

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ЧИСТОЙ КУЛЬТУРЫ ПИВНЫХ ДРОЖЖЕЙ В КОЖУХОТРУБНОМ СТРУЙНО-ИНЖЕКЦИОННОМ АППАРАТЕ

Д. Д. Темершин, А. Г. Новоселов, Ю. Н. Гуляева, Е. В. Шуваев

В работе изучался процесс культивирования чистой культуры пивных дрожжей в кожухотрубном струйно-инжекционном аппарате (КСИА). Для культивирования были выбраны дрожжи верхового брожения Beer Vingem BVG-D/01. В качестве питательной среды использовалось пивное сусло с содержанием сухих веществ 12 %. Объем пивного сусла и посевного материала составляли 15 л и 3 л соответственно, концентрация дрожжей в посевном материале была ~ 90 млн/мл. Эксперимент проводился при 4 режимах, в которых регулировался расход подаваемого воздуха и температура культивирования: 1) расход 2 м³/ч при 30 °С; 2) расход 1 м³/ч при 30 °С; 3) расход 2 м³/ч при 25 °С; 2) расход 1 м³/ч при 25 °С. Продолжительность каждого эксперимента составляла 8 часов. После каждого часа эксперимента отбиралась проба для определения концентрации дрожжевых клеток и содержания сухих веществ. По полученным данным были построены кривые роста дрожжей, зависимости содержания сухих веществ от времени и определены константы скорости деления (μ) и время, необходимое для одного цикла деления (g). Полученные данные показывают, что разница между исследуемыми режимами аэрациями незначительна, однако предпочтительным вариантом является культивирование при расходе воздуха 1 м³/ч и температуре 30 °С. Исследование влияния температуры культивирования на конечное количество дрожжей показало, что снижение температуры с 30 °С до 25 °С значительно уменьшает выход дрожжей с ~240 млн/мл до ~180 млн/мл.

Ключевые слова: кожухотрубный струйно-инжекционный аппарат, чистая культура дрожжей, пивное сусло, верховые дрожжи, культивирование, кривая роста, инъекция, константа скорости деления, аэрация, камера Горяева, время деления.

Наличие на пивном заводе жизнеспособных дрожжей играет важную роль при превращении пива в сусло. В противном случае использование слабых или инфицированных дрожжей может привести к ухудшению качества пива.

Дрожжи – одноклеточные микроорганизмы, способные получать энергию аэробным и анаэробным способами [1].

При аэробном обмене веществ главной целью является увеличение числа дрожжей, которые далее будут использоваться уже в бродильном отделении. При анаэробном обмене, который происходит в бродильном отделении, главной целью является получение этанола и углекислого газа [2].

В пивоварении применяются дрожжи верхового и низового брожения. Дрожжи верхового брожения используются при производстве элей и имеют температуру брожения 15-25 °С, низовые дрожжи используются при производстве лагерного пива, где брожение уже происходит при низких температурах – 5-10 °С [3].

Если производство пива происходит в промышленных масштабах, то на пивоварне имеется отделение чистой культуры дрожжей (ЧКД). Малые пивоварни используют покупные сухие или жидкие дрожжи ввиду того, что наличие собственного отделения ЧКД является экономически невыгодным.

На больших пивоварнях культивирование ЧКД начинается в лаборатории, где под микроскопом отбираются наиболее жизнеспособные дрожжевые клетки, затем они переносятся в колбу со стерильным суслом для дальнейшего размножения. Доходя до стадии высоких завитков, дрожжи постоянно переливаются в колбу большего объема, содержащую стерильное сусло, для дальнейшего размножения. Достигнув объема 25 л размножение ЧКД происходит уже в производственных помещениях в специальном оборудовании [2].

Аппараты для культивирования представляют собой емкость, снабженную устройствами для аэрации, перемешивания и поддержания постоянной температуры.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ЧИСТОЙ КУЛЬТУРЫ ПИВНЫХ ДРОЖЖЕЙ В КОЖУХОТРУБНОМ СТРУЙНО-ИНЖЕКЦИОННОМ АППАРАТЕ

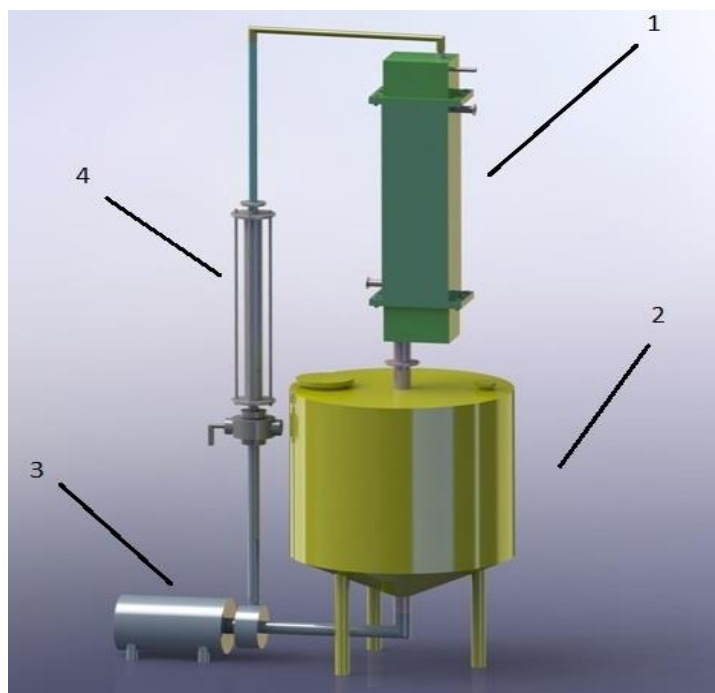
Перемешивание может осуществляться механическим, пневматическим и циркуляционным способами. Наиболее оптимальным с точки зрения эргономики и микробиологической безопасности является циркуляционный способ перемешивания, т. е. перемешивание происходит с помощью насоса, который перекачивает жидкость по замкнутому контуру. Поддержание постоянной температуры возможно при использовании водяных рубашек, змеевиков или пластинчатых теплообменников. Аэрирование же сусла обычно происходит с помощью барботера или форсунок, которые соединены с компрессорным оборудованием [4].

На базе кафедры процессов и аппаратов пищевых производств Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики был разработан кожухотрубный струйно-инжекционный аппарат, в котором аэрирование жидкости происходит с помощью инжек-

тирующей способности струи, т. е. чем выше расход циркулирующей жидкости, тем выше расход всасываемого воздуха. Данное решение позволяет отказаться от использования компрессорного оборудования, ограничиваясь только наличием воздушного фильтра [5, 6, 7, 8, 9].

Однако одним из недостатков аппарата является нагрев жидкости из-за ее трения о внутреннюю поверхность аппарата. Данное явление способно негативно сказаться на жизнеспособности дрожжей, а в крайнем случае, при несоблюдении технологических режимов, и привести к их гибели. Поэтому подбор оптимальных режимов аэрации и температур культивирования являются ключевыми факторами в получении оптимального количества жизнеспособных дрожжей.

Целью работы является исследование оптимальных режимов аэрации и температур при культивировании ЧКД.



1 – кожухотрубный теплообменник-аэратор, 2 – емкость-накопитель, 3 – насос центробежный, 4 – жидкостной циркуляционный трубопровод

Рисунок 1 – 3d-модель кожухотрубного струйно-инжекционного аппарата

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

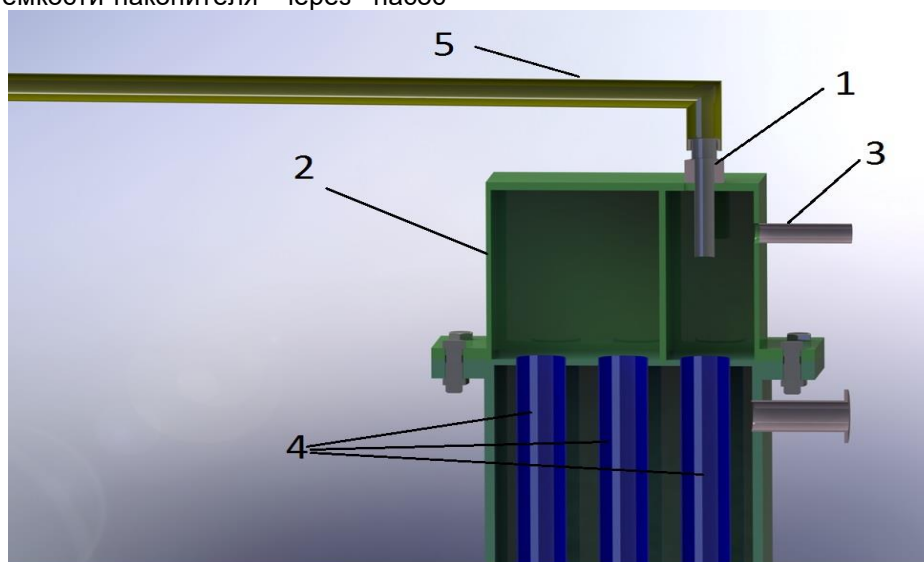
Для проведения эксперимента была использована лабораторная установка, состоящая из аппарата для приготовления питательной среды (пивного сусла) и кожухотрубного струйно-инжекционного аппарата.

