

УДК 663.423

Интенсификация процесса охмеления пивного сусла с применением роторно-пульсационного аппарата

Д-р техн. наук **Д.М. Бородулин**, borodulin_dmitri@list.ruд-р техн. наук **В.Н. Иванец**, tppp@kemtipp.ruканд. техн. наук **Е.А. Сафонова**, safonova.kem@yandex.ruканд. техн. наук **М.В. Просин**, santa-dtx@yandex.ru**И.О. Миленский**, milenkiyilia@mail.ru**В.В. Носкова**, noskval91@mail.ru

*Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)
650056, Россия, Кемерово, б-р Строителей, 47*

Исследовали перспективность интенсификации процесса охмеления пивного сусла. В эксперименте использовали хмелевой экстракт, предварительно приготовленный в роторно-пульсационном аппарате (РПА) с целью более полной экстракции и изомеризации горьких веществ, по сравнению с существующими способами. В данном аппарате на суспензию воздействуют ударные, акустические, истирающие нагрузки. В первой части исследований в экономических целях хмелевой экстракт состоял из воды и хмеля. Использовали гранулированный хмель сорта «Магнум» с содержанием α -кислоты 13%, производства Словения. Определяли технические параметры работы РПА, при которых полученный в нем экстракт имел максимально возможное содержание изогумулона – основного компонента горьких веществ. Содержание изогумулона $C_{из}$ в полученных образцах определялось методом, основанным на экстракции его из суспензии изооктаном и последующем нахождении оптической плотности полученного изооктанового экстракта на спектрофотометре при длине волны 275 нм. Для определения степени влияния технических параметров работы РПА на содержание изогумулона $C_{из}$ использовался метод множественного регрессионного анализа в программе Statistica 6. Получены уравнения регрессии, позволяющие спрогнозировать значение зависимой переменной $C_{из}$, а также поверхности отклика. Установлен оптимальный режим работы аппарата для лучшего выхода изогумулона: температура среды 85°C, частота вращения ротора 3000 об/мин, время обработки 3 мин. Содержание изогумулона $C_{из}$ в водном хмелевом экстракте при этом составило 63,2 мг/л. Вторая часть исследований состоит в приготовлении хмелевого экстракта из пивного сусла и хмеля этого же сорта в РПА при установленных оптимальных технических параметрах. Предварительные опытные данные показали, что содержание изогумулона в охмеленном пивном сусле составляет 51,41 мг/л, что на 19% больше по сравнению с образцом, полученным классическим способом с сусликом сорта «Жигулевское». Доказано, что применение РПА на стадии охмеления пивного сусла дает увеличение выхода горьких веществ, вследствие чего появляется возможность снижения норм внесения хмеля и сокращения длительности процесса кипячения при охмелении с 2 до 1 ч. Вторая часть исследования продолжается в настоящее время с целью разработки нового, более эффективного, способа охмеления пивного сусла.

Ключевые слова: сырье для пивоваренного производства; охмеление пивного сусла; роторно-пульсационный аппарат; производственный цикл; изогумулон; хмелевой экстракт.

DOI: 10.17586/2310-1164-2017-10-4-3-12

Intensification of beer wort hopping with the use of rotary pulsation apparatus

D.Sc. **Dmitriy M. Borodulin**, borodulin_dmitri@list.ruD.Sc. **Vitaliy N. Ivanets**, tppp@kemtipp.ruPh.D. **Elena A. Safonova**, safonova.kem@yandex.ruPh.D. **Maksim V. Prosin**, santa-dtx@yandex.ru**Ilya O. Milenkiy**, milenkiyilia@mail.ru**Valeriya V. Noskova**, noskval91@mail.ru

*Kemerovo Institute of Food Science and Technology
47, Stroiteley blv., Kemerovo, 650056, Russia*

The article is concerned with the intensification of beer wort hopping process. A hop extract is previously processed in the rotary pulsation apparatus (RPA) for the purpose of more complete extraction and isomerization of bitter substances, as compared to the existing methods. In the apparatus the suspension

