УДК 681.3:664.1
DOI: 10.15587/2312-8372.2015.41453

Романов М. С.,
Кишенько В. Д.,
Ладанюк А. П.

ФАКТОРНО-ЦІЛЬОВИЙ АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ БАГАТОЦІЛЬОВОГО УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ ПИВЗАВОДУ

Роботу присвячено дослідженню питання оптимізації основних технологічних процесів виробництва пива. Були використані методи факторного аналізу та когнітивного моделювання. На основі проведеного експертного опитування, за допомогою метода багатомірного шкалування було здійснено факторно-цільовий аналіз функціонування системи для подальшої розробки системи сценарного управління технологічним комплексом пивзаводу. Наведено причинно-наслідкову та факторно-цільову діаграми для процесу приготування пива.

Ключові слова: *оптимізація виробництва пива, факторний аналіз, ситуаційне змінювання, діаграма Ісікави.*

1. Вступ

Ефективне керування таким складним об'єктом як пивзавод можливе при умові врахування всіх його особливостей: високий рівень невизначеності, яка проявляється в оцінці технологічних параметрів, особливо показників якості продукції та напівфабрикатів, складність поведінки через явища переміжності, тобто в чергуванні

 © Романов М. С., Кишенько В. Д., Ладанюк А. П.

детермінованих технологічних режимів із стохастичними та хаотичними, наявності багатьох цілей керування, які мають динамічну пріоритетність, що залежить від виробничих ситуацій, та оцінка деяких критеріїв управління, що здійснюється в нечіткій формі.

Також однією з найважливіших проблем розвитку пивобезалкогольної галузі в наш час є підвищення якості продукції, що випускається, її маркетингової конкурентоспроможності, в першу чергу зниження собівартості й покращення асортименту. В сучасних економічних умовах цього можна досягти шляхом розробки і впровадження способів виробництва, спрямованих на скорочення тривалості основних виробничих стадій й покращення якості напоїв без значних витрат матеріальних і енергетичних ресурсів. Для цього необхідний ретельний аналіз об'єкта з використанням сучасних методів, що дозволяють врахувати особливості його структури та поведінки [1–5].

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Сучасні технологічні комплекси характеризуються зв'язком окремих підпроцесів та взаємним впливом технологічних процесів один на одного [2].

Підвищення ефективності та якості технологічних процесів вимагає застосування сучасних методів і систем керування, якісно нових підходів до проектування таких процесів спільно із засобами автоматизації. Існують методи оптимізації подібних систем, але вони базуються на дослідженні окремих технологічних процесів, не враховуючи взаємний вплив процесів [6]. Це обумовлюється насамперед тим, що параметри окремих процесів при їхньому функціонуванні можуть коригуватися під впливом збурень або в результаті зміни технологічних параметрів, що опосередковано впливає на перебіг інших процесів, з якими вони пов'язані матеріальними та енергетичними потоками [7].

Прийняття рішень по оптимізації та підвищенню ефективності таких процесів є складним при заданих технологічних обмеженнях на змінні стану об'єкта керування для всього діапазону зміни параметрів взаємодіючих підсистем [8]. Спростити експлуатацію і підвищити ефективність керування цими системами можна за рахунок оптимального вибору структури і параметрів технологічного процесу, що потребує ретельного аналізу взаємних впливів окремих підсистем технологічного комплексу. Для цього було здійснено факторно-цільовий аналіз процесу приготування пива для подальшої розробки системи сценарного управління технологічним комплексом пивзаводу як єдиної системи.

3. Об'єкт, мета та задачі дослідження

Об'єкт дослідження — процес приготування пива. Технологічний комплекс пивзаводу розглянуто як складний об'єкт управління, виділена множина цілей роботи, а також множина факторів впливу на підтримку поставлених цілей управління виробництвом. В процесі аналізу 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 факторно-цільового аналізу.

Мета дослідження — визначити множину цілей роботи та множину факторів впливу, що можуть впливати на перебіг виробничого процесу та на кінцевий результат, тобто готову продукцію.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. На основі результатів проведеного експертного опитування, шляхом багатомірного шкалування визначити цілі та фактори впливу на технологічний процес [9].
2. Проранжувати цілі та фактори, щоб відібрати найбільш вагомі з них, тобто провести факторно-цільовий аналіз. Обрані цілі та фактори є в свою чергу структурованими, тобто мають свою характерну будову, а саме складаються з своїх підцілей та підфакторів. Враховуючи це, створити причино-наслідкову діаграму, для відображення більш глибоких зв'язків та зв'язків, що важко визначити [10].
3. Визначити ступінь впливу факторів один на одного та на окремі технологічні процеси.

