

УДК 663.54, 577.15

## СБРАЖИВАНИЕ МОДЕЛЬНОГО СУСЛА ПОВЫШЕННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ В УСЛОВИЯХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ВАКУУМИРОВАНИЯ

К.В. Молокова, Е.А. Привалова

ФГБОУ ВПО Иркутский государственный технический университет,  
Российская Федерация, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.  
[ksen888@mail.ru](mailto:ksen888@mail.ru)

*Приведены результаты сравнительного исследования спиртового брожения сусла повышенной концентрации при атмосферном давлении и с использованием периодического вакуумирования. Показано, что периодическое вакуумирование сусла позволяет увеличить степень сбраживания сахаров и выход спирта.*

*Ил. 3. Библиогр. 4 назв.*

*Ключевые слова: спиртовое брожение, Saccharomyces cerevisiae, вакуум, концентрированное сусло.*

### ВВЕДЕНИЕ

Этанол является наиболее распространенным продуктом биотехнологии, а его продуцент – культура *Saccharomyces cerevisiae* – самым используемым микроорганизмом в

спиртовой промышленности. Процесс спиртового брожения сводится к получению энергии для роста и размножения клеток дрожжей путем преобразования углеводов в спирт и углекислый газ. Продукты брожения, накапли-

ваясь в среде, ингибируют этот процесс. Уже при небольшой концентрации этанола в среде, составляющей 6–8% об., происходит ощутимое подавление жизнедеятельности дрожжей [1].

Распространенные в промышленности технологии сбраживания углеводных питательных сред ограничивают концентрацию сусла 16–18% сухих веществ (СВ), что позволяет достичь крепости зрелой бражки 8,5–9% об. Более высокое содержание спирта требует повышения концентрации разваренной массы, что приводит к усилению процессов меланоидино- и карамелеобразования в процессе разваривания, предшествующем осахариванию и сбраживанию [2]. Между тем, сбраживание более концентрированных сред снижает удельные топливно-энергетические затраты на производство спирта и позволяет повысить производительность броидильного отделения. Одним из технологических приемов, направленных на интенсификацию спиртового брожения, является удаление спирта, диоксида углерода и других метаболитов из реакционной среды. Удаление спирта можно производить мембранными методами, вакуумированием или суперкритической экстракцией [3].

Целью данной работы было исследование влияния периодического удаления этанола из реакционной среды на эффективность сбраживания модельного сусла повышенной концентрации.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве модельного сусла (субстрата) использовали растворы сахарозы концентрацией 25%. Объектом исследования являлись свежие хлебопекарные прессованные дрожжи.

Для обеспечения питания дрожжей в субстрат вносили диаммонийфосфат в количестве 0,5 г на 100 см<sup>3</sup>. Количество вносимых дрожжей составляло 8% от объема сбраживаемого сусла. Брожение проводили в установке, схема которой изображена на рис. 1.

Вакуумирование бражки проводили с непрерывным охлаждением сборника дистиллята и системы абсорберов. Для поддержания температур брожения 36, 40 и 45 °С в поверхность теплообмена биореактора непрерывно подавали горячую воду из термостата.

Через час после внесения дрожжей при помощи вакуум-насоса в биореакторе создавали разрежение 0,01 МПа, что способствовало частичному удалению из реакционной среды этанола, диоксида углерода и других летучих продуктов метаболизма, ингибирующих жизнедеятельность дрожжей. В дальнейшем эту операцию повторяли каждый час. Параллельно проводили холостой опыт, в котором брожение проходило при атмосферном давлении. Через 4 часа, а затем каждый час после начала брожения из бражки отбирали пробу в количестве 8 см<sup>3</sup>, в которой после предварительного центрифугирования определяли содержание восстанавливающих сахаров и спирта. Определение сахаров проводили колориметрическим методом с предварительной инверсией сахарозы [4].

