

УДК 681.51: 663.531.02

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2022-20-13

Пальчевський Б.О. д.т.н., проф., Маркіна Л.М.

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ ПРИГОТУВАННЯМ ЗАМІСУ В СПИРТОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ

В статті проведено аналіз одного із ключових етапів виробництва спирту, а саме приготування замісу із зернової сировини і його водно-теплова обробка. Метою виконання цього етапу є руйнування клітинної структури зернової сировини і переведенні крохмалю в розчинний стан. Оскільки процес приготування замісу не є достатньо вивченим, то при його автоматизації, як показав досвід сучасних спиртових заводів, не забезпечується надійний контроль та регулювання параметрів процесу. Відомі системи автоматичного контролю та регулювання приготуванням замісу враховують вплив технологічних факторів тільки на концентрацію сухої речовини в замісі, залишаючи поза увагою контроль та регулювання в'язкості замісу. Оскільки в'язкість замісу визначає технологічні режими проведення теплової обробки та проведення наступних операцій, а також текучість замісу для його переміщення між ними, то було запропоновано ввести в систему контролю та регулювання приготування замісу додатковий контур для регулювання в'язкості замісу. Попередні розрахунки показали, що така двопараметрична (концентрація сухої речовини та в'язкість) система контролю та регулювання приготування замісу дозволить покращити енергетичні та ресурсні показники процесу виробництва спирту на всіх стадіях виробництва.

Ключові слова: водно-теплова обробка, заміс, в'язкість, концентрація, система автоматичного контролю та регулювання

Постановка проблеми. На сьогоднішній день спиртова промисловість одна із розвинутих галузей харчової промисловості. Технологія виробництва спирту представляє складні процеси, в яких відбуваються біохімічні, механічні та теплові процеси. Кожна стадія виробництва має за мету отримати напівпродукт відповідної якості. Технологія отримання етилового спирту із крохмалистої зернової сировини базується на ферментативному гідролізі зернового крохмалю та послідовному зброджуванні новоутворених цукрів дріжджовими мікроорганізмами [1].

Стадія приготування зернового замісу є однією з ключових у спиртовому виробництві. Мета водно-теплової обробки зерна полягає в зруйнуванні клітинної структури сировини і переведенні крохмалю в розчинний стан [1]. При дослідженні даної стадії виробництва було встановлено, що вона є вивчена не в повному обсязі.

Аналіз останніх досліджень. Технологічний процес приготування замісу передбачає змішування зернової крупки з водою в змішувачі для забезпечення однорідності суміші у встановленому співвідношенні. Кількість води змінюють у залежності від крохмалистості і вологості зерна з метою забезпечення концентрації сула 18-20 % за цукроміром. Температура замісу регулюється у залежності від дисперсності помелу зерна 40-45° С, 50-60°С та 60-65°С. За традиційною технологією отримання спирту час перебування замісу в змішувачі триває 10 - 15 хвилин.

Проведений аналіз літературних джерел підтвердив, що стадія підготовки зернової сировини в процесі виробництва спирту потребує детального вивчення з точки зору автоматизації. Було визначено основні технологічні показники даного етапу на основі яких зроблено висновок, що вони є визначальними для подальшого протікання процесу. Відомі системи автоматичного контролю та регулювання приготуванням замісу враховують тільки вплив технологічних факторів на концентрацію сухої речовини в замісі, залишаючи поза увагою контроль та регулювання в'язкості замісу [9,13].

Після проведених досліджень процесу приготування замісу було встановлено, що існуючі системи керування не забезпечують в повній мірі контроль та регулювання всіх параметрів, які є визначальними для даної стадії. Тому впровадження системи автоматичного регулювання з використанням додаткового контуру, а саме регулювання в'язкості замісу, є актуальною.

Процес отримання спирту із крохмалевмісної сировини включає стадії підготовки зерна (очищення і подрібнення), приготування замісу зерна з водою і гідроферментативна обробка

сировини, засів бродильних апаратів та зброджування крохмалевмісної сировини, ректифікація спирту.

З розвитком енергозберігаючих технологій в даній галузі промисловості передбачено використання схеми низькотемпературного розварювання замісів. Важливою особливістю даної технології є використання концентрованих ферментних препаратів, а також забезпечення узгодженої подачі води, зернової суміші і ферментів. В процесі змішування основною проблемою є якісний склад кінцевого потоку суміші – концентрація сусла. Забезпечення даного параметра реалізується за допомогою використання регулюючих клапанів подачі зернової суміші, ферментів і води. Система управління стає необхідною для управління комбінацією їх витрат, оскільки неправильне співвідношення цих потоків може призвести до неповного гідролізу крохмалю і відповідно до недоотримання спирту. Але проявляється проблема досягнення бажаного цільового складу суміші, тобто концентрації сусла. Цільовий склад суміші може змінюватись і операція приготування замісу повинна швидко реагувати на такі вимоги [12].

На сьогоднішній день відомо чимало систем автоматичного керування, які направлені на вирішення окремих технологічних показників: вимірювання витрати сировини, концентрації замісу, регулювання подачі води, а також контроль та регулювання концентрації сировини [9,11].

Відома система автоматизованого керування контуром, що регулює співвідношення «зерно - вода» для процесу змішування на Ядринському спиртзаводі (рис.1), що дозволило зменшити вплив збурень на основний показник замісу – концентрація сусла, що було неможливо забезпечити в режимі ручного регулювання витрат зерна і рідкої фази [14].

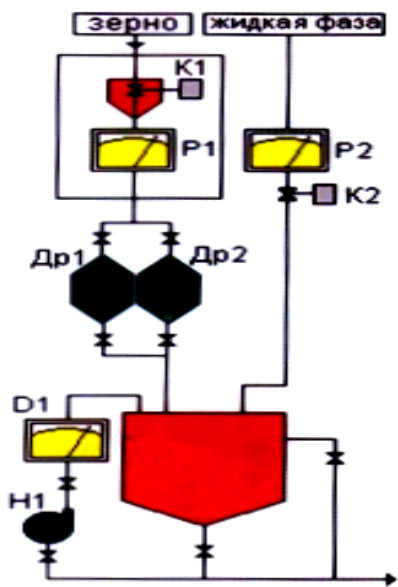


Рис. 1. Функціональна схема змішування зерна з рідкою фазою

K1 – регулюючий кран подачі зерна; K2 – регулюючий кран подачі рідкої фази; P1 – витратомір зерна; P2 – витратомір рідкої фази; Др1, Др2 – робоча і резервна дробилки зерна; D1 – вимірювач концентрації замісу; Н1 – pompa рециркуляції замісу в змішувачі «зерно – вода»

На рис.1 наведена функціональна схема змішування зерна з рідкою фазою. Значення концентрації замісу, яке необхідно підтримувати в змішувачі, отримано в результаті лабораторного аналізу для використовуваного виду сировини на основі засвідчених даних. У складі системи реалізовані три контури регулювання:

- контур регулювання витрат зерна (K1, P1);
- контур регулювання витрати рідкої фази (K2, P2);
- контур регулювання концентрації замісу в змішувачі «зерно - вода».

Відома також схема керування процесом приготування замісу, яка полягає в вимірі витрати сировини і концентрації замісу і в регулюванні подачі води. З метою підвищення якості замісу пропонується визначати вимірюванням і розрахунком концентрацію сировини, а регулювання подачі води відбувається по нелінійному закону [9].