is affected by shock, acoustic, and abrasive loads. In the first part of the research the hop extract consisted of water and hop. In the experiments granulated hop of Magnum variety with an α -acid content of 13%, produced in Slovenia, was used. Technical parameters of RPA work at which the received hop extract has the greatest possible content of isohumulone are determined. Isohumulone is the main component of bitter substances. The content of C_{is} isohumulone in the obtained samples was determined by a method based on its extraction of from the suspension by isooctane, and subsequent finding the optical density of the obtained isooctane extract on the spectrophotometer with the wavelength of 275 nm. The method of multiple regression analysis in the Statistica 6 software was used to determine the degree of influence of the technical operation parameters of the RPA on the content of C_{is} isohumulone. Regression equations are obtained allowing to predict the value of the dependent C_{is} variable, as well as the response surface. As a result, the optimal mode of operation of the apparatus is established: temperature of liquid is 85°C, speed of rotor is 3000 rpm, and processing time is 3 min. The content of isohumulone in aqueous hop extract was 63.2 mg/l. The second part of the research consisted in the preparation of hop extract from beer wort and hops of the same sort in the RPA with the pre-established optimal technical parameters. Preliminary experimental data showed the content of isohumulone in hopped beer wort of 51.41 mg/l. This is 19% more compared to the sample obtained in the classic way with Zhigulevskoe wort. Thus, the use of RPA at the stage of hopping beer wort gives an increase in the yield of bitter substances. As a result, it becomes possible to reduce the rate of hops and reduce the duration of the boiling process of hopping from 2 to 1 hour. The second part of the research is taking place now with the aim of developing a new, more effective, method of beer wort hopping.

Keywords: raw materials for brewing production; intoxication of beer mash; the rotor and pulsation device; production cycle; isohumulone; hop extract.

Введение

Рассматривая рынок пива по состоянию на настоящее время можно отметить его небольшое падение. В современных условиях для конкурентоспособности отрасли важны снижение затрат на производственный цикл. Это возможно достигнуть за счет совершенствования технологии производства путем внедрения нового современного оборудования.

Получить экономический эффект в пивоваренном производстве возможно за счет интенсификации стадии охмеления пивного сусла при введении нового аппарата. Процесс охмеления заключается в длительном кипячении пивного сусла с гранулированным или шишковым хмелем [1–3]. В это время происходит экстракция суслом хмелевых веществ, коагуляция белково-дубильных комплексов, ароматизация эфирными маслами, изомеризация горьких кислот из лупулиновых зерен, меланоидинообразование, стерилизация сусла, испарение (концентрирование), инактивация ферментов [1]. Основной компонент горьких веществ охмеленного сусла, образующийся при изомеризации гумулона (α -кислоты) хмеля, – изогумулон. Содержание его колеблется в значительных пределах и зависит от сорта хмеля, содержания в нем α -кислоты, степени экстракции и изомеризации в процессе варки. В настоящее время на пивоваренных заводах для проведения процесса охмеления используются сусловарочные аппараты с внутренним нагревателем [4], в результате чего получается охмеленное сусло, обладающее хорошим качеством при стандартном расходе хмеля [1]. Достоинством этого способа является достаточно полное извлечение и использование горьких веществ хмеля. Для лучшей экстракции иногда проводят его предварительный мокрый помол перед внесением в сусло для разрушения стенок. Главным недостатком является его большая энергозатратность, а следовательно, неэкономичность. Существуют другие методы, дающие больший выход горьких веществ [5–9]. Известен способ охмеления пивного сусла, предусматривающий внесение хмелевого экстракта в виде эмульсии, предварительно приготовленной путем механического диспергирования экстракта в части сусла, отобранного в начале его кипячения и освобожденного от коагулирующих белковых веществ, например, фильтрацией [10]. Недостатком в данном случае является отсутствие в хмелевом экстракте полифенольных соединений хмеля, влияющих на комплексообразование и коагуляцию белковых веществ пивного сусла, кроме того он не обеспечивает коллоидную стойкость и полноту вкуса готового пива. Наряду с этим затруднены отдельные технологические операции процесса, так как данный способ предусматривает отбор из сусловарочного котла в начале кипячения части пивного сусла, отделение

от него, например, фильтрацией скоагулированных белковых веществ, и только после этого – приготовление эмульсии и хмелевого экстракта.

Целью исследования является интенсификация процесса охмеления пивного сусла с применением нового современного аппарата, обеспечивающего сокращение времени производственного цикла и снижение расхода хмеля.

Объекты и методы исследования

В результате анализа существующих способов охмеления пивного сусла предлагается его интенсификация, которая заключается в кипячении сусла с хмелевым экстрактом, предварительно приготовленным в роторно-пульсационном аппарате. Применение данного аппарата позволит получить лучшее извлечение изогумулона и возможность снижения норм внесения хмеля. Конструкция РПА разработана в КемТИПП (рисунок 1) и защищена патентом [11].

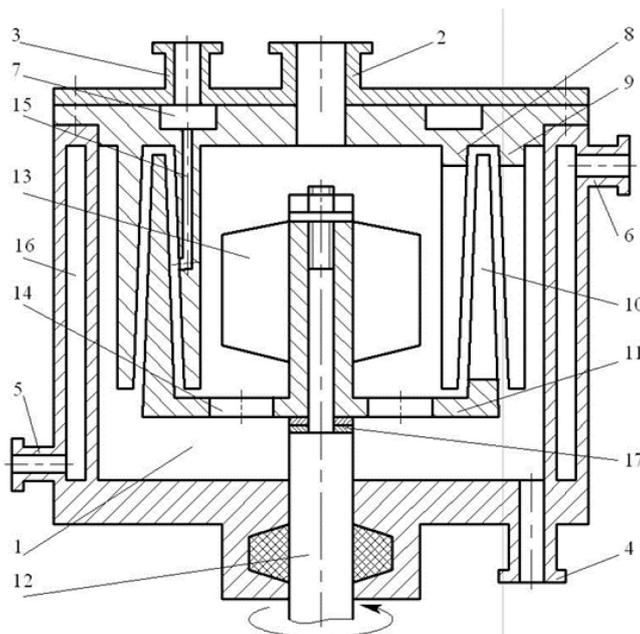


Рисунок 1 – Роторно-пульсационный аппарат:

1 – рабочая полость; 2 – штуцер входа свежей реакционной массы; 3 – штуцер входа газовой смеси; 4 – штуцер выхода реакционной массы; 5, 6 – штуцера входа и выхода хладоносителя; 7 – газовая камера; 8 – венец статора внутренний; 9 – венец статора наружный; 10 – венец ротора; 11 – ступица ротора; 12 – вал; 13 – лопасти; 14 – отверстия в ступице ротора; 15 – каналы в зубьях статора; 16 – рубашка; 17 – регулировочные шайбы

Fig. 1 – Rotor and pulsation device:

1 – working space; 2 – reaction mass inlet nozzle; 3 – gas mixture inlet nozzle; 4 – reaction mass outlet nozzle; 5, 6 – cooling medium inlet and outlet nozzles; 7 – gas chamber; 8 – inside stator ring gear; 9 – outside stator ring gear; 10 – rotor ring gear; 11 – rotor nave; 12 – shaft; 13 – blades; 14 – rotor nave hole; 15 – bores in stator lobes; 16 – jacket; 17 – adjusting rings

Приготовление хмелевого экстракта происходит следующим образом. В рабочую полость аппарата 1 через штуцер 2 загружается пивное сусло с гранулированным хмелем. При вращении вала 12 материальный поток под действием центробежных сил движется через зубья ротора 10 и статоров 8 и 9. Затем во внешней рабочей области аппарата поток направляется в его нижнюю часть, где за счет насосного эффекта проходит через отверстия 14 в ступице ротора 11 и лопастями 13 снова отбрасывается в зону межцилиндрового зазора. Благодаря механическим воздействиям РПА на твердую фазу за счет срезающих и истирающих нагрузок, а также развитой турбулентности, пульсациям давления и скорости потока жидкости улучшается ее растворимость. Этот процесс происходит как снаружи гранул хмеля, так и внутри них, что приводит к их интенсивному взаимодействию с пивным суслом. В результате перекрытия пазов ротора и статоров появляются чередующиеся зоны сжатия и расширения. За счет этого в жидкой фазе появляются области разрыва сусла – кавитационные зоны, образующие пузырьки, которые схлопываются с силой в несколько сот атмосфер, вследствие чего возникают ударные волны. Данное воздействие приводит к интенсивному диспергированию гранул хмеля и увеличивает поверхность взаимодействия фаз. Кроме того, за счет рециркуляции потока обеспечивается многократное взаимодействие компонентов экстракта. Многократное колебание частиц твердой фазы в местах трения приводит к повышению температуры смеси, и как следствие влияет на увеличение коэффициента

внутренней диффузии. Для поддержания необходимой температуры обрабатываемой среды в РПА используется тепловая рубашка 16 со штуцерами 5 и 6 для ввода и вывода хладоносителя. Набор регулировочных шайб 17 служит для настройки величины зазора между статорами и ротором. Приготовленный экстракт отводится из аппарата через штуцер 4. В данном аппарате газовая камера 7 с каналами 15 и штуцером 3 в процессе охмеления пивного сусла не была задействована и предназначена для проведения процессов в газожидкостных системах.

