

УДК 663.4

## INTENSIFICATION OF MALT ROASTING PROCESS

P. Ebienfa, V. Grudanov, V. Pozdniakov

*Belarusian State Agrarian Technical University*

A. Ermakov

*Belarusian National Technical University*

---

**Key words:**

*Caramel malt*

*Beer*

*Roasting of grains*

---

**Article history:**

Received 15.07.2015

Received in revised form

14.08.2015

Accepted 02.09.2015

---

**Corresponding author:**

A. Ermakov

**E-mail:**

06252984@mail.ru

---

**ABSTRACT**

The studies were aimed at developing an apparatus for roasting malt for small enterprises. The factors influencing the process of roasting were investigated. Experimental studies were conducted in accordance with the plan  $2^{4+}$  star. It was determined that the greatest influence on the quality of the finished product in the selected intervals has a variation of the rotational speed  $n$  of the drum and a drum fill factor  $\varphi$ . The optimum speed of the drum and the filling factor in the second stage of roasting are  $n=47 \text{ min}^{-1}$  and  $\varphi=0.75$ , when  $t_p=165 \text{ }^\circ\text{C}$  and  $\tau=160$ , which provide high quality of the malt and high productivity of the device.

## ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ОБЖАРЮВАННЯ СОЛОДУ

П.Д. Ебіенфа, В.Я. Груданов, В.М. Поздняков

*Білоруський державний аграрний технічний університет*

А.І. Єрмаков

*Білоруський національний технічний університет*

*У результаті проведених досліджень розроблено апарат для обжарювання солоду в умовах малих підприємств; досліджено фактори, що впливають на процес обсмаження; проведені експериментальні дослідження згідно з планом  $2^{4+}$  зірка. При цьому встановлено, що найбільший вплив на якість готового продукту у вибраних інтервалах варіювання чинять частоти обертання барабана  $n$  і коефіцієнта заповнення барабана  $\varphi$ . Оптимальною частотою обертання барабана і коефіцієнтом заповнення при  $t_p=165 \text{ }^\circ\text{C}$  і  $\tau=160 \text{ хв}$  на другому етапі обсмажування є  $n=47 \text{ об/хв}$  і  $\varphi=0,75$ , які забезпечують високу якість солоду і продуктивність апарата.*

**Ключові слова:** карамельний солод, пиво, обжарювання зерен.

**Постановка проблеми.** В настоящее время в большинстве стран мира пиву как слабоалкогольному напитку принадлежит одно из ведущих мест.

Следует отметить, что основная доля произведенного пива приходится на крупные предприятия, оснащенные высокопроизводительным оборудованием. Однако в последние годы достаточно успешно развиваются небольшие частные производства (пивоварни при пивных ресторанах), продукция которых, особенно пиво темных сортов, пользуются высоким спросом у населения.

Основным сырьем для приготовления пива является пивоваренный солод, а также хмель, вода и дрожжи.

Пивоваренный солод — это зерно пивоваренного ячменя, пророщенное по специальной технологии солодоращения, а затем высушенное. Для производства темных сортов пива используется карамельный солод.

В условиях рыночной конкуренции производители пива вынуждены увеличивать ассортимент выпускаемой продукции. Увеличение ассортимента возможно за счет выпуска темных сортов пива, в состав которых наряду со светлыми сортами солода добавляются специальные. В связи с этим при производстве темных сортов пива возрастает потребность в высококачественных специальных сортах солода (карамельного и жжёного). Одним из основных процессов при производстве карамельного и жжёного солода является процесс его тепловой обработки, в результате которой продукт приобретает своеобразный цвет и аромат.

Одним из наиболее важных этапов в процессе производства карамельного солода является этап обжарки. Обжарка осуществляется в аппаратах с вертикальным или горизонтальным расположением рабочей камеры, при этом независимо от расположения рабочей камеры все известные аппараты имеют специальные устройства для интенсивного и равномерного перемешивания обрабатываемого сырья. Следует также отметить, что существующие аппараты для обжарки солода имеют высокую энергоёмкость и производительность, поэтому не могут использоваться в условиях небольших частных производств, которые набирают все большую популярность. В связи с этим разработка нового аппарата для обжарки солода в условиях малых производств является актуальной задачей.

**Материалы и методы.** *Материалы.* Для проведения исследований использовался пивоваренный ячменный солод — зерно пивоваренного ячменя, пророщенное по специальной технологии солодоращения, а затем высушенное.

Для производства тёмных сортов пива используют карамельный солод — сильно окрашенный ароматический продукт, получаемый из свежепросоженного светлого солода путем осахаривания и обжаривания. Его готовят по следующей схеме: свежепросоженный светлый солод многократным орошением водой увлажняют до 50—60 % и загружают в обжарочный барабан на 2/3 его вместимости. При частоте вращения барабана 30 мин<sup>-1</sup> солод нагревают до 70 °С, выдерживают 40—50 мин, затем нагревают до 130—180 °С, давая возможность солоду в это время высохнуть, и обжаривают до получения нужного цвета в течение 2,5—4,0 ч.

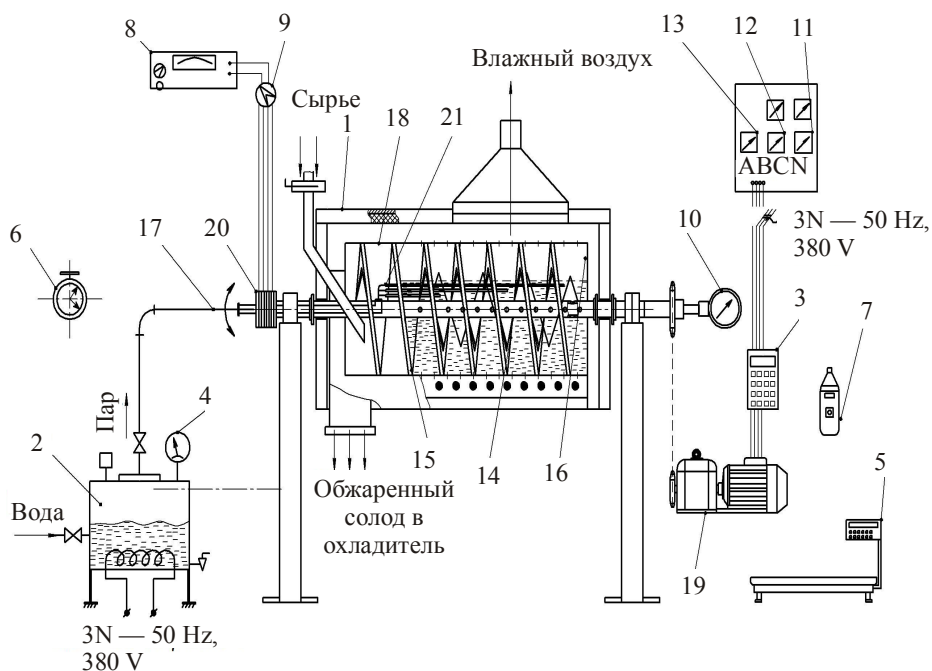
*Экспериментальная установка.* Для проведения экспериментальных исследований разработан и изготовлен стенд, основным звеном которого является новый аппарат для обжарки солода. Схема экспериментального стенда представлена на рис. 1.

Технические характеристики лабораторного аппарата представлены в табл. 1.

*Таблица 1. Технические характеристики лабораторного аппарата для обжарки солода*

Показатель	Значение
Частота вращения шнека, об/мин	5—100
Температура внутри рабочей камеры, °С	30—260
Время обжарки (не менее), мин	1
Мощность парогенератора, кВт	12,2
Установленная мощность ТЭНов, кВт	2
Масса, кг не более	75

Разработанный экспериментