



ИНТЕЛЕКТУАЛЬНАЯ ПОДСИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ ПИВОВАРНОГО СОЛОДА

Д.В. Мацебула, И.В. Эльперин

Национальный университет пищевых технологий, Украина, Киев

A BREWERY MALT PRODUCTION MANAGEMENT INTELLIGENT SUBSYSTEM

D.V. Matsebula, I.V. Elperin

National University of Food Technologies, Kiev, Ukraine

Abstract

This article is about the possibility of improving the control system of brewing malt production. The existing approaches and methods of production management malt are shown. The relation between raw materials, semi-finished and finished products qualitative measures are shown. The technique and intelligent control system based on neural networks and decision support systems structure is developed.

Keywords: malt production, intelligent subsystem.

Введение

В процессе производства пива на его качество влияет как технологический процесс, так и качество сырья. В статье более подробно рассмотрено влияние показателей качества сырья на качество пива. Для пива, изготовленного по классической технологии это: качество воды, качество хмеля, качество дрожжей и качество солода. Солод является основным сырьем в пивоварении. Его качественные показатели напрямую влияют на качество пива. Фактически солод является той базой, из которой формируются качественные показатели пива. Тип солода и его показатели выбирают в зависимости от выбранного сорта пива и требований к показателям его качества. Производство пива сталкивается со следующей проблемой - солод из разных партий с одинаковыми классическими показателями качества могут существенно отличаться. Эти различия могут повлиять на качество пива. Определенные типы солода могут также изменять свои показатели во время хранения. [1].

Для того чтобы учесть эти изменения пивовары проводят анализ каждой партии солода. К сожалению различные пивоварни имеют разные требования к качеству солода. Обычно такой анализ включает в себя определение следующих параметров: содержание

влаги, цвет, лабораторный экстракт (горячий и холодный), общий азот, общий белок, растворимый азот или белок, свободный азот аминокислот. Часто также определяют диастатичную активность, активность α -амилазы и β -глюканаза. Чем больше показателей определяется, тем точнее можно спрогнозировать качество изготавливаемого пива. Важнейший лабораторный анализ - экстракт, чем он больше, тем лучше качество солода. Пивовары постоянно исследуют зависимости и влияние показателей ячменя на солод, солода на различные аспекты пива. Однако, несмотря на массу исследований, проблема остается открытой, так, как зависимости получены либо в общем виде, либо для конкретных разновидностей солода, кроме того, много взаимосвязей в солоде и пиве мало исследованы [1].

Материалы и методы

Классический технологический процесс изготовления солода состоит из пяти этапов: замачивание, проращивание, сушка; обработка и хранение.

Проращивание и сушка являются наиболее сложными с точки зрения управления, поэтому далее будут рассмотрены только они.

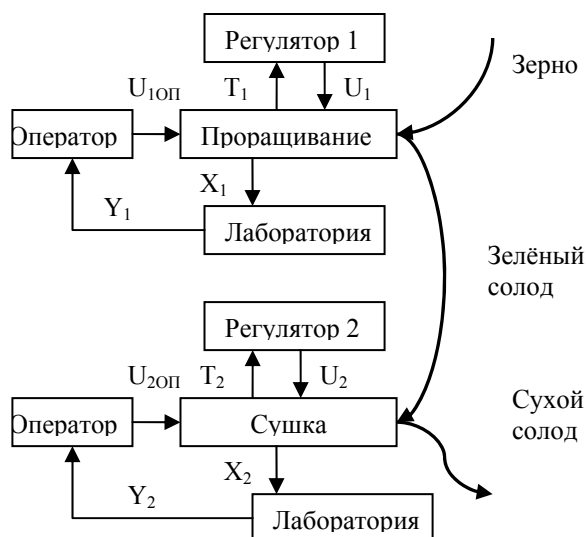
На этапе проращивания необходимо обеспечить:

- кондиционирования воздуха;

- подвода воздуха для дыхания зерна;
- удаления диоксида углерода, который выделяется при дыхании зерна;
- отвод теплоты, выделяющейся в процессе жизнедеятельности зерна;
- подведение воды для предотвращения подвяливания зерна;
- периодическое шевеление зерна.