Для исследования процесса охмеления с применением РПА был поставлен полнофакторный эксперимент. В первой части исследований в экономических целях вместо пивного сусла для приготовления хмелевого экстракта использовалась вода и определялись рациональные технические параметры работы аппарата, при которых выход изогуμουлона максимален. Установление содержания данного компонента необходимо как для нормирования расхода хмеля, так и для контроля режима охмеления [12, 13]. В опытах использовался гранулированный хмель сорта «Магnum» с содержанием α -кислоты 13%, производства Словения. Содержание изогуμουлона $C_{из}$ в полученных образцах определялось методом, основанным на экстракции его из суспензии изооктаном и последующем нахождении оптической плотности полученного изооктанового экстракта на спектрофотометре при длине волны 275 нм [1]. Метод состоит в следующем. Суспензию освобождают от взвешенных частиц центрифугированием. Пипеткой отбирают 10 см³ очищенной среды, переносят в стеклянный цилиндр, куда добавляют 1 см³ 3 моль/дм³ раствора соляной кислоты и 20 см³ изооктана (при 20°C). Закрывают цилиндр пробкой и встряхивают 30 раз в течение 30 с, затем его оставляют в покое для разделения слоев жидкости. После отстаивания пипеткой отбирают часть прозрачного верхнего слоя и переносят в кювету, не доливая ее примерно на 10 мм до верхнего края. В другую кювету наливают чистый изооктан. Обе кюветы в кюветодержателе помещают в спектрофотометр и определяют плотность при длине волны 275 нм (D_{275}). Содержание изогуμουлона $C_{из}$ рассчитывают по формуле

$$C_{из} = 57,2 \cdot D_{275} - 5,9 . \tag{1}$$

При проведении предварительных экспериментов было определено, что наилучший выход изогуμουлона происходит при зазоре между ротором и статором $s = 0,3$ мм [14]. Базовые точки и шаги варьирования параметров работы РПА представлены в таблице 1.

Таблица 1– Базовые точки и шаги варьирования

Table 1– Reference points and variation intervals

Зазор между ротором и статором $s = 0,3$ мм				
Фактор	Верхний уровень	Нижний уровень	Центр плана	Интервал варьирования
температура среды t , °C	85	55	70	15
частота вращения ротора n , об/мин	3000	2000	2500	500
время обработки τ , мин	3	1	2	1

Известны исследования результатов функционирования различных смесителей для сыпучих материалов методом множественного регрессионного анализа [15]. Аналогичным образом применен данный анализ в программе Statistica 6 для определения степени влияния независимых переменных t, n, τ на зависимую переменную $C_{из}$. На первом этапе было смоделировано и проанализировано влияние температуры среды t и частоты вращения ротора n на выход изогуμουлона. Данные оценки модели представлены в таблице 2. Видно, что коэффициент корреляции R близок к единице, что говорит о сильной зависимости выходной переменной от данных параметров. Коэффициент детерминации R^2 у модели также высок. Доля дисперсии зависимой переменной, объясняемая рассматриваемой моделью зависимости, составляет 89,5%. Критерий Фишера F имеет достаточное значение, чтобы утверждать, что модель является адекватной и может быть применима для прогнозирования содержания изогуμουлона $C_{из}$. Описываемая модель является статистически значимой, так как p -уровень составляет 0%. Это значит, что модель с нулевой вероятностью будет являться лишь случайным совпадением для данной выборки. В таблице 3 представлены результаты и коэффициенты регрессии данной модели.

Из таблицы 3 видно, что статистическая значимость (p -уровень) у независимых коэффициентов равна 0%. Это значит, что они с вероятностью, равной соответствующему ему p -уровню, будут говорить,

что найденная зависимость является лишь случайной особенностью выборки. Следовательно, данные коэффициенты с высокой степенью точности рассчитаны для данной математической модели. Для оценки меры чувствительности $C_{из}$ к t и n анализируем коэффициенты веса Beta, которые показывают, что на выход изогулумулона оказывает влияние как частота вращения ротора, так и температура обработки. Влияние переменной t (Beta = 0,848) проявляется больше, чем n (Beta = 0,476), поэтому именно температура оказывает более значимое влияние на содержание изогулумулона в экстракте, но обе переменные значимы для регрессионного анализа.

Таблица 2 – Оценка модели с независимыми переменными t, n
 Table 2 – Evaluation of the model with independent variables (t, n)

Множественный коэффициент корреляции, R	0,946
Множественный коэффициент детерминации, R^2	0,895
Скорректированный коэффициент корреляции, R	0,887
F-критерий	103,344
p-уровень	0

Таблица 3 – Результаты и коэффициенты регрессионной модели с независимыми переменными t, n
 Table 3 – Results and coefficients of regressive model with independent variables (t, n)

Переменные	Param	t	p	Содержание изогулумулона, Beta
св. член	-1,564	-0,41206	0,683951	-
$t, ^\circ\text{C}$	0,457	12,43097	0,000000	0,818447
$n, \text{об/мин}$	0,008	7,22224	0,000000	0,475508

По параметрам модели (Param), представленных в таблице 3, получаем уравнение регрессии, которое позволяет спрогнозировать значение зависимой переменной $C_{из}$:

$$C_{из} = -1,564 + 0,457 \cdot t + 0,008 \cdot n. \tag{2}$$

По уравнению регрессии (2) была получена поверхность отклика, представленная на рисунке 2, из которого видно, что при температуре среды 85°C и частоты вращения ротора 3000 об/мин содержание изогулумулона в получаемом экстракте максимально – 64 мг/л. Следовательно, данные значения параметров принимаем рациональными для обработки суспензии в РПА.