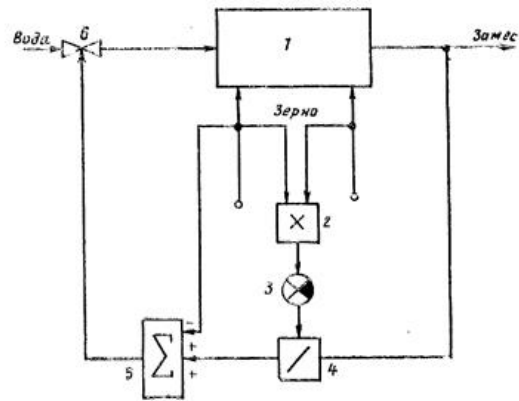


Рис. 2. Функціональна схема автоматичного регулювання концентрації замісу

Не дивлячись на те, що в'язкість зернових замісів у спиртовому виробництві відіграє важливу роль, нині в'язкість зернових сумішей під час виробництва спирту не контролюється. Це створює перешкоди при виконанні наступних операцій і транспортування замісу на наступні операції [1]. Основним недоліком цього і інших вказаних систем автоматичного керування процесом приготування замісу є відсутність контролю за в'язкістю замісу, що не дозволяє використати підвищені теплові режими обробки замісу, які забезпечили би ефективне проведення наступної операції термоферментативної обробки сусла.

Виклад основного матеріалу. Одним з перспективних напрямків вдосконалення технології виробництва етилового спирту є впровадження низькотемпературних схем переробки зернової сировини та збільшення концентрації зернових сумішей сусла. Однак надмірне збільшення вмісту зернової сировини призводить до погіршення реологічних характеристик замісів та уповільнення процесів ферментативного руйнування крохмалевмісної сировини в процесі механічно-ферментативної обробки [5]. Також застосування сучасних способів інтенсифікації приготування замісу, а саме підвищення концентрації сухих речовин у суслі впливає на підвищення в'язкості. У зв'язку з цим виникає ряд проблем, таких як ускладнення перекачування замісів, перешкоджання гідролізу крохмалю та інших біополімерів сировини, а також проведення наступних технологічних операцій: оцукрювання (збільшення подачі пари для додаткового розрідження), перекачування, бродіння [2,3,4]. Це знижує вихід спирту і ефективність виробництва. У зв'язку з цим постає питання розробки та впровадження системи автоматичного керування, яка буде враховувати особливості сировини, температурні режими, витрати основних компонентів даної ділянки, а також здійснювати своєчасний контроль та регулювання вихідних параметрів концентрації замісу та в'язкості. Це дозволить мінімізувати витрати сировини, покращити якість вихідного продукту і суттєво підвищити ефективність виробництва.

Система керування в цьому випадку повинна забезпечити окрім підтримання температури води і концентрації сухих речовин в заданих межах, також і потрібну в'язкість замісу. В'язкість технологічних середовищ відіграє вирішальну роль у змішуванні та перекачуванні зернового сусла, її збільшення запобігає ефективному ферментативному впливу ферментів на біополімери зернової сировини, ускладнює процеси тепло- та масообмінного перенесення, погіршує бродіння висококонцентрованої маси внаслідок високого осмосу бродильного сусла [5]. Підвищений осмотичний тиск у бродильному суслі ускладнює засвоєння дріжджами поживних речовин [6-8].

Враховуючи вищенаведене, можна вважати, що для забезпечення якісного протікання процесу замісу необхідно контролювати не тільки концентрацію сухої речовини в замісі, але і його в'язкість. Тоді для даної технологічної операції характерна наступна взаємозалежність матеріальних потоків та їх параметрів (рис.3)

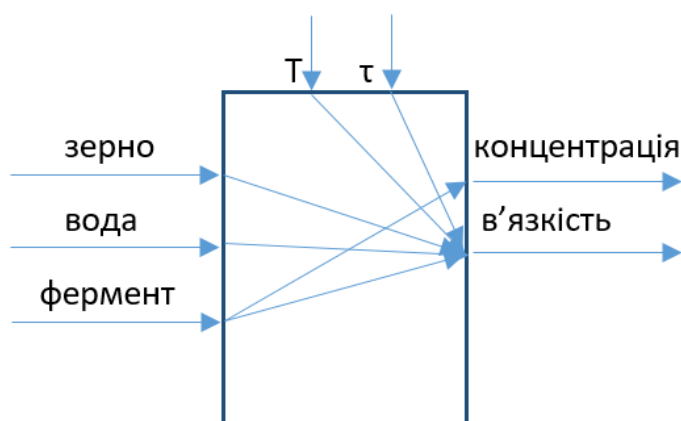


Рис.3. Схематичне представлення процесу змішування: T-температура замісу, τ -час приготування замісу

Дійсно, якщо заощадити на ферментах то не буде повного гідролізу, якщо не контролювати рН і температуру в чанку замісу, то ферменти можуть «недопрацювати», або взагалі не працювати. Неконтрольоване підвищення в'язкості замісу пов'язане зі зниженням рухливості технологічного середовища на етапі приготування замісу, викликає зниження дозування ферменту і, як наслідок, погіршення умов протікання ферментативного гідролізу крохмалю, некрохмалистих полісахаридів при механічно-ферментативній обробці. Таким чином, якщо заощадити на автоматизації, то практично нереально буде витримати співвідношення параметрів всіх потоків для утворення замісу із потрібною концентрацією та в'язкістю. Як результат – перевитрата ферментів і зменшення виходу продукту.

Тому дослідження направлені на створення передумов автоматичного керування параметрами процесу приготування зернових замісів із заданими параметрами концентрації та в'язкості є актуальними.

Метод контролю ступеня в'язкості замісу повинен забезпечити процес вимірювання, придатний для використання в системі автоматичного контролю. Він повинен забезпечувати швидкість і точність вимірювання і надаватися для контролю динаміки зміни в'язкості замісу [9].

На сьогоднішній день найбільшого поширення набули наступні способи вимірювання в'язкості:

1. за допомогою капілярного віскозиметра ВЗ-246 (ГОСТ 9070-75), який являє собою бак ємністю 100 см³ і має насадку діаметром 2, 4 або 6 мм біля основи. Він має низьку продуктивність, а також наявність ряду помилок при вимірюванні через похибку вимірювання часу, пов'язана з реакцією спостерігача, похибку секундоміра, візуальні помилки, помилку відліку через поверхневий натяг тощо [10].

2. за допомогою віскозиметра Нерлеґ заснований на вимірюванні умовної в'язкості, яка визначається часом падіння кулі в трубочку, наповнену рідиною, що перевірюється. Цей метод також має такі недоліки як складність конструкції, а також наявність помилки в вимірюванні часу, пов'язаної з реакцією спостерігача, похибкою секундоміра, візуальними помилками.

Ці методи не забезпечують достатню динаміку процесу контролю, що постає перешкодою для автоматизації процесу приготування замісу. Нами був запропонований метод контролю в'язкості замісу, який характеризується тим, що зміна в'язкості досліджуваного середовища визначається потужністю, споживаною електродвигуном для змішування замісу при постійній швидкості обертання вала (наприклад, 100 об/хв). Це дозволяє автоматизувати процес вимірювання та надає можливість контролювати зміну в'язкості в динаміці [10].

Оскільки двигун працює при незмінній напрузі електричного кола, то при зміні споживаної мішалкою потужності буде змінюватися струм живлення двигуна.