При организации процесса сушки необходимо обеспечить:

- подготовку сушильного агента (нагрев воздуха);
- подведение горячего воздуха к объекту сушки;
- устранение неравномерности сушки солода;
- рекуперация тепловой энергии;
- охлаждения иссушения солода;



Фиг.1. Существующая система управления производством солода.

Методов сушки большое количество, но наибольшее распространение получил конвективный метод сушки. Сушка подогретым воздухом имеет три фазы:

1. физиологическая – фактически продолжение процесса проращивания при температуре 40-45 °С, заканчивается при достижении содержания влаги в солоде $\leq 30\%$;
2. ферментативная – протекает при постепенном повышении температуры от 45 до 70 °С. Рост зародыша прекращается, а ферментативные, в частности гидролитические процессы, усиливаются, так как оптимум действия гидролитических ферментов лежит в этом интервале температур;

3. химическая – протекает при постепенном повышении температуры от 70 до 105 °С. Для химической фазы характерны частичная инактивация ферментов, коагуляция (свертывание) белков. Происходит интенсивное образование меланоидов – продуктов взаимодействия аминокислот с сахарами. При этом образуются различные альдегиды (оксиметилфурфурол, ацетальдегид, метилглиоксаль и т.д.), которые предоставляют солода приятный вкус и аромат. Конечные продукты этой реакции (вещества коричневого цвета) обуславливают цвет солода.

Существующая система управления основными этапами производства солода приведена на Фиг. 1.

Управляющими воздействиями $U_{1оп}$ при проращивании являются: расход воздуха, продолжительность проращивания, расход хладагента, дозирование активаторов и ингибиторов, роста зерна. Зелёный солод оценивается множеством параметров X_1 . Лабораторный анализ оценивает такие его показатели Y_1 : влагосодержание, длина ростка, содержание сухих веществ, активность ферментов. Автоматически при этом поддерживается температура ращения T_1 путем воздействия на подачу хладагента U_1 .

Управляющими воздействиями при сушке солода $U_{2оп}$ являются: расход воздуха, продолжительность сушки, расход теплоносителя. Сушеный солод оценивается множеством параметров X_2 . Лабораторный анализ оценивает такие его показатели Y_2 : влагосодержание, доля экстракта, содержание азота, содержание белка. Автоматически при этом поддерживается температура сушки T_2 воздействием на подачу теплоносителя U_2 .

По окончании процесса сушки солод должен приобрести следующие качества:

- отсутствие физиологических и ферментативных процессов в зерне;
- влажности в пределах 3-4% для обеспечения длительного хранения и транспортировки;
- необходимые для конкретного типа солода органолептические показатели (вкус, цвет и аромат)
- хрупкие солодовые побеги.

Данная система имеет ряд недостатков:

1. Большое количество технологических параметров контролируется оператором, то есть существует значительное влияние «человеческого фактора».
2. Значительное количество параметров определяется исключительно лабораторными



методами, что требует определенного, иногда продолжительного времени. Это приводит к задержкам в принятии решений, а следовательно к ухудшению управляемости процессом.

Также в системе не учитывается зависимость качества конечного солода от колебаний качества входящего сырья, которая компенсируется исключительно оператором.

Результаты и обсуждение

Исследованием процесса производства солода занималось много ученых. Большая часть работ посвящена исследованию проращивания и сушки солода, поскольку данные процессы имеют наибольшее влияние на его качество, характеризуются сложностью протекания процессов и недостаточно изучены. Многие исследователи занимались созданием и исследованием моделей протекающих процессов. Были созданы модели с разной степенью полноты, которые с определенными предположениями описывали процесс. В зависимости от типа, модели их можно на классические (системы дифференциальных уравнений) [2, 3, 4, 5] и интеллектуальные (нейронные сети). Авторы классических моделей отмечают, что созданные модели имеют определенные предположения и должны быть заново построенными даже для аналогичных солодовен с другими параметрами. Авторы, использующие нейронные сети, исследуют в основном изменение влагосодержания (не обращая внимания на другие показатели [10]) или для визуальной оценки качества солода по цвету [5].