Фильтрация сусла после затирания осуществлялась с помощью фильтровального мешка.

Кожухотрубный струйно-инжекционный аппарат (КСИА) состоит из 4 основных элементов (рисунок 1): кожухотрубного теплообменника-аэрата 1, емкости-накопи-

теля 2, центробежного насоса 3 и жидкостного циркуляционного трубопровода 4. Для возможности наблюдения и регулировки расхода жидкости также были установлены ротаметр и дополнительные краны. Принцип действия аппарата заключается в следующем: из емкости-накопителя через насос

жидкость циркулирует по жидкостному трубопроводу и попадает в кожухотрубный теплообменник-аэратор, где происходит аэрирование сусла, затем жидкость по трубам обратно попадает в емкость-накопитель, где процесс повторяется.



1 – сопло, 2 – крышка-аэратор, 3 – аэрационная трубка, 4 – трубы, 5 – жидкостной трубопровод

Рисунок 2 – Принцип действия инъекции

Принцип осуществления инъекции (рисунок 2) заключается в следующем: когда жидкость из емкости-накопителя по жидкостному трубопроводу 5 попадает внутрь крышки-аэратора 2 через сопло 1, то происходит смешивание жидкости и воздуха, всасываемого из аэрационной трубки 3, из-за инжектирующей способности струи. Далее, как описывалось ранее, жидкость по трубам 4 транспортируется обратно в емкость-накопитель.

В качестве питательной среды использовалось 12%-ное пивное сусло, которое готовилось по следующей технологии:

1. Мальтозная пауза (62 °С) – 60 мин.

2. Осахаривание (72 °С) – 30 мин.

3. Инактивация ферментов (80 °С) – 15 мин.

Порядок проведения эксперимента:

1. Варка сусла в сусловарочном аппарате.

2. Фильтрация пивного сусла.

3. Перекачивание сусла в КСИА на охлаждение;.

4. Залив посевного материала в КСИА.

5. Отбор начальной пробы;.

6. Включение КСИА и аэрирование при 4 различных режимах:

а) при расходе 2 м³/ч, 25 °С;

б) при расходе 1 м³/ч, 25 °С;

в) при расходе 2 м³/ч, 30 °С;

г) при расходе 1 м³/ч, 30 °С.

Для эксперимента были выбраны дрожжи верхового брожения BeerVingem BVG-D/01. Продолжительность эксперимента составляла 8 часов для каждого режима. После каждого часа эксперимента отбиралась проба для подсчета дрожжей и определения концентрации сухих веществ. Концентрация сухих веществ определялась с помощью ареометра, а для определения количества дрожжей была использована камера Горяева. Подсчет количества дрожжевых клеток осуществлялся по следующей методике [10]:

1. Отбор пробы (1 мл).

2. Разбавление пробы водой в определенной пропорции.

3. Добавление нескольких капель метиленового синего.

4. Нанесение пробы в камеру Горяева.

5. Подсчет количества дрожжей в 5 больших квадратах.

Определение общего количества дрожжей осуществлялось по формуле:

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ЧИСТОЙ КУЛЬТУРЫ ПИВНЫХ ДРОЖЖЕЙ В КОЖУХОТРУБНОМ СТРУЙНО-ИНЖЕКЦИОННОМ АППАРАТЕ

$$X = \frac{A \times N}{20}, \quad (1)$$

где X – искомое количество дрожжей (млн/мл);

A – количество подсчитанных дрожжей в 5 больших квадратах камеры;

N – разбавление пробы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

По полученным результатам для каждого эксперимента были построены кривые роста дрожжей, график изменения содержания сухих веществ от времени, а также получены константы скорости деления (ϑ) и время, необходимое для одного цикла деления (g). На рисунке 3 изображены кривые роста дрожжей при температуре культивирования 30 °С, где расход подаваемого воздуха составлял 1 м³/ч и 2 м³/ч. Начальная концентрация дрожжей в культивируемой среде составляла примерно 15 млн/мл. Как видно из графиков, в обоих случаях за 8 часов культивирования конечное количество дрожжей составляло примерно

240 млн/мл. На рисунке 4 изображен график зависимости содержания сухих веществ от времени для двух вышеперечисленных экспериментов. По этим двум графикам видно, что за 8 часов культивирования содержание сухих веществ уменьшилось с 12 % до 4 % при расходе воздуха 2 м³/ч и до 4 м³, до 3 % при 1 м³/ч. Из приведенных графиков очевидно, что существенное повышение расхода подаваемого воздуха фактически не влияет на конечное число получаемых дрожжей.