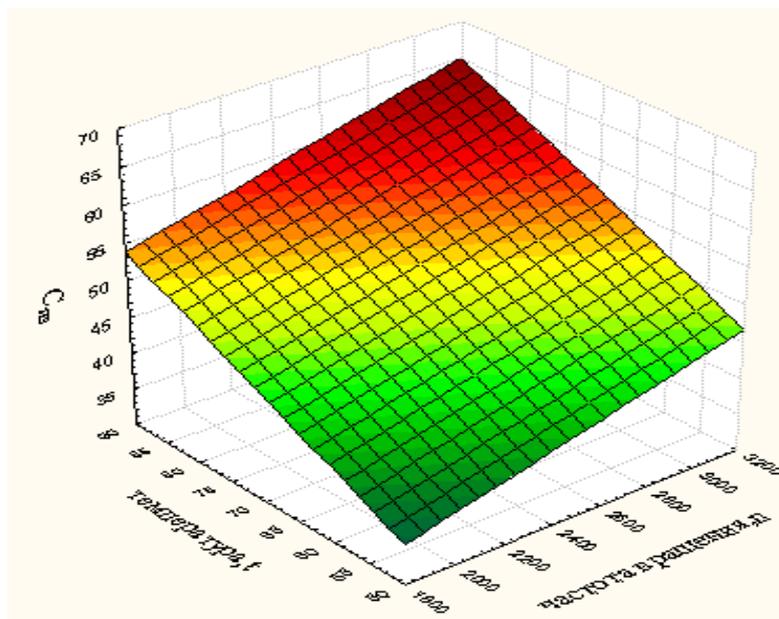


Рисунок 2 – Зависимость содержания изогулумулона от температуры обрабатываемой среды и частоты вращения ротора

Fig. 2 – The dependence of isohumulone content on the temperature of the medium being processed and rotor speed

Наблюдаемые значения изогумулона $C_{из}^{набл}$, полученные в ходе проведенных исследований, сравнили с предсказанными числовыми значениями $C_{из}^{пред}$, рассчитанными с помощью регрессионной модели (1), а также оценили ее адекватность посредством относительной погрешности $\Delta C_{из}$

$$\Delta C_{из} = \frac{|C_{из}^{набл} - C_{из}^{пред}|}{C_{из}^{набл}} \cdot 100\%. \tag{3}$$

Полученные результаты по формуле (3) представлены в таблице 4, из которой видно, что среднее значение относительной погрешности по 27 полученным экспериментальным и модельным значениям выхода изогумулона составляет 3,97%, что вписывается в допускаемые инженерные расчеты. Следовательно, полученную регрессионную модель с двумя переменными t и n можно использовать для предсказания определения изогумулона в пределах исследуемого диапазона величин.

Таблица 4 – Сравнение наблюдаемых и предсказанных значений

Table 4 – Experimental and predicted values

№	$C_{из}^{набл}$, мг/л	$C_{из}^{пред}$, мг/л	$\Delta C_{из}$, %
1	37,57	39,47	4,81
2	43,01	46,32	7,14
3	52,40	53,17	1,44
4	40,35	39,47	2,23
5	44,02	46,32	4,96
6	55,40	53,17	4,20
7	42,50	39,47	7,68
8	45,59	46,32	1,57
9	55,80	53,17	4,95
10	41,30	43,45	4,94
11	47,13	50,29	6,30
12	56,47	57,15	1,18
13	42,12	43,45	3,06
14	49,58	50,29	1,43
15	57,47	57,15	0,57
16	46,11	43,45	6,13
17	53,92	50,29	7,20
18	59,02	57,12	3,28
19	45,32	47,43	4,44
20	50,60	54,28	6,77
21	59,80	61,13	2,17
22	49,53	47,43	4,43
23	53,49	54,28	1,45
24	60,03	61,13	1,79
25	51,50	47,43	8,59
26	54,80	54,28	0,96
27	63,20	61,13	3,39
Среднее значение $\Delta C_{из}$			3,97

На втором этапе был проведен анализ регрессионной модели с независимыми переменными: температура среды t и время обработки τ . В таблице 5 представлены данные оценки полученной модели, из которых следует, что модель является адекватной и может применяться для прогнозирования содержания изогумулона $C_{из}$ в экстракте.