Количество сахаров в пробе определяли с помощью градуировочного графика, построенного на основе значений, полученных при колориметрировании стандартного раствора на приборе Agilent 8453 при длине волны 440 нм. Содержание спирта и уксусной кислоты анали-

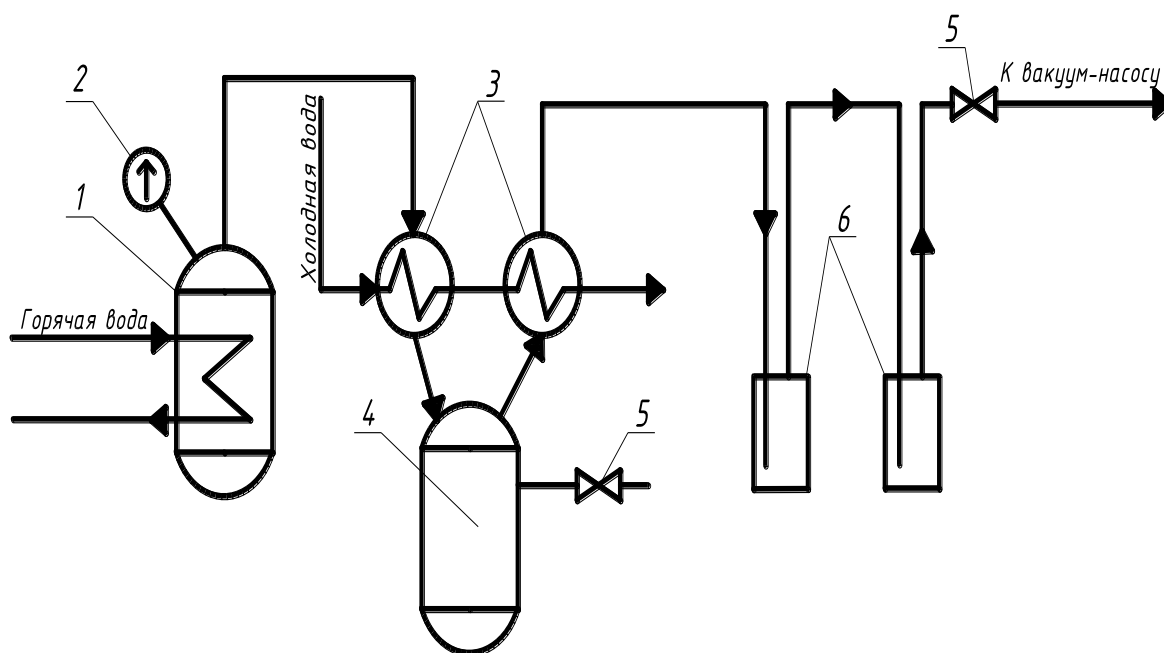


Рис. 1. Схема установки для осуществления брожения с периодическим вакуумированием:  
1 – биореактор, 2 – манометр, 3 – система охлаждения, 4 – сборник дистиллята,  
5 – кран, 6 – система абсорберов

зировали методом ГХ–МС на газовом хроматографе 7820 А с селективным масс-спектрометрическим детектором HP 5975 фирмы «Agilent Technologies». Энергия ионизации – 70 эВ. Температура сепаратора – 280 °С, ионного источника – 230 °С. Кварцевая колонка 30 000 × 0,25 мм со стационарной фазой (95% диметил-5% дифенилполисилоксан). Температура осушки 50 °С. Идентификацию компонентов осуществляли с использованием библиотеки масс-спектров «NIST11». Количественное содержание компонентов вычисляли по площадям пиков с использованием корректирующих коэффициентов чувствительности.

Статистическую обработку материала производили с использованием программы Microsoft Excel.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Использование вакуумирования бродящего сусла в качестве технологического приема, позволяющего удалить метаболиты дрожжевой клетки из реакционной среды, приводит к увеличению степени сбраживания сахаров. Периодическое вакуумирование сусла вызывает увеличение суммарной степени сбраживания сахаров в среднем на 10% в изученном температурном интервале (рис. 2).