4. Матеріали та методи дослідження технологічних процесів виробництва пива на основі когнітивного моделювання

Задача підтримки прийняття рішень у когнітивному моделюванні визначається як задача розробки стратегії для переходу ситуації з поточного стану в цільовий стан на основі суб'єктивної моделі ситуації, що описує відомі аналітику, закони і закономірності. Ця суб'єктивна модель фіксується у вигляді орієнтованого знакового графа — когнітивної карти. Вершини орграфа — це чинники ситуації, а дуги — причинно-наслідкові відношення між ними.

При моделюванні та аналізі поведінки сторін проекту на основі використання когнітивних карт можна виділити такі етапи.

Когнітивна структуризація — на якому проводиться аналіз проблемної ситуації, виділяються зацікавлені сторони, що впливають на ситуацію, та визначається структура взаємозв'язків між ними.

Структурний аналіз когнітивної карти — проводиться аналіз напрямків та сили взаємного впливу зацікавлених сторін, вибираються цільові та управляючі сторони, аналізуються цілі на непротиріччя та узгодженість.

Сценарне моделювання ситуації — на даному етапі проводиться моделювання розвитку ситуації. Моделювання може проводитися як в режимі саморозвитку, так і в режимі керованого розвитку.

Оцінка результатів моделювання — на цьому етапі проводиться оцінка ефективності управлінських рішень.

Моніторинг ситуації — на останньому етапі проводиться моніторинг ситуації, що вивчається. У разі зміни ситуації проводиться зміна когнітивної карти даної ситуації.

Комп'ютерне моделювання опирається на методологію, технологію та алгоритмізацію розробки комп'ютерних моделей з врахуванням показників інформаційної невизначеності; організацію проведення комп'ютерного експерименту з моделлю та представлення результатів; розвиток інтелектуального моделювання, що включає діагностику стану та прогнозування еволюції систем і комп'ютерного аналізу причинно-наслідкових зв'язків на мікро- та макрорівнях; відстеження динаміки

функціонування основних елементів технологічних систем, що дозволяє приймати оптимальні рішення в режимі оперативного управління.

Когнітивна карта відображає лише наявність впливу факторів один на інший [11]. В ній не відображається детальний характер впливу, динаміка зміни впливу в залежності від ситуацій, часова зміна самих факторів. Враховуючи це, необхідно перейти на інший рівень структуризації інформації, відображеної в когнітивній карті, тобто до когнітивної моделі.

Для опису когнітивної моделі ефективно використовуються орграфи [7]. Зміна факторів відбувається покроково до визначення реакції системи, після чого, за допомогою багатокритеріального вибору, визначається множина позитивних сценаріїв та проводиться їх ранжування. Когнітивний аналіз і моделювання дозволяють дослідити проблему, врахувати зміну вхідних факторів та визначити реакцію системи.

Побудова когнітивної моделі проблемної ситуації базується на методиці когнітивного аналізу складних ситуацій. Етапом, що є наступним після збору і систематизації існуючої статистичної і якісної інформації, передбачено виділення основних характеристичних ознак досліджуваного процесу і взаємозв'язків, а також виділення факторів, на які реально можуть впливати суб'єкти ситуації [12].

Для цього необхідно розбити процес пивоваріння на ситуаційно важливі зони, з яких визначаються базисні фактори, що описують суть проблеми.

Наступним етапом є визначення множини факторів, що впливають на цільові функції. Ці фактори в моделі будуть потенційно можливими важелями впливу на ситуацію.

5. Результати дослідження технологічного комплексу пивзаводу на основі факторного аналізу

Для кожної системи можна виділити множину цілей її функціонування та множину факторів, що впливають на неї. Цілі та фактори, які є зовнішніми, зазвичай структуровані, тобто складаються із підцілей і підфакторів, які в свою чергу теж складаються із своїх підцілей і підфакторів і т. д. В результаті, список виявиться досить великим. Зрозуміло, що елементи отриманого списку нерівнозначні і в різній мірі впливають на поведінку системи. Отже, необхідно, враховуючи думки експертів, проранжувати цілі та фактори, відібрати з них найбільш вагомі, тобто провести факторно-цільовий аналіз. Разом з ним може ефективно застосовуватись ситуаційний аналіз, суть якого полягає в аналізі ситуацій — стадій розвитку системи, коли фіксується початкова та кінцева ситуація і визначаються переходи між ними. Таким чином, визначається набір внутрішніх цілей та факторів, що доповнюють відповідний набір зовнішніх.