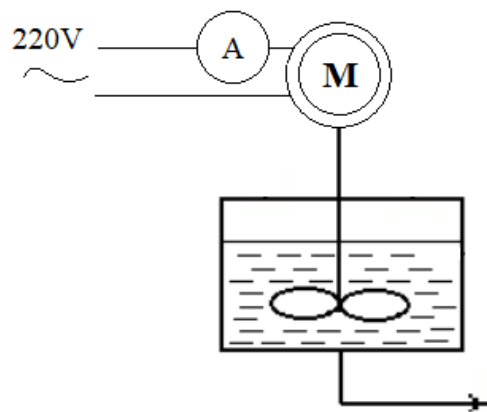


Рис.4. Схема контролю в'язкості замісу:
М-асинхронний двигун, А-амперметр

Для реалізації такої схеми необхідно передбачити в системі керування додатковий контур, який забезпечить вимірювання і регулювання в'язкості замісу, наприклад шляхом зміни інтенсивності подачі пари в чанок замісу (рис.5). Для цього в контурі розміщено датчик вимірювання в'язкості замісу, вихід якого зв'язаний з елементом порівняння в'язкості замісу із заданим, а вихід елемента порівняння пов'язаний з регулюючим елементом пристрою подачі пари.

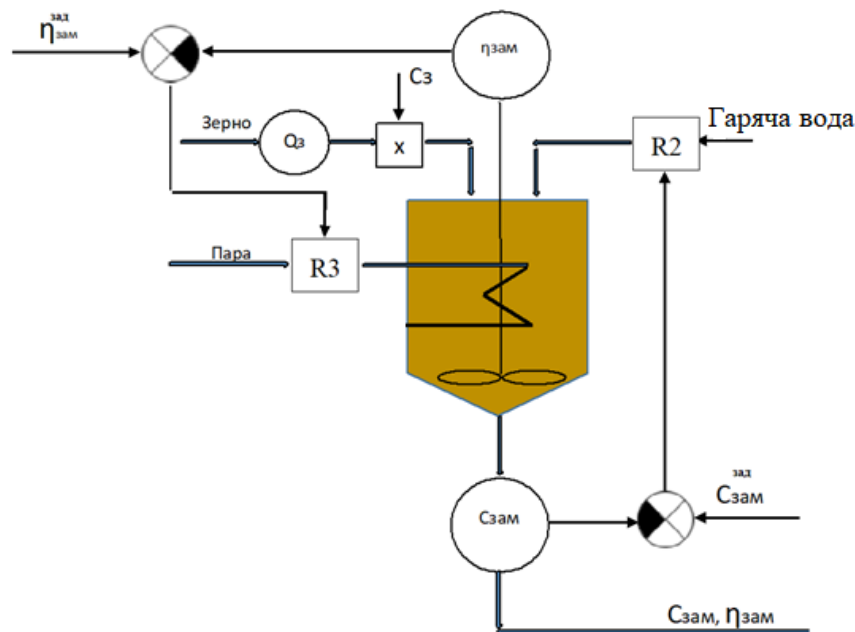


Рис. 5. Система автоматичного двопараметричного керування приготуванням замісу при виробництві етилового спирту з крохмалевмісної сировини

Висновки.

1. Для зменшення енергетичних та ресурсних показників процесу виробництва спирту на всіх стадіях виробництва, а також покращення якісних показників готової продукції на одній із ключових стадій у спиртовому виробництві - приготування замісу - необхідно здійснювати контроль і регулювання двох параметрів замісу – концентрація сухої речовини і в'язкість.
2. Система автоматичного керування приготуванням замісу повинна включати контур, який забезпечує контроль і регулювання в'язкості замісу.
3. Для забезпечення динаміки процесу контролю і регулювання в'язкості замісу нами запропоновано використати в якості датчика вимірювання в'язкості контроль потужності мішалки.

Інформаційні джерела

1. Яровенко, В.Л. Технология спирта / В.Л. Яровенко, В.А. Маринченко, В.А. Смирнов, Б.А. Устинников [и др.]. – М.: Колос-пресс, 2002. – С. 78.
2. Яковлев, А.Н. Влияние мультиэнзимного комплекса на вязкость ячменных замесов / С.В. Востриков, О.С. Корнеева, С.Ф. Яковлева // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2009. – № 9. – С. 46–47.
3. Долгов, А.Н. Влияние технологических параметров на состав и реологические свойства замесов из пшеничной муки / А.Н. Долгов, Г.В. Агафонов, Н.В. Зуева, В.А. Вертенова [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2014. – № 9. – С. 10–14.
4. Алимова, Д.С. Водно-тепловая обработка ржаных замесов с пониженным гидромодулем и сохранением активности нативной α -амилазы / Н.В. Баракова, М.А. Начетова, Е.А. Самоделькин // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2014. – № 11. – С. 18–21
5. Изучение динамики изменения физико-химических показателей сула спиртового производства на стадиях механико-ферментативной обработки при увеличении концентрации зерновых замесов / А. А. Пушкарь, Д. В. Хлиманков, В. И. Соловей, Ю. С. Пусовская // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2019. – Т. 57, № 2. – С. 238–251. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2019-57-2-238-251>
6. Римарева, Л. В. Теоретические и практические основы биотехнологии дрожжей / Л.В. Римарева. – М. : ДеЛи принт, 2010. – 251 с.
7. Casey, G. P. Ethanol tolerance in yeasts / G. P. Casey, W. M. Ingledew // Crit. Rev. in Microbiology. – 1986. – Vol. 13, №3. – P. 219–280. <https://doi.org/10.3109/10408418609108739>
8. A study of ethanol tolerance in yeast / T. D'Amore [et al.] // Crit. Rev. in Biotechnology. – 1990. – Vol. 9, N 4. – P. 287–304. <https://doi.org/10.3109/07388558909036740>
9. Способ автоматического управления процессом приготовления замеса при производстве этилового спирта из зерно-картофельного сырья: пат. № 415291СРСР: №1788223/28-13; заявл. 25.05.1972; опубл. 15.11.1974, Бюл. № 6. 2с.
10. Способ контроля степени осахаривания крохмалсодержащего сырья: пат. № 2339933 РФ: № 2007105417/28; заявл. 13.02.2007; опубл. 27.11.2008, Бюл. №33. 8с.
11. Способ автоматического управления производства спирта из крохмалосодержащего зерна: пат. № 751828 СРСР: №2561226/28-13; заявл. 26.12.77; опубл. 30.07.80, Бюл. № 28. 3с.
12. Технологія спирту. В.О.Маринченко, В.А.Домарецький, П.Л.Шиян, В.М.Швець, П.С.Циганков, І.Д.Жолнер. /Під ред. проф. В.О.Маринченка. - Вінниця: "Поділля-2000", 2003. - 496 с.
13. Автоматика и автоматизация пищевых производств/ М. М. Благовещенская, Н. О. Воронина, А. В. Казаков и др. — м.: Агропромиздат, 1991. — 239 с .
14. Леденев В.П. Системы стабилизации гидромодуля в производстве спирта / В.П. Леденев, Е.А. Кириллов // Ликероводочное производство и виноделие, 2003. № 4 (40). С. 7-9.

Palchevsky B.O. Ph.D., prof., Markina L.M.

OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF MANAGEMENT OF BATCH PREPARATION IN THE ALCOHOL PRODUCTION

The article analyzes one of the key stages of alcohol production, namely the preparation of the mixture from grain raw materials and its water-heat treatment. The purpose of this stage is the destruction of the cellular structure of grain raw materials and the conversion of starch into a soluble state. Since the batch preparation process is not sufficiently studied, its automation, as the experience of modern distilleries has shown, does not ensure reliable control and regulation of process parameters. Known systems of automatic control and regulation of the preparation of the dough take into account the influence of technological factors only on the concentration of dry matter in the dough, leaving out the control and regulation of the viscosity of the dough. Since the viscosity of the dough determines the technological modes of heat treatment and subsequent operations, as well as the fluidity of the dough for its movement between them, it was proposed to introduce an additional circuit for adjusting the viscosity of the dough into the system of control and regulation of the preparation of the dough. Preliminary calculations showed that such a two-parameter (dry matter concentration and viscosity) system of control and regulation of the preparation of the mixture will allow to improve the energy and resource indicators of the alcohol production process at all stages of production.