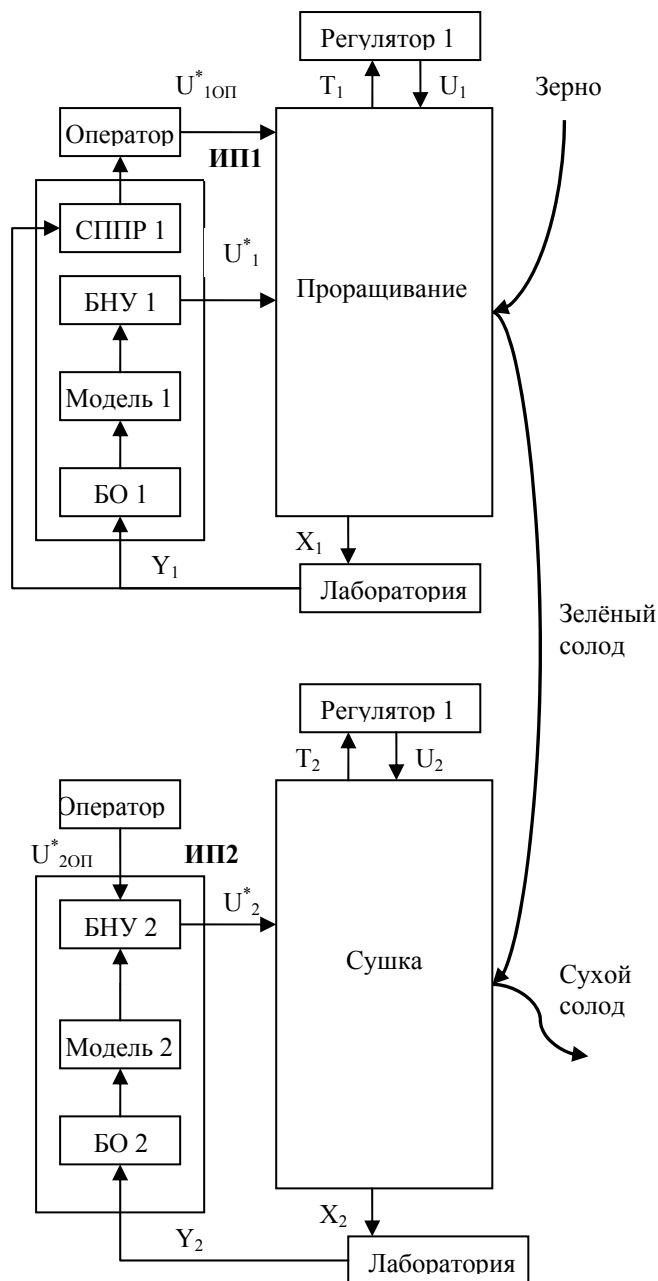
Решить проблему повышения качества готовой продукции с учетом изменений показателей качества полупродуктов возможно только за счет повышения эффективности системы управления. При этом для уменьшения влияния «человеческого фактора» и задержек в принятии решений необходимо дополнить существующую систему управления системой поддержки принятия решений (СППР), а для возможности нивелирования колебаний исходных показателей солода – ввести в систему управления прогнозирующая модель.

К основным направлениям совершенствования систем автоматизации проращиванием и сушкой солода можно отнести следующие:

1. Создание новых сенсоров, способных измерить показатели качества солода, заменив лабораторные исследования.

2. Применение классического математического моделирования для создания систем с эталонной моделью.

3. Применение интеллектуальных систем.



Фиг. 2. Система управления проращиванием и сушкой солода с интеллектуальной подсистемой.

Создание новых сенсоров позволило бы решить проблему раз и навсегда, однако эту задачу реализовать достаточно сложно. Основной проблемой является поиск надежных и повторяющихся зависимостей, которые можно измерить. Например, даже измерение содержания влаги в потоке солода, в связи с влиянием



характеристик сырья на результаты измерений является проблемой, не говоря об остальных качественных показателях.

Применение систем с классическими математическими моделями может позволить несколько улучшить качество управления, но это требует значительных усилий и применения индивидуального подхода к каждой солодовне, большинство ростильных аппаратов и солодовен являются также нестационарными объектами что значительно усложняет классическое моделирование. Данные недостатки, а также наличие только частично исследованных математических зависимостей между параметрами солода приводят к неточностям в прогнозах и их ограниченности.

Применение интеллектуальных методов позволяет избавиться от необходимости ручного построения модели для каждого нового объекта за счет использования различных механизмов адаптации. Но этот подход также требует глубокого исследования взаимосвязей в объекте и тесного сотрудничества с экспертами (для создания СППР).

Учитывая вышесказанное, была предложена структура системы управления, позволяющая облегчить работу оператора и улучшить контроль над процессом.

На Фиг. 2. представлена структура системы управления процессами проращивания и сушки солода с соответствующими интеллектуальными подсистемами принятия решений ИП1 и ИП2. Первая подсистема состоит из блока нечеткого управления БНУ 1, нейронной сети (Модель 1), блока обучения БО 1 и системы поддержки принятия решений СППР 1. Вторая подсистема аналогична первой, за исключением того, что в ней нет СППР.

Суть работы обеих подсистем сводится к следующему. На этапе обучения данные из лаборатории поступают в БО 1 и БО 2 соответственно, где обрабатываются и в виде данных обучения поступают на Модель 1 и Модель 2, которые представлены нейронными сетями. После завершения обучения, данные из лаборатории поступают непосредственно на модели. Данные из моделей поступают на БНУ 1 и БНУ 2, которые формируют управляющие воздействия.

Работа оператора сводится к периодической коррективке процесса проращивания ($U_{10п}^*$), опираясь при этом не только на свой опыт, но и на советы СППР 1, при этом большинство параметров поддерживаются автоматически (U_{11}^*). Процесс сушки управляется полностью

блоком ИП 2 (U_{21}^*), оператор при этом вмешивается только при возникновении нештатных ситуаций ($U_{20п}^*$).

Заключение

Проведенный анализ технологического процесса приготовления солода и существующей системы управления позволил предложить введение в структуру управления интеллектуальные составляющие, что позволит улучшить наблюдаемость и управляемость процесса. В дальнейшем планируется реализация подсистем ИП1 и ИП2 для тестирования и внедрения на экспериментальном объекте.

Литература

- [1] D.E. Briggs. Brewing: science and practice / D.E. Briggs, C.A. Boulton, P.A. Brookes and R. Stevens Woodhead Publishing, Cambridge UK / CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 2004. 881 pp ISBN 0-8493-2547-1
- [2] Jari J. Hämäläinen. A Simulation Model for Malt Enzyme Activities in Kilning / Jari J. Hämäläinen, Pekka Reinikainen, Journal of the Institute of Brewing, Volume 113, Issue 2 – 159-167 pp – 2007.
- [3] Bala, B. K. and Woods, J. L., Thin layer drying models for malt. J. Food Eng., 1992, 16, 239–249.
- [4] Holmberg, J., Hämäläinen, J. J., Reinikainen, P., and Olkku, J., A mathematical model for predicting the effects of the steeping programme on water uptake during malting. J. Inst. Brew., 1997, 103, 177–182.
- [5] Kuusela, P., Hämäläinen, J. J., Reinikainen, P., and Olkku, J., A simulation model for the control of beta-glucanase activity and beta-glucan degradation during germination in malting. J. Inst. Brew., 2004, 110, 309–319.