Для виявлення факторів, що можуть негативно впливати на якісні показники готового пива, такі як порушення технологічного процесу, що важко відслідкувати, була застосована причинно-наслідкова діаграми Ісікави.

Причинно-наслідкова діаграма — інструмент, що дозволяє виявити найбільш суттєві чинники, що впливають на кінцевий результат. На рис. 1 представлена діаграма Ісікави.

Побудова діаграми включає наступні етапи:

— вибір основного (результуючого) показника якості;
— установлення головних причин, що впливають на основний показник («великої кістки»);
— визначення вторинних («середньої кістки») і третинних («дрібні кісточки») причин.

Задача визначення ситуацій та їх класифікації формується наступним чином. Ситуація визначається деяким відношенням на множині параметрів (У), які характеризують стан об'єкта управління, множиною класів ситуацій ($К_э$), що відображені в сценарії управління, множиною алгоритмів класифікації ($К_А$), а також правилами вибору алгоритмів класифікації ($Р_К$). Визначена ситуація дозволяє встановити множину моделей прийняття рішень з урахуванням ступеню ситуаційного ризику, згортки та динамічної пріоритетності критеріїв, типу та методів розв'язання конфліктів (ресурсних, критеріальних або ситуаційних). Множина вибраних моделей дозволяє сформувати стратегії пошуку рішень з управління та здійснити їх синтез у відповідності з поточними цілями та критеріями управління, що відображуються в певному фрагменті сценарію управління.

Основні елементи, з яких складається сценарій мають такі характеристики:

— окремі фактори, виражені лінгвістичною змінною, що характеризує його нечітку належність до певного лінгвістичного поняття («низько», «нижче норми», «норма», «вище норми», «високо»);
— на основі експертного опитування вводяться бальні оцінки пріоритету цілей та експертні ймовірнісні оцінки досягнення цілей при різних значеннях факторів впливу на технологічні процеси.

Під час управління технологічними процесами виробництва пива може виникнути множина ситуацій, які вимагають розгляду та розробки алгоритмів для поточного аналізу ситуацій в реальному масштабі часу. В ході розробки сценаріїв управління слід наголосити на понятті операції. Операція сценарію являє собою крок сценарію управління.

Для побудови сценарію управління технологічними процесами пивзаводу необхідно виділити основні цілі та на основі них побудувати факторно-цільову діаграму. Для кожної цілі будується дерево підцілей, головна ціль в даному випадку виступає коренем. Цільове дерево закінчуємо на простих цілях, які вже не деталізуються.

Розглянемо факторно-цільову діаграму (рис. 2). На ній $C_{io\text{п}}$ — цілі, що характерні для ділянки приготування опари; C_{io} — засоби досягнення цілей; Φ_i — фактори впливу.

Кожна ціль оцінюється відповідною вагою, що визначена на основі експертного опитування. Такий підхід є достатньо суб'єктивним і вимагає сумлінного аналізу ситуації з боку експертів. В свою чергу, якщо вершина C_i має вагу W_i і ця вершина має підцілі, то має місце така умова:

$$W_i = W_{i.1} + W_{i.2} + ... + W_{i.n},$$

де W_i — вага цілі, i — номер цілі; W_{ij} — вага підцілі, j — номер підцілі [13, 14].

Фактори впливу на представленій структурі являть собою кружки зі стрілками. Для вибору найбільш значущих цілей та найбільш ефективних факторів необхідно було вирішити задачу кількісної оцінки та ранжування, за рахунок побудови матриці взаємодії простих цілей.

Для пивоварного виробництва виділяємо фактори, які впливають на режими роботи та представляємо в табл. 1.

