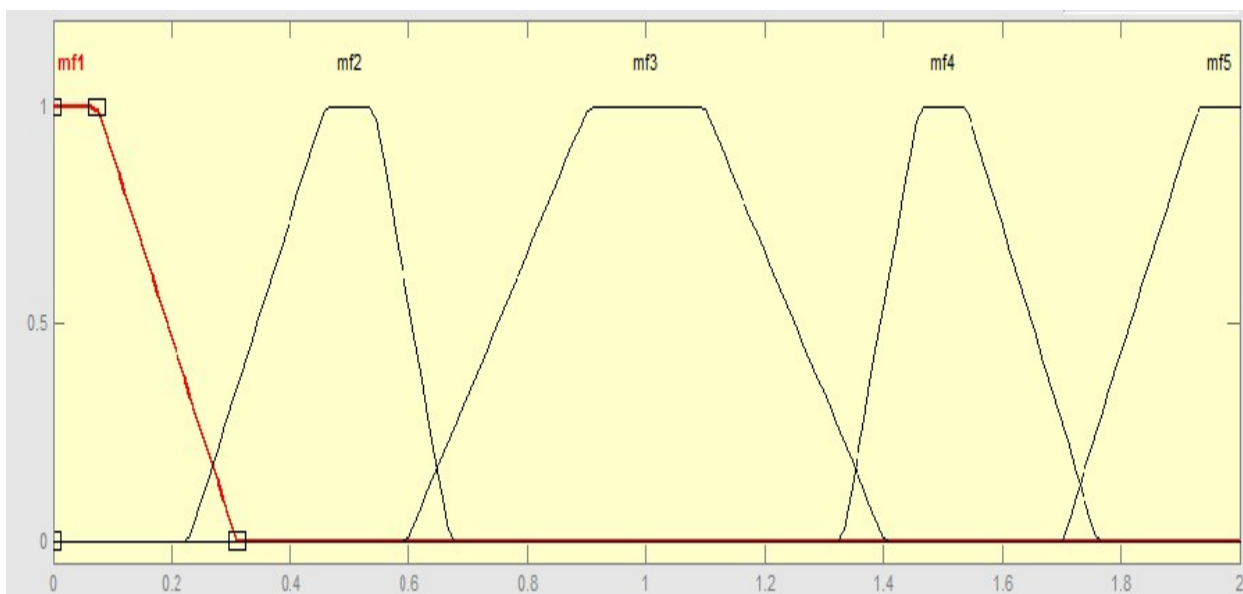


Рис. 1. Лінгвістична апроксимація змінної „прозорість сула”

Для пивоварного виробництва виділяємо фактори, які безпосередньо чи опосередковано впливають на режими роботи та представляємо в табл. 2.

Таблиця 2

Фактори, що впливають на процеси пивоваріння

Позначення	Зміст
Ф1	Фізико-хімічні показники води: - жорсткість; - лужність; - окислюваність; - показник лужності.
Ф2	Солод свіжопророслий: - вологість; - ферментативна активність; - екстрактивність.
Ф3	Товарний солод: - вологість; - смітна домішка; - масова доля екстракту; - масова доля білкових речовин; - число кольбаха(розчинний азот до загального вмісту азотистих речовин); - тривалість оцукрення.
Ф4	Лабораторне сусло: - колірність; - прозорість; - кислотність.
Ф5	Хміль: - колір; - вологість; - вміст альфа-кислот; - вміст ароматичних і дубильних речовин.
Ф6	Якість помелу зернопродуктів
Ф7	Ступінь подрібнення зернопродуктів
Ф8	Параметри затирання зернопродуктів
Ф9	Ступінь(якість) фільтрації сусла
Ф10	Ступінь освітлення сусла
Ф11	Прозорість сусла
Ф12	Якість пропagaції дріжджів
Ф13	Ступінь зброджування
Ф14	Ступінь (якість) фільтрації пива

Сформуємо А-сценарій (рис. 2), об'єктні потоки в цьому сценарії подамо в наступній таблиці (табл. 3).