Таблица 5 – Оценка модели с независимыми переменными t, τ
 Table 5 – Evaluation of the model with independent variables (t, τ)

Множественный коэффициент корреляции, R	0,858
Множественный коэффициент детерминации, R^2	0,736
Скорректированный коэффициент корреляции, R	0,714
F-критерий	33,51
p-уровень	0

В таблице 6 представлены коэффициенты регрессии модели, показывающие, что зависимость выходной переменной $C_{из}$ от входных переменных t и τ велика и подтверждающие статистическую значимость модели. Наряду с этим видно, что t оказывает большее влияние на выход $C_{из}$, чем τ .

Таблица 6 – Результаты и коэффициенты регрессионной модели с независимыми переменными t, τ
 Table 6 – Results and coefficients of regression model with independent variables (t, τ)

Переменные	Param	t	τ	Содержание изогумулона, Beta
св. член	14,01778	3,107613	0,004799	–
$t, ^\circ\text{C}$	0,45663	7,808549	0,000000	0,818447
$\tau, \text{мин}$	2,15778	2,459924	0,021482	0,257835

Сложив численные значения Param, представленные в таблице 6, получаем регрессионную модель с независимыми переменными – температура среды t и время ее обработки τ , которая позволит прогнозировать значения изогумулона $C_{из}$

$$C_{из} = 14,017 + 0,457 \cdot t + 2,158 \cdot \tau. \tag{4}$$

На основе уравнения (4) построена поверхность отклика, представленная на рисунке 3, показывающая, что при температуре среды 85°C и время обработки τ – 3 мин, содержание изогумулона в получаемом экстракте максимально – 62 мг/л. Следовательно, данные значения параметров принимаем рациональными для обработки суспензии в РПА.

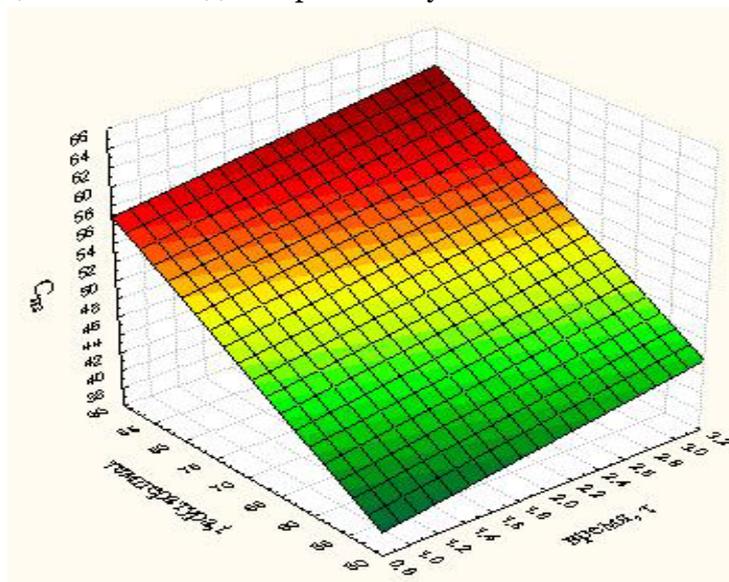


Рисунок 3 – Зависимость содержания изогумулона от температуры среды и времени обработки
 Fig. 3 – The dependence of isohumulone content on the temperature of the medium and processing time

Полученные наблюдаемые и предсказанные значения выхода изогулмулона представлены в таблице 7, из которой видно, что среднее значение относительной погрешности $\Delta C_{из}$ составило 5,98%. Следовательно, модель является адекватной и показывает высокую точность прогнозирования.

Таблица 7 – Сравнение наблюдаемых и предсказанных значений «температура–время»

Table 7 – Time-temperature experimental and predicted values of

№	$C_{из}^{набл}$, мг/л	$C_{из}^{пред}$, мг/л	$\Delta C_{из}$, %
1	37,57	41,29	4,81
2	43,01	48,14	7,14
3	52,40	54,99	1,44
4	40,35	43,45	2,23
5	44,02	50,29	4,96
6	55,40	57,15	4,20
7	42,50	45,61	7,68
8	45,59	52,46	1,57
9	55,80	59,30	4,95
10	41,30	41,29	4,94
11	47,13	48,14	6,30
12	56,47	54,99	1,18
13	42,12	43,45	3,06
14	49,58	50,29	1,43
15	57,47	57,15	0,57
16	46,11	45,61	6,13
17	53,92	52,46	7,20
18	59,02	59,30	3,28
19	45,32	41,29	4,44
20	50,60	48,14	6,77
21	59,80	54,99	2,17
22	49,53	43,45	4,43
23	53,49	50,29	1,45
24	60,03	57,15	1,79
25	51,50	45,61	8,59
26	54,80	52,46	0,96
27	63,20	59,30	3,39
Среднее значение $\Delta C_{из}$			5,98