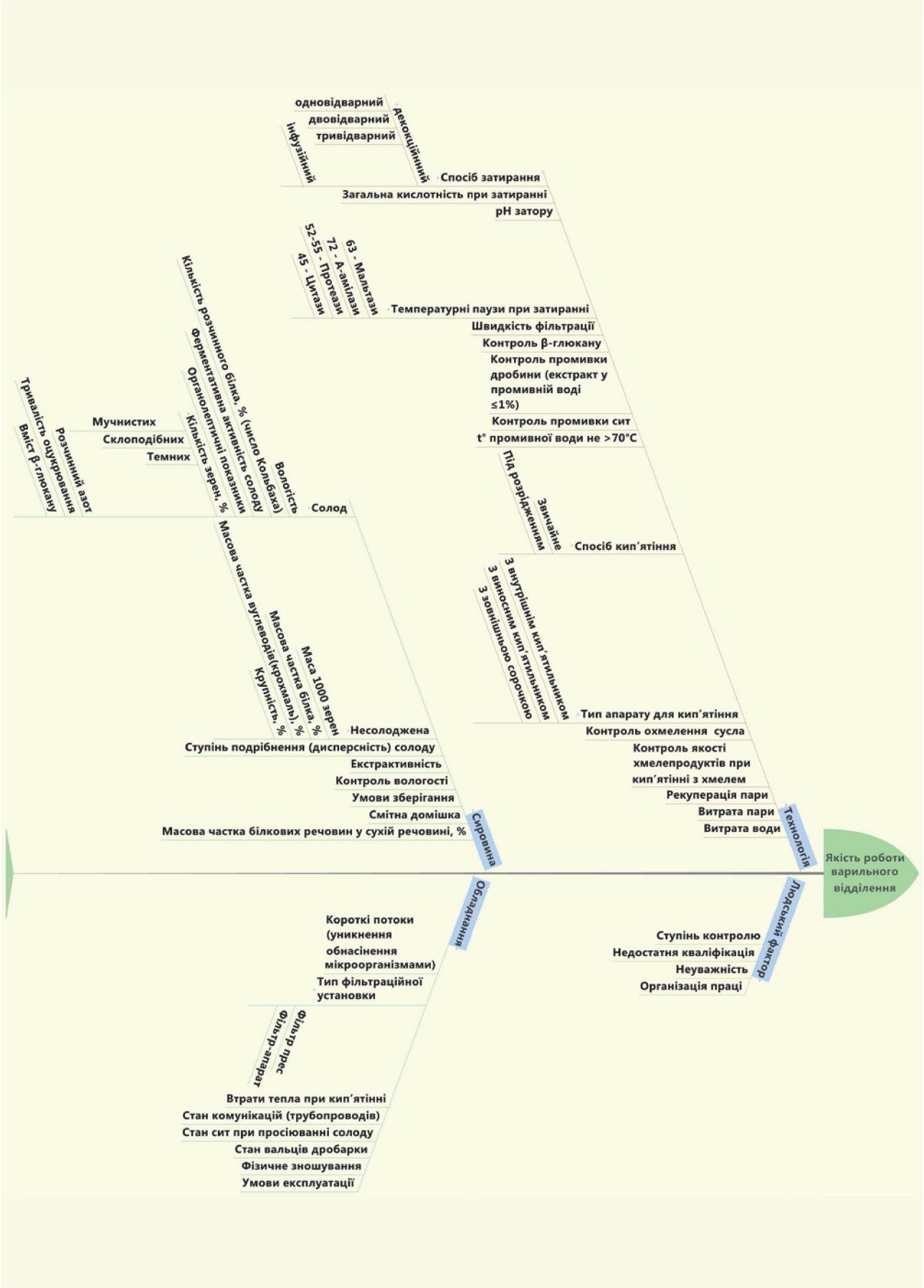

Рис. 1. Діаграма Ісікави для варильного відділення пивзаводу

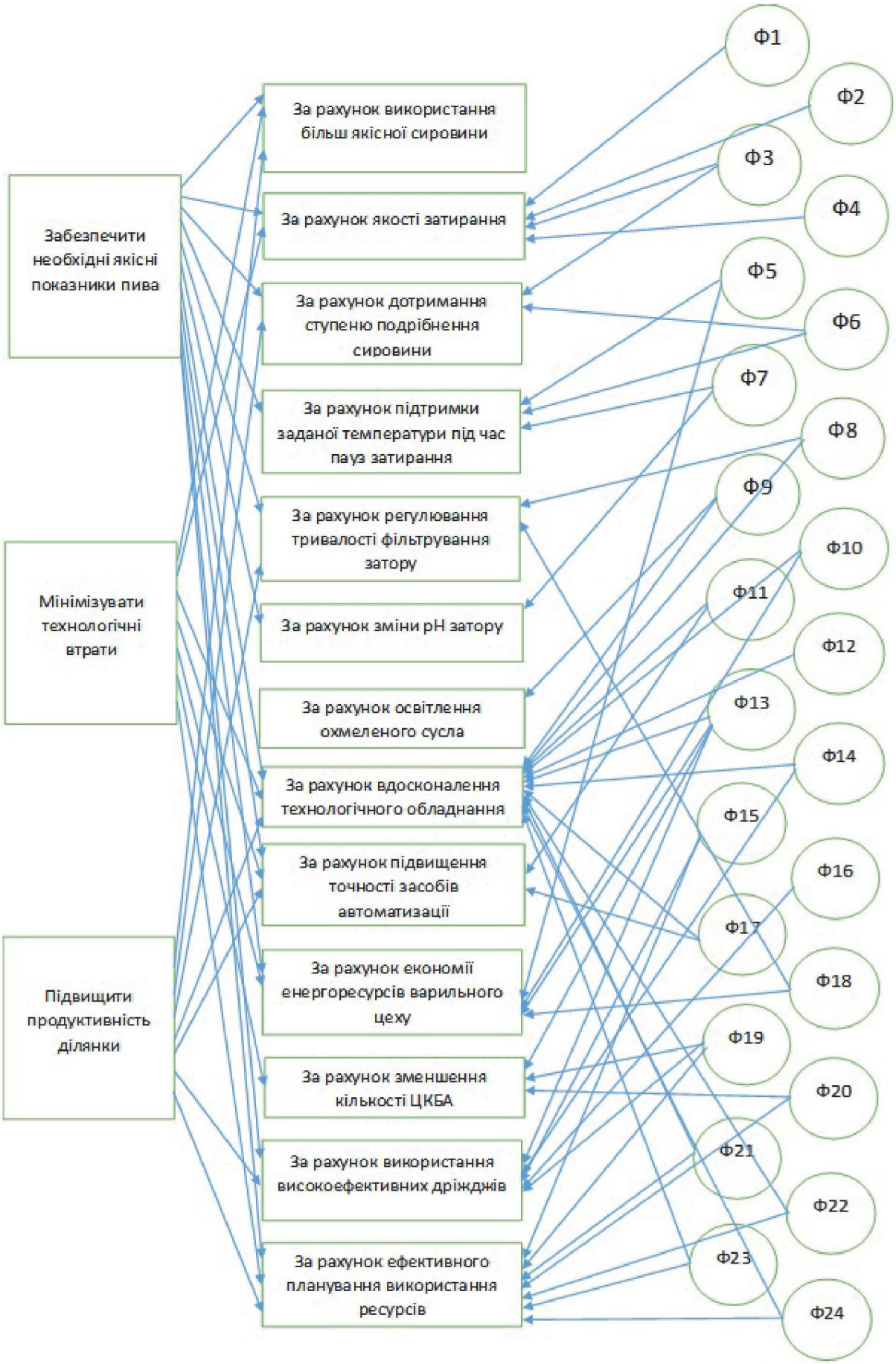

Рис. 2. Факторно-цільова діаграма приготування пива

Таблиця 1

Фактори, що впливають на процес виробництва пива

Фактор	Зміст
Ф1	Якість солоду, несолодженої сировини
Ф2	Показники жорсткості води
Ф3	Кількість (співвідношення) солод-несолоджена сировина
Ф4	Якість і склад помелу сировини
Ф5	Вибір способу затирання
Ф6	Режими затирання
Ф7	Екстрактивність затору
Ф8	Тривалість фільтрування
Ф9	Інтенсивність кип'ятіння сусла з хмелем
Ф10	Використання вторинної пари
Ф11	Освітлення сусла
Ф12	Пропагація дріжджів (об'єм біомаси)
Ф13	Вибір способу зброджування
Ф14	Інтенсивність зброджування
Ф15	Тривалість ферментації (головного зброджування і доброджування)
Ф16	Розрахунок обладнання, підбір варильного порядку, визначення кількості ЦКБА або об'єму бродильних апаратів
Ф17	Врахування витрат основної і допоміжної сировини, проміжних продуктів та норми завантаження продукту у ємності для бродіння
Ф18	Вибір способу подрібнення зернопродуктів, який впливає на вибір фільтраційного апарату та якість сусла
Ф19	Кількість екстрактивних речовин зернопродуктів, що витрачаються на процеси метаболізму дріжджів
Ф20	Карбонізація пива
Ф21	Способи фільтрування пива
Ф22	Вибір способу пастеризації пива
Ф23	Виконання своєчасної повірки засобів вимірювання
Ф24	Енергоємність обладнання

6. Обговорення результатів факторно-цільового аналізу пивзаводу як складного технологічного комплексу

Завдяки проведеному аналізу та проведеного експертного опитування були створені умови для подальшої розробки на її основі системи підтримки прийняття рішень.