Таблиця 3

Основні об'єктні потоки

Позначення	Зміст
P1	Витрата води
P2	Витрата солоду
P3	Витрата несолоджених матеріалів (зернових)
P4	Витрата інших несолоджених матеріалів (цукор, патока, ЯСЕ)
P5	Витрата затору
P6	Витрата сусла
P7	Витрата дробини
P8	Витрата промивної води
P9	Витрата охмеленого сусла
P10	Витрата білкового бруху
P11	Витрата освітленого сусла
P12	Витрата хмелепродуктів
P13	Витрата чистої культури дріжджів
P14	Витрата дріжджів
P15	Витрата нефільтрованого пива
P16	Витрата CO ₂
P17	Витрата стерильного повітря
P18	Витрата надлишкових дріжджів
P19	Витрата холодоагента
P20	Витрата пари
P21	Витрата кізельгуру
P22	Витрата готового пива

Необхідною передумовою побудови сценарію управління є виділення атрибутів об'єкту (табл. 4) та текстовий опис станів життєвого циклу об'єкту (табл. 5).

Таблиця 4

Атрибути об'єкта С-сценарію

Клас	Позначення атрибута	Зміст атрибута
A1	a1.1	Ступінь подрібнення солоду
	a1.2	Активність ферментів
	a1.3	Ступінь розчинення солоду
	a1.4	Вологість солоду
A2	a2.1	Час заливання сит водою
	a2.2	Час перекачування затору
	a2.3	Час повернення мутного сусла
	a2.4	Час фільтрування затору
	a2.5	Час промивки дробини
	a2.6	Час вивантаження дробини
A3	a3.1	Температура затирання солоду
	a3.2	Вибір способу затирання
	a3.3	pH затору
	a3.4	Витримка пауз затирання
	a3.5	Концентрація затору
	a3.6	Співвідношення солоду до несолоджених продуктів
	a3.7	Кількість екзогенних ферментних препаратів
	a3.8	Час оцукрення
	a3.9	Швидкість фільтрації
	a3.10	Мутність сусла
	a3.11	Концентрація сусла
	a3.12	Кислотність сусла
	a3.13	Тривалість кип'ятіння сусла з хмелем
	a3.14	Початкова концентрація сусла
	a3.15	
A4	a4.1	Тривалість подачі охмеленого сусла
	a4.2	Тривалість освітлення
	a4.3	Подача холодоагента
	a4.4	Тривалість охолодження
A5	a5.1	Стерилізація сусла
	a5.2	Охолодження сусла
	a5.3	Подача чистої культури дріжджів
	a5.4	Ступінь накопичення біомаси дріжджів
A6	a6.1	Якість дріжджів
	a6.2	Концентрація дріжджових клітин
	a6.3	Ступінь зброджування
	a6.4	Температура бродіння
	a6.5	Час бродіння
	a6.6	Вміст діацетилу
A7	a7.1	Мутність пива
	a7.2	Концентрація CO ₂
	a7.3	Органолептичні показники
	a7.4	Фізико-хімічні показники

Одним із методів аналізу сценаріїв є моделювання за допомогою апарату мереж Петрі. Але класичний апарат мереж Петрі не вільний від недоліків, що обмежують можливості рішення практичних завдань [13]. Проблема може бути вирішена шляхом накладення деяких обмежень на клас розв'язуваних завдань, що дозволяє виділити із всієї множини мереж Петрі певний підклас із додатковими властивостями.

Таблиця 5

Стани життєвого циклу об'єкту

Клас	Позначення стану	Зміст стану
A1	S1.1 S1.2 S1.3 S1.4 S1.5 S1.6	Збільшити оберти вальців дробарки Зменшити оберти вальців дробарки Збільшити подачу води в дробарку Зменшити подачу води в дробарку Збільшити зазори вальців дробарки Зменшити зазори вальців дробарки
A2	S2.1 S2.2 S2.3 S2.4 S2.5 S2.6	Збільшити подачу води Зменшити подачу води Збільшити відведення прозорого суслу Зменшити відведення прозорого суслу Збільшити подачу мутного суслу Зменшити подачу мутного суслу
A3	S3.1 S3.2 S3.3 S3.4 S3.5 S3.6 S3.7 S3.8 S3.9 S3.10 S3.11 S3.12	Збільшити подачу пари в заторному котлі Зменшити подачу пари в заторному котлі Збільшити час паузи затиранні Зменшити час паузи затирання Збільшити рН затору Зменшити рН затору Збільшити подачу ферментних препаратів Зменшити подачу ферментних препаратів Збільшити час фільтрації суслу Зменшити час фільтрації суслу Збільшити подачу пари в сусліварильний котел Зменшити подачу пари в сусліварильний котел
A4	S4.1 S4.2 S4.3 S4.4 S4.5	Збільшити подачу охмеленого суслу Зменшити подачу охмеленого суслу Відведення білкового бруху Збільшити відведення освітленого суслу Зменшити відведення освітленого суслу
A5	S5.1 S5.2 S5.3 S5.4 S5.5 S5.6 S5.7	Збільшити подачу пари Зменшити подачу пари Збільшити подачу стерильного повітря Зменшити подачу стерильного повітря Збільшити подачу холодоагенту Зменшити подачу холодоагенту Подача чистої культури дріжджів
A6	S6.1 S6.2 S6.3 S6.4	Збільшити подачу холодоагента Зменшити подачу холодоагента Шпунтування Подача дріжджів
A7	S7.1 S7.2 S7.3 S7.4 S7.5 S7.6	Фільтрування пива Подача пива на форфаси Карбонізація пива Освітлення пива (Подача кізельгуру) Пастеризація пива Подача на розлив

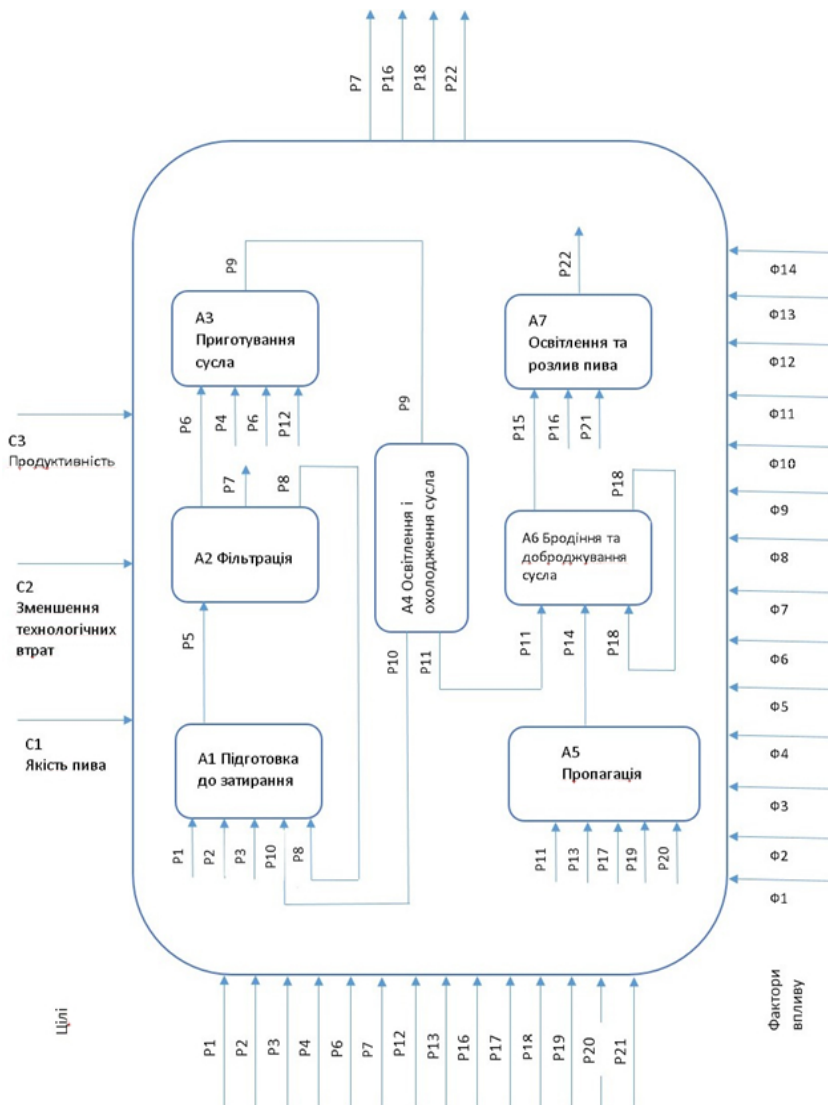


Рис. 2. А-сценарій управління технологічними процесами виробництва пива

6. Можливості подальшого когнітивного моделювання з використанням апарату мереж Петрі

Провівши факторно-цільовий аналіз з урахуванням думки експертів проранжувавши атомарні зовнішні цілі і фактори та вибравши із них найбільш значущі, розробили мережеву модель Петрі, яка відображає варіанти способів досягнення цілей. Апарат мереж Петрі дозволяє адекватно відобразити динаміку складних систем, в тому числі виконання паралельних процесів.

Одним із методів аналізу сценаріїв є моделювання за допомогою апарату мереж Петрі. Але класичний апарат мереж Петрі не вільний від недоліків, що обмежують можливості рішення практичних завдань [14]. Проблема може бути вирішена шляхом накладення деяких обмежень на клас розв'язуваних завдань, що дозволяє виділити із всієї множини мереж Петрі певний підклас із додатковими властивостями.

Систему *A* назвемо керованою системою із двійковою логікою, якщо система *A* має множину компонентів $P = \{p_i\}$, $i = 1, n$ з різними характеристиками; кожний з компонентів перебуває в одному із двох станів: активний або не активний; на множині компонентів $P = \{p_i\}$, $i = 1, n$ визначена множина функцій переходу від одного стану до іншому, кожна з яких залежить від деякої системної події (стану життєвого циклу сценарію управління). Якщо серед функцій переходу є

залежні від інтерактивного впливу, систему A назвемо інтерактивно керованою системою з двійковою логікою.

При формуванні сценаріїв управління [15, 16] виробництвом пива станом або *сценарієм* S_i системи A назвемо набір активних компонентів

$$S_i = \{p_i^{k1}, p_i^{k2}, \dots, p_i^{kr}\} \subseteq P, \quad (1)$$

де, для $\forall p_i^k \in P$, $p_i^k \in S_i$, якщо стан p_i^k : активний перехід від стану до стану здійснюється стрибком, за допомогою активізації іншого набору життєвих станів.

Процес функціонування подібної системи є недетермінованим, оскільки заздалегідь неможливо з повною достовірністю прогнозувати який з наборів може бути активізований в i -й момент часу. Цей процес може бути формалізований у вигляді концептуальної моделі, побудованої на базі теорії мереж Петрі. В основі цієї моделі лежить твердження про те, що логічна структура певної системи є обмежена мережа Петрі $N = \{P, T, F, H, M_0\}$, де $P = \{p_i\}$,

$i = \overline{1, n}$ – множина позицій; $T = \{t_j\}$, $j = \overline{1, m}$ – множина переходів, причому $P \cap T = \emptyset$; F_i і H – відображення $F: P \rightarrow T$; $H: T \rightarrow P$, що задають матрицями інцидентності $F: P \times T \{0, 1\} \rightarrow \{0, 1\}$ й $H: T \times P \{0, 1\} \rightarrow \{0, 1\}$, причому $F(p, t) = 1$, якщо перехід t інцидентний позиції p , $H(t, p) = 1$, якщо позиція p інцидентна переходу t ; M_0 , де $P \{0, 1\} \rightarrow \{0, 1\}$ – початкове маркування або розмітка.

У рамках даної моделі представлення сценаріїв множина компонентів системи є множина позицій P ; T -множина всіх можливих переходів від одного стану системи до іншого [17, 18].

7. Висновки

Була проведена лінгвістична апроксимація основних змінних технологічних процесів виробни-

цтва пива та формалізація змінних на прикладі змінної “прозорість сула”, визначені фактори, які безпосередньо чи опосередковано впливають на режими роботи пивоварного виробництва. Такими факторами є: фізико-хімічні показники води, якісні показники свіжопорослого солоду, якісні показники товарного солоду, показники лабораторного сула, якість хмелю, якість помелу зернопродуктів, ступінь подрібнення зернопродуктів, параметри застирання зернопродуктів, ступінь (якість) фільтрації сула, ступінь освітлення сула, прозорість сула, якість пропагації дріжджів, ступінь зброджування, ступінь (якість) фільтрації пива.

На основі цих даних побудований сценарій управління технологічним комплексом виробництва пива. Суть цього сценарію полягає в наступному: технологічний комплекс описується за допомогою A -сценарію на основі об'єктних потоків, враховуючи всі фактори впливу та цілі, яких необхідно досягти. Це забезпечує виявлення зв'язків між технологічними елементами, які важко прослідкувати, та їх вплив на ситуації, що виникають у процесі функціонування.

Також була здійснена постановка та розв'язання задачі мережевої оптимізації процесів приготування пива. Зокрема запропоновано вирішувати задачі мережевої оптимізації наступним чином: вирішувати задачу мережевої оптимізації процесів приготування пива на основі апарату мереж Петрі, наклавши певні обмеження на клас розв'язуваних завдань, що дозволило виділити із всієї множини мереж Петрі певний підклас із необхідними властивостями.

В подальшому отримані результати планується використати для побудови сценаріїв керування технологічними процесами пивоварного виробництва для створення системи підтримки прийняття рішень, що дозволить підвищити якість готового продукту та зменшити матеріальні та енергетичні втрати.

Література

1. Кунце, В. Технология солода и пива [Текст] / В. Кунце, Г. Мит; пер. с нем. – СПб : Изд-во «Профессия», 2001. – 912 с.
2. Домарецький, В. А. Технологія екстрактів, концентратів та напоїв із рослинної сировини [Текст] : підручник / В. А. Домарецький, В. Л. Прибильський, М. Г. Михайлов. – К.: Вид-во «Нова Книга», 2005. – 408 с.
3. Кульба, В. В. Методы формирования сценариев развития социально-экономических систем [Текст] / В. В. Кульба, Д. А. Кононов, С. А. Косяченко, А. Н. Шубин. – М.: Изд-во «Синтег», 2004. – 296 с.
4. Bamforth, C. W. Brewing. New technologies [Text] / C. W. Bamforth // Phys. Rev. – 2006. – P. 484.
5. Стеценко, Д. О. Розробка інтелектуальних алгоритмів керування брагоректифікаційною установкою [Текст] / Д. О. Стеценко // Технологічний аудит і резерви виробництва. – 2013. – Т. 6, № 1 (14). – С. 51–54. – Режим доступу: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/19551/17224>
6. Кулинич, А. А. Методология когнитивного моделирования сложных плохо определенных ситуаций [Текст] / А. А. Кулинич. – Избранные труды второй международной конференции по проблемам управления. – М.: ИПУ РАН, 2003. – С. 219–226.
7. Толстова, Ю. Н. Основы многомерного шкалирования [Текст] / Ю. Н. Толстова. – М.: Изд-во «КДУ», 2006. – 160 с.
8. Kulba, V. V. Scenario Methodology for Investigation of Socioeconomic Systems [Text] / V. V. Kulba, D. A. Kononov, S. A. Kosyachenko, O. A. Zaikin // Production System Design, Supply Chain Management and Logistics. Proceedings of the 9th International Multi-Conference Advanced Computer Systems ACS 2002. – Midzydroje, Poland, 2002. – P. 134–138.
9. Rasmussen, G. Real-time expert system a real gold mine [Electronic resource] / G. Rasmussen, M. Superintendent. – Available at: <http://www.controlglobal.com/articles/2005/412.html>
10. Kononov, D. A. Information management in socio-economic systems: ethical aspects [Text] / D. A. Kononov, V. V. Kulba, A. N. Shubin // IFAC Multitrack Conference on Advanced Control Strategies for Social and Economic Systems ACS 05. – Prague, 2005. – paper ID 3424. doi: 10.3182/20050703-6-cz-1902.02312
11. Кулинич, А. А. Система моделирования плохо определенных нестационарных ситуаций [Текст] / А. А. Кулинич // Труды второй международной конференции «Когнитивный анализ и управление развитием ситуации». – М.: ИПУ РАН. – 2002. – С. 44–50.

12. Cuny, J. E. Graph grammar based specification of interconnection structures for massively parallel computation [Text] / J. Cuny, H. Ehrig, M. Nagl, G. Rozenberg, A. Rosenfeld // Graph Grammars and their Application to Computer Science, LNCS 291. – Springer-Verlag, 1987. – P. 73–85. doi: 10.1007/3-540-18771-5_46
13. Casti, J. Connectivity, complexity and catastrophe in large-scale systems [Text] / J. Casti. – «Wiley», New York, 1979. – 237 p.
14. Васильев, С. Н. Динамические модели экономического регионального управления природоохранной деятельностью [Текст] / С. Н. Васильев, А. И. Москаленко // Труды международной конференции «Проблемы управления в сложных системах». – Самара, 1999. – С. 309–344.
15. Юдицкий, С. А. Технология выбора целей при проектировании бизнес систем [Текст] / С. А. Юдицкий, П. Н. Владиславлев // Приборы и системы управления. – 2002. – № 12. – с. 60–66.
16. Юдицкий, С. А. Сценарный подход к моделированию поведения бизнес-систем [Текст] / С. А. Юдицкий. – М. : Изд-во «Синтег», 2001. – 108 с.
17. Питерсон, Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем [Текст] / Дж. Питерсон; пер. с англ. – М. : Изд-во «Мир», 1984. – 264 с.
18. Кононов, Д. А. Построение модели возникновения, развития и устранения чрезвычайной ситуации с использованием аппаратов знаковых графов и сетей Петри [Текст] / Д. А. Кононов, С. А. Косяченко, Ю. А. Черепов // Проблемы управления безопасностью сложных систем. Труды XIV Международной конференции. – М. : ИПУ РАН, 2006. – С. 362–364.