Заключение

В первой части исследования был установлен оптимальный режим работы РПА для лучшего выхода изогулмулона: температура среды – 85°C, частота вращения ротора – 3000 об/мин, время обработки – 3 мин. Полученные данные можно объяснить тем, что высокое значение температуры среды увеличивает коэффициент внутренней диффузии, а при частоте вращения ротора 3000 об/мин возникают ударные волны и низкочастотные колебания, приводящие к интенсивному диспергированию. При данных технических параметрах аппарата содержание изогулмулона $C_{из}$ в водном хмелевом экстракте составляет 63,2 мг/л.

Вторая часть исследования состояла в приготовлении хмелевого экстракта из пивного сула и хмеля этого же сорта в РПА при установленных оптимальных технических параметрах на первом этапе.

Предварительные опытные данные здесь показали, что $C_{из}$ в охмеленном пивном сусле составляет 51,41 мг/дм³, что на 19% больше по сравнению с образцом, полученным классическим способом с суслом сорта «Жигулевское». Таким образом, применение РПА на стадии охмеления пивного сула дает увеличение выхода горьких веществ, вследствие чего появляется возможность снижения норм внесения хмеля и сокращения длительности процесса кипячения при охмелении с 2 до 1 ч. Данная часть исследования продолжается в настоящее время.

Научная новизна работы заключается в интенсификации процесса охмеления пивного сула с применением роторно-пульсационного аппарата. По результатам исследований разрабатывается новый, более эффективный способ охмеления пивного сула.

Литература

1. *Борисенко Т.Н.* Технология отрасли. Технология пива: учебное пособие. Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2007. 136 с.
2. *Христюк А.В., Касьянов Г.И.* Хмель в пивоварении // Пиво и напитки. 2007. № 1. С. 10–12.
3. *Христюк А.В., Касьянов Г.И.* Особенности производства солода и хмеля для пивоварения // Известия вузов. Пищевая технология. 2007. № 3. С. 66–68.
4. *Федоренко Б.Н.* Пивоваренная инженерия: технологическое оборудование отрасли. СПб.: Профессия, 2009. 1000 с.
5. *Оганнисян В.Г.* Современные способы охмеления пивного сула // Инновационные технологии в сервисе: сборник материалов IV Международной научно-практической конференции. СПб: Изд-во СПб гос. эконом. ун-та, 2015. С. 338–339.
6. *Касьянов Г.И., Соболев, А.В.* Применение комплексного экстракта хмеля в пивоваренном производстве // Труды Краснодарского НИИ хранения и переработки сельскохозяйственного сырья. 2000. Вып. 4. С. 187–188.
7. *Христюк А.В.* Производство и применение экстрактов хмеля в пивоварении // Сверхкритические флюидные технологии – инновационный потенциал России: сб. тр. Ростов-на-Дону, 2006. С. 84–86.
8. *Струкова В.Е., Качаева Н.Ю., Стрибизжева Л.И., Гусев П.В.* Выбор способа экстрагирования хмеля на состав и выход хмелевого экстракта // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. Краснодар, 2015. № 8. С. 118–121.
9. *Магомедов Г.О., Дерканосова Н.М., Белокурова Е.В., Шеламова С.А.* Способ получения хмелевого экстракта: пат. 2322484 РФ. 2008.
10. *Пехов А.В., Пономаренко И.Я., Прокопчук А.Ф., Разинков П.Ф., Мизуренкова Р.С., Волкович Н.М., Юрист Л.И.* Способ охмеления пивного сула: а.с. 208625 СССР. 1968. Бюл. № 4.
11. *Иванец В.Н., Иванец Г.Е., Афанасьева М.М., Сафонова Е.А., Артемасов В.В.* Роторно-пульсационный аппарат: пат. 2190462 РФ. 2002. Бюл. № 28.
12. *Домарецкий В.А.* Технология экстрактов, концентратов и напитков из растительного сырья: учебное пособие. Москва: Форум, 2007. 442 с.
13. *Хоконова М.Б., Терентьев С.Е.* Рациональные способы дозирования хмеля в пивоваренном производстве // Пиво и напитки. 2017. № 2. С. 22–24.
14. *Бородулин Д.М., Сафонова Е.А., Просин М.В., Миленский И.О.* Исследование процесса охмеления пивного сула с применением современного оборудования // Современные материалы, техника и технологии. 2017. № 3(11). С. 16–21.
15. *Бородулин Д.М., Шушпанников А.Б., Войткова Л.А.* Исследование функционирования центробежного смесителя непрерывного действия методом множественного регрессионного анализа // Техника и технология пищевых производств. 2012. № 1. С. 98–103.

References

1. *Borisenko T.N.* *Tekhnologiya otrasli. Tekhnologiya piva: uchebnoe posobie* [Technology industry. Technology of beer: a tutorial]. Kemerovo, Kemerovo Institute of Food Science and Technology Publ., 2007. 136 p.
2. *Khristyuk A.V., Kas'yanov G.I.* *Khmel' v pivovarenii* [Hops in brewing]. *Beer and drinks*. 2007, no. 1, pp. 10–12.
3. *Khristyuk A.V., Kas'yanov G.I.* *Osobennosti proizvodstva soloda i khmelya dlya pivovareniya* [Technology of using hops in brewing]. *News of universities. Food technology*. 2007, no. 3, pp. 66–68.
4. *Fedorenko B.N.* *Pivovarennaya inzheneriya: tekhnologicheskoe oborudovanie otrasli* [Brewing Engineering. Technological equipment of the industry]. St. Petersburg, Profession Publ., 2009. 1000 p.
5. *Ogannisyanyan V.G.* *Sovremennyye sposoby okhmeleniya pivnogo susla* [Modern ways of hopping beer wort]. *Innovative technologies in the service. Proceedings of the Conference*. St. Petersburg, St. Petersburg State Economic University Publ., 2015, pp. 338–339.

6. Kas'yanov G.I., Sobolev, A.V. Primenenie kompleksnogo ekstrakta khmelya v pivovarennom proizvodstve [Application of a complex extract of hops in brewing industry]. *Proceedings of the Krasnodar Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Raw Materials*. 2000, Issue 4, pp. 187–188.
7. Khristyuk A.V. Proizvodstvo i primeneniye ekstraktov khmelya v pivovarenii [Production and application of hops extracts in brewing]. *Supercritical fluid technologies-innovation potential of Russia. Proceedings of the Conference*. Rostov-on-Don. 2006, pp. 84–86.
8. Strukova V.Ye., Kachaeva N.Yu., Stribizheva L.I., Gusev P.V. Vybor sposoba ekstragirovaniya khmelya na sostav i vykhod khmelevogo ekstrakta [Choice of a method for extracting hops on the composition and yield of hop extract]. *Scientific works of the Kuban State Technological University*. Krasnodar. 2015, no. 8, pp. 118–121.
9. Magomedov G.O., Derkanosova N.M., Belokurova E.V., Shelamova S.A. *Sposob polucheniya khmelevogo ekstrakta* [A method for obtaining hop extract]. Patent RF, no 2322484. 2008.
10. Pekhov A.V., Ponomarenko I.Ya., Prokopchuk A.F., Razinkov P.F., Mizurenkova R.S., Volkovich N.M., Yurist L.I. *Sposob okhmeleniya pivnogo susla* [A method for hopping beer wort]. Patent USSR, no 208625. 1968.
11. Ivanets V.N., Ivanets G.E., Afanas'eva M.M., Safonova E.A., Artemasov V.V. *Rotorno-pul'satsionnyi apparat* [Rotor-pulsation apparatus]. Patent RF, no 2190462. 2002.
12. Domaretskii V.A. *Tekhnologiya ekstraktov, kontsentratsiy i napitkov iz rastitel'nogo syr'ya: uchebnoye posobie* [Technology of extracts, concentrates and drinks from vegetable raw materials: a tutorial]. Moscow: Forum Publ., 2007. 442 p.
13. Khokonova M.B., Terent'ev S.E. Ratsional'nye sposoby dozirovki khmelya v pivovarennom proizvodstve [Rational ways of dosage of hops in brewing industry]. *Beer and drinks*. 2017, no. 2, p. 22–24.
14. Borodulin D.M., Safonova E.A., Prosin M.V., Milen'kii I.O. Issledovanie protsessy okhmeleniya pivnogo susla s primeneniem sovremennogo oborudovaniya [Research of the process of beer hopping with the use of modern equipment]. *Modern materials, technology and technology*. 2017, no. 3(11), pp. 16–21.
15. Borodulin D.M., Shushpannikov A.B., Voitikova L.A. Issledovanie funktsionirovaniya tsentrobezhnogo smesitelya nepreryvnogo deistviya metodom mnozhestvennogo regressionnogo analiza [Research a functioning of the continuous centrifugal mixer by method of multiple regression analysis]. *Techniques and technology in food processing*. 2012, no. 1, pp. 98–103.

Статья поступила в редакцию 06.09.2017