Обробка експертних даних проводилась за допомогою багатомірного шкалування, ідея якого полягає в тому, щоб виробити порядок («шкалу») наступності характеристик, яка більш точно відображає результати ранжування показників експертами. Позитивним моментом багатомірного шкалування є підсилення типу даних: якщо початкові оцінки мали порядкові властивості, то кінцеві шкали уже є інтервальними, тобто при ранговій оцінці «властивість А важливіша властивості Б», а на основі побудови шкал є можливість сказати про те, що «властивість А важливіша властивості Б на стільки-то одиниць» [8].

Багатомірне шкалування дозволяє здійснити пошук та інтерпретацію «латентних» (прихованих) змінних, що дає можливість пояснити схожість між об'єктами, які задаються точками в просторі ознак. Основна задача методу багатомірного шкалування полягає в тому, щоб зменшити число факторів, що характеризують змінювання виробничих процесів при управлінні ними (зменшення розмірності). Використання даного методу дає можливість проводити змістовний аналіз набору факторів, щоб визначити оцінку близькості та відмінності різних варіантів розвитку ситуацій.

Для побудови функцій належності було використано метод, що базується на статистичній обробці думок групи експертів.

Кожен експерт заповнив анкету, в якій вказав свою думку про наявність у елементів u_i $(i=\overline{1,n})$ властивостей нечіткої множини $\bar{l}_j$ $(j=\overline{1,m})$. Нехай K — кількість експертів, $b_{i,j}^k$ — думка k-го експерта про наявність у елемента u_i властивостей нечіткої множини $\bar{l}_j$, $k=\overline{1,K}$, $i=\overline{1,n}$, $j=\overline{1,m}$. Вважалось, що експертні оцінки бінарні, тобто $b_{i,j}^k \in \{0;1\}$, де 1 — наявність властивостей нечіткої множини $\bar{l}_j$ у елемента u_i, а 0 — відсутність властивостей (ознак). За результатами анкетування ступінь належності множині був розрахований за формулою:

$$\mu_{l_j}(u_i)=\frac{1}{K}\sum_{k=1,K} b_{j,i}^k, \quad i=\overline{1,n}.$$

Функції належності зручно задавати в параметричній формі. Найбільшу популярність отримали трикутна, трапецієвидна, гаусова, сигмоїдальна та Пі-подібна функції належності.

Проведене дослідження дозволяє більш ґрунтовно підійти до формування сценаріїв управління пивзаводом та створення системи підтримки прийняття рішень на основі сценарного підходу.

7. Висновки

В результаті проведених досліджень:

1. Створено причинно-наслідкову та факторно-цільову діаграми для аналізу функціонування технологічного комплексу пивзаводу.
2. Визначені найбільш впливові цілі, що дозволяє ґрунтовно підійти до формування структур сценаріїв управління.
3. На основі факторно-цільового аналізу та визначення множин атрибутів, потоків, факторів, життєвих станів даного об'єкта управління сформовано структури взаємодії між цілями та факторами.

Література

1. Кунце, В. Технология солода и пива [Текст]: пер. с нем. / В. Кунце, Г. Мит. — СПб: «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.: Нова Книга, 2005. — 408 с.
3. Мелетьєв, А. Є. Технохімічний контроль виробництва солоду, пива і безалкогольних напоїв [Текст]: підручник / А. Є. Мелетьєв, С. Р. Тодосійчук, В. М. Кошова. — К.: Нова книга, 2007. — 385 с.
4. Новосельцев, В. И. Теоретические основы системного анализа [Текст] / В. И. Новосельцев, Б. В. Тарасов, В. К. Голиков, Б. Е. Демин. — М.: Майор, 2006. — 592 с.
5. Anderson, R. C. Rule-driven optimization boosts plant performance [Electronic resource] / R. C. Anderson, M. Barnett, R. Jaisinghani // Hydrocarbon Processing. — October 2005. — Available at: \www/URL: http://www.hydrocarbonprocessing.com/Article/2598830/Rule-driven-optimization-boosts-plant-performance.html

6. О'Коннор, Дж. Искусство системного мышления: Необходимые знания о системах и творческом подходе к решению проблем [Текст]: пер. з англ. / Джозеф О'Коннор, Иан Макдермотт. — М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. — 256 с.
7. Рогов, Е. В. Архитектура системы анализа и обработки данных о поведении процессов [Текст] / Е. В. Рогов // Вестник Московского университета. Сер. 15. Вычисл. матем. и киберн. — 2001. — № 4. — С. 36–45.
8. Шаруда, С. С. Лінгвістична апроксимація технологічних показників хлібопекарського виробництва [Текст] / С. С. Шаруда, В. Д. Кишенько // Штучний інтелект. — Донецьк: ДонДІШІ, 2008. — № 4. — С. 188–193.
9. Толстова, Ю. Н. Основы многомерного шкалирования [Текст]: підручник / Ю. Н. Толстова. — М.: КДУ, 2006. — 160 с.
10. Максимов, В. И. Когнитивный анализ и управление развитием ситуации [Текст]: тезисы докладов в 3-х томах / В. И. Максимов // Материалы 1-й междунар. конференции. — М.: Институт проблем управления РАН, 2001. — Том 2. — С. 10–22.
11. Еремеев, А. П. Модели представления временных зависимостей в интеллектуальных системах поддержки принятия решений [Текст] / А. П. Еремеев, В. В. Троицкий // Известия РАН. ТиСУ. — 2003. — № 5. — С. 75–88.
12. 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.
13. Кулинич, А. А. Система моделирования плохо определенных нестационарных ситуаций [Текст]: тезисы докладов / А. А. Кулинич // Труды второй международной конференции «Когнитивный анализ и управление развитием ситуации». — М.: ИПУ РАН, 2002. — С. 44–50.
14. Кулинич, А. А. Методология когнитивного моделирования сложных плохо определенных ситуаций [Текст]: тезисы докладов / А. А. Кулинич // Избранные труды второй международной конференции по проблемам управления,17–19 июня 2003 г. — М.: ИПУ РАН, 2003. — С. 219–226.

ФАКТОРНО-ЦЕЛЕВОЙ АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ МНОГОЦЕЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ ПИВЗАВОДА

Работа посвящена исследованию вопроса оптимизации основных технологических процессов производства пива. Были использованы методы факторного анализа и когнитивного моделирования. На основе проведенного экспертного опроса, с помощью метода многомерного шкалирования был осуществлен факторно-целевой анализ функционирования системы для дальнейшей разработки системы сценарного управления технологическим комплексом пивзавода. Приведены причинно-следственная и факторно-целевая диаграммы для процесса приготовления пива.

Ключевые слова: оптимизация производства пива, факторный анализ, ситуационное изменение, диаграмма Исикавы.

Романов Микола Сергійович, *аспірант, асистент, кафедра автоматизації процесів управління, Національний університет харчових технологій, Київ, Україна,* ***e-mail: gluk7c5@gmail.com.***
Кишенько Василь Дмитрович, *кандидат технічних наук, професор кафедри автоматизації процесів управління, Національний університет харчових технологій, Київ, Україна,*
e-mail: kvd@gmail.com.
Ладанюк Анатолій Петрович, *доктор технічних наук, професор, кафедра автоматизації процесів управління, Національний університет харчових технологій, Київ, Україна,*
e-mail: ladaniuk@ukr.net.

Романов Николай Сергеевич, *аспирант, ассистент, кафедра автоматизации процессов управления, Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина.*
Кишенько Василий Дмитриевич, *кандидат технических наук, профессор кафедры автоматизации процессов управления, Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина.*
Ладанюк Анатолий Петрович, *доктор технических наук, профессор, кафедра автоматизации процессов управления, Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина.*

Romanov Mykola, *National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine,* ***e-mail: gluk7c5@gmail.com.***
Kishenko Vasil, *National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine,* ***e-mail: kvd@gmail.com.***
Ladaniuk Anatoliy, *National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine,* ***e-mail: ladaniuk@ukr.net***