На рисунке 5 изображены кривые роста дрожжей при температуре культивирования 25 °С, где расход подаваемого воздуха составлял 1 м³/ч и 2 м³/ч. Из этих графиков видно, что при температуре 25 °С максимальное количество дрожжей составляло примерно 180 млн/мл при двух исследуемых расходах. Такое снижение конечного количества дрожжей подтверждается и на графиках зависимости содержания сухих веществ от времени на рисунке 6.

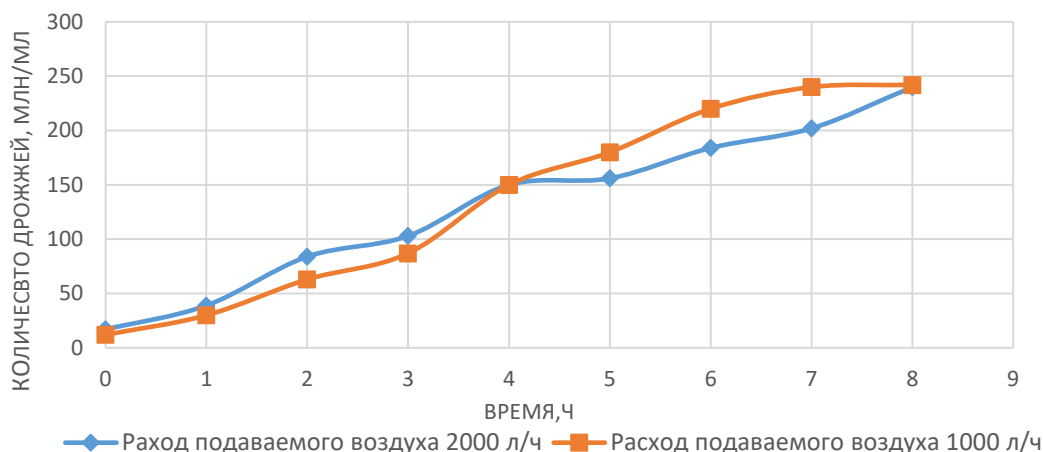


Рисунок 3 – Кривые роста дрожжей при различных расходах подаваемого воздуха. Температура культивирования 30 °С

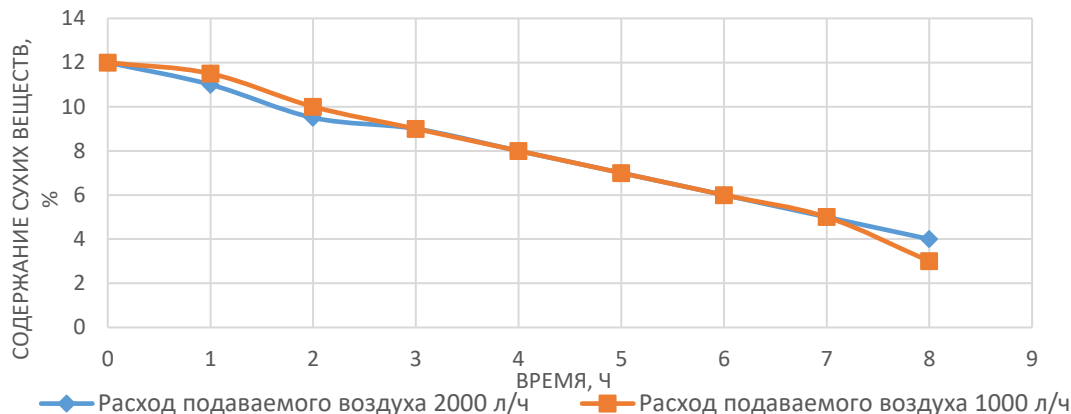


Рисунок 4 – Зависимость содержания сухих веществ от времени. Температура культивирования 30 °С