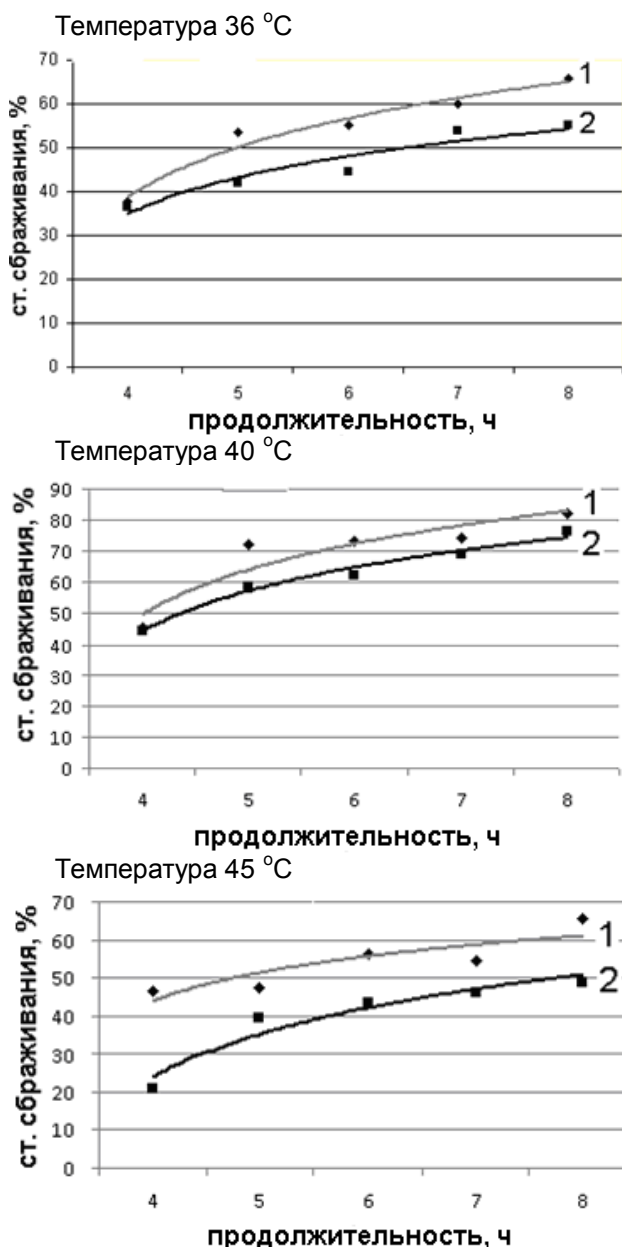


Рис. 2. Изменение величины степени сбраживания в ходе брожения: 1 – брожение с периодическим вакуумированием; 2 – холостой опыт

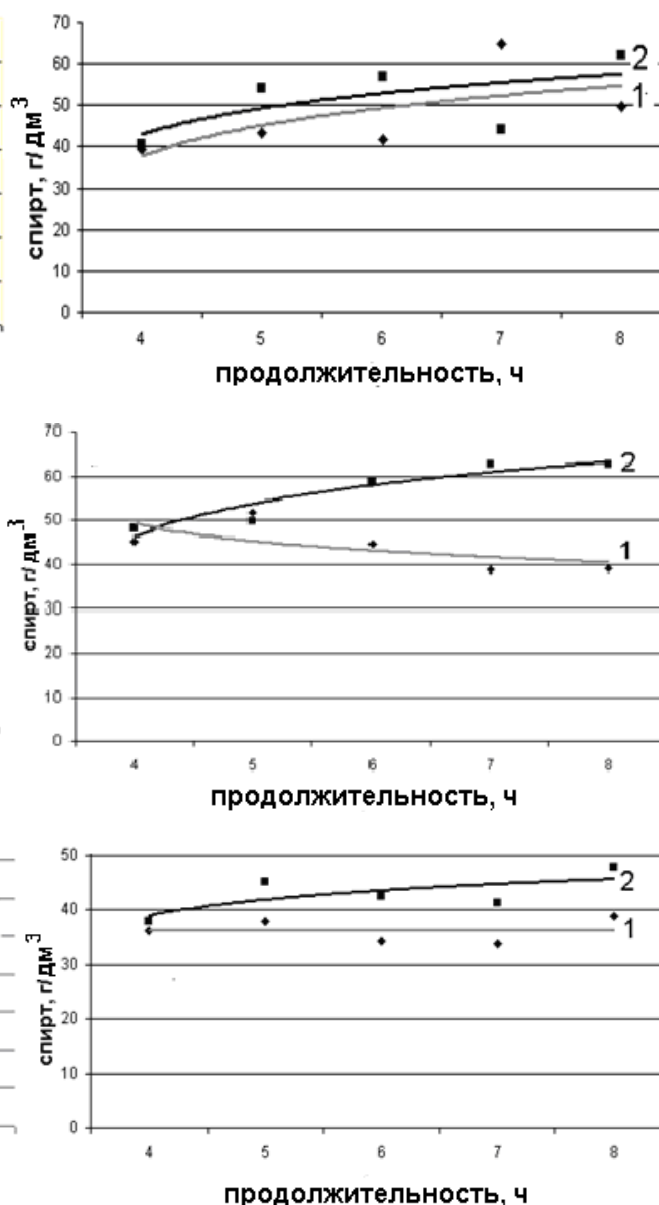


Рис. 3. Изменение концентрации спирта в бражке в ходе брожения: 1 – брожение с периодическим вакуумированием; 2 – холостой опыт

Эффективность исследуемого метода наиболее выражена при 40 °С, когда наблюдается максимальная степень сбраживания – 85% с использованием вакуумирования. Также при 40 °С наблюдается более полное удаление спирта из бродящей среды по сравнению с прочими температурными условиями (рис. 3), что благоприятно на ходе процесса брожения.

В результате удаления метаболитов дрожжей из реакционной среды увеличивается выход спирта в расчете на сброженные сахара. Так, при 40 °С с использованием периодического вакуумирования выход спирта составляет 74% от теоретического, в то время как при атмосферном давлении он достигает лишь 50%.

Использование периодического вакуумирования для увеличения интенсивности спирто-

вого брожения в среде с повышенной концентрацией сахара дает выраженный положительный эффект. Наиболее благоприятной температурой проведения процесса брожения для сусле концентрацией 25% следует считать 40 °С. При 36 °С наряду с более низкой степенью сбраживания сахаров не создаются условия для эффективного удаления метаболитов дрожжей (рис. 3), а при 45 °С жизнедеятельность дрожжей начинает подавляться под действием высокой температуры, образуется больше побочных продуктов брожения – эфиры, уксусная кислота. Таким образом, применение периодического вакуумирования при сбраживании сусле повышенной концентрации позволяет увеличить степень сбраживания сахаров и повысить выход спирта.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арсеньев Д.В., Ежков А.А. Технология этилового спирта на основе сопряжения процессов брожения и дистилляции // О состоянии и направлениях развития производства спирта этилового из пищевого сырья и ликероводочной продукции. М. : Пищевая промышленность, 2005. С. 77–92.

2. Яровенко В.Л., Маринченко В.А. Технология спирта. М. : Колос, 1999. 464 с.

3. Ketì Vezzù [etс.] Production of bioethanol under high pressure of CO<sub>2</sub>: The effect of process conditions // The Journal of supercritical fluids. 2009. № 51. P. 67–73.

4. ГОСТ 19792-2001. Мед натуральный. Технические условия. Взамен ГОСТ 19792-87; введ. 2001.05.24. Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2001. 15 с.