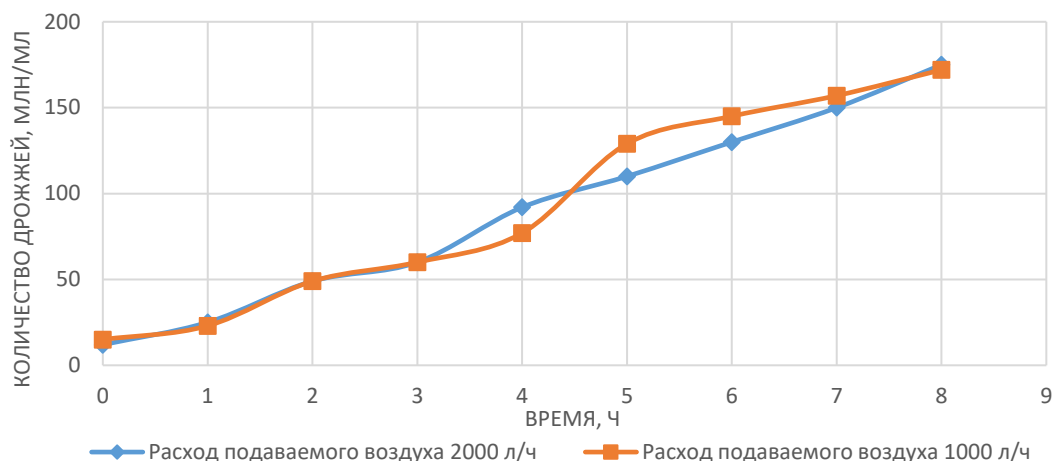


Рисунок 5 – Кривые роста дрожжей при различных расходах подаваемого воздуха. Температура культивирования 25 °С

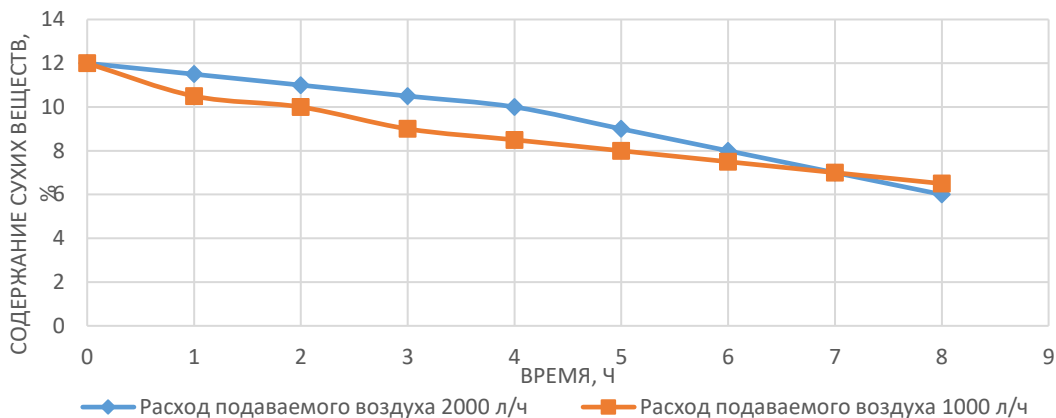


Рисунок 6 – Зависимость содержания сухих веществ от времени. Температура культивирования 25 °С

Для определения константы скорости деления (ϑ) была использована следующая формула:

$$\vartheta = \frac{\ln N - \ln N_0}{\ln 2 \cdot \Delta \tau} \quad (2)$$

где ϑ – константа скорости деления, ч⁻¹;

N_0 – количество клеток при начале засева, млн/мл;

N – количество клеток через период времени $\Delta \tau$, млн/мл;

$\Delta \tau$ – период времени от начала до конца культивирования, ч.

Время, необходимое для одного цикла

деления (g), вычислялось по следующей формуле:

$$g = \frac{1}{\vartheta} \quad (3)$$

Полученные данные были занесены в таблицу 1. По данным этой таблицы можно сделать вывод, что константы скорости деления при изучаемых расходах подачи воздуха значительно между собой не отличаются, однако оптимальным режимом все же является режим при подаче воздуха 1 м³/ч по причине того, что показатель константы скорости деления чуть выше, что уменьшает время одного цикла деления дрожжей.

Таблица 1 – Значения константы скорости деления и времени цикла одного деления

Наименование опыта	Константа скорости деления (ϑ), ч ⁻¹	Время одного цикла деления (g), ч
Расход 2 м ³ /ч, (30 °С)	0,70	2,09
Расход 1 м ³ /ч, (30 °С)	0,53	1,85
Расход 2 м ³ /ч, (25 °С)	0,44	2,23
Расход 1 м ³ /ч, (25 °С)	0,47	2,12

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ЧИСТОЙ КУЛЬТУРЫ ПИВНЫХ ДРОЖЖЕЙ В КОЖУХОТРУБНОМ СТРУЙНО-ИНЖЕКЦИОННОМ АППАРАТЕ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью работы являлось исследование оптимальных режимов аэрации и температуры при культивировании чистой культуры пивных дрожжей. По полученным результатам был сделан вывод, что увеличение расхода подаваемого воздуха при аэрации не влияет на конечное количество дрожжей. Поэтому проведение культивирования при расходе подаваемого воздуха $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ является оптимальным вариантом, который не вызывает существенного нагрева жидкости в аппарате при циркуляции. Исследование влияния температуры культивирования на конечное количество дрожжей показало, что снижение температуры с $30 \text{ }^\circ\text{C}$ до $25 \text{ }^\circ\text{C}$ значительно уменьшает конечное количество дрожжей с $\sim 240 \text{ млн/мл}$ до $\sim 180 \text{ млн/мл}$ соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кунце, В. Технология солода и пива: учеб пособие / Кунце В. – СПб: Профессия, 2002. – 911 с.
2. Прист, Ф. Дж., Микробиология пива: учеб пособие/ Прист Ф. Дж, Кемпбелла Й, – СПб: Профессия, 2005. – 368 с.
3. Краткий курс пивоварения / Л. Нарцисс; при участии В. Бака; пер. с нем. А. А. Куреленкова. – СПб.:Профессия, 2007. – с.59
4. Ермолаева, Г. А. Технология и оборудование производства пива и безалкогольных напитков: учеб пособие / Ермолаева Г. А., Колчева Р. А. – М:ИРПО, изд центр «Академия», 2000. – 416 с.
5. Баракова, Н. В. Повышение эффективности производства спирта за счет проведения нескольких технологических стадий в одном аппарате / Баракова Н. В., Ибрагимов Т. С., Начетова М. А., Новоселов А. Г. / Процессы и аппараты пищевых производств – СПб, 2010 г. – с. 48-52
6. Агаев, К. Э. Исследование уноса газа двухфазным потоком в трубы кожухотрубного струйно-инжекционного аппарата (КСИА)/ Агаев К. Э., Новоселов А. Г., Девяткин Ю. В., Дугнист А. В. / Новые технологии – Майкопский государственный технологический университет, 2011 г. – с. 11-14
7. Ибрагимов, Т. С. Проведение водно-

тепловой обработки, осахаривания и сбраживания высококонцентрированного сула в КСИБА с применением низкотемпературной схемой разваривания / Ибрагимов Т. С., Чеботарь А. В., Новоселов А. Г., – Майкопский государственный технологический университет, 2011 г. – с. 24-27

8. Сивенков, А. В. Гидродинамика газожидкостных потоков в кожухотрубных струйно-инжекционных аппаратах (КСИА). Гидродинамика КСИА без рециркуляции фаз / Сивенков А. В., Лебедева Т. Я., Новоселов А. Г. / Вестник международной академии холода – СПб, 2005 г. – с. 6-9

9. Меледина, Т. В. Культивирование пивных дрожжей низового брожения в кожухотрубном струйно-инжекционном абсорбере/ Меледина Т. В., Дарков Г. В., Тишин В. Б., Смирнов М. В. / Bruawelt, Мир пива – М., 2002 г. – С. 36-38

10. Меледина, Т. В. Практические основы использования биореактора Biostat A: учеб.пособие / Меледина Т. В., Иванова В. А., Федоров А. В. – СПб: ООО «Келла-Студио», 2018. – 40 с.

Темершин Дмитрий Дмитриевич, аспирант, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра процессов и аппаратов пищевых производств, тел. 8 960-231-54-47, e-mail: dima-lestreyd@mail.ru

Новоселов Александр Геннадьевич, д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра процессов и аппаратов пищевых производств, тел. 8 921-900-83-35, e-mail: dekrosh@mail.ru

Гуляева Юлия Николаевна, к.т.н., доцент, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра процессов и аппаратов пищевых производств, тел. 8 921-639-23-47, e-mail: gulyaeva.yul@yandex.ru

Шуваев Евгений Викторович, магистрант, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра процессов и аппаратов, e-mail: sheka95@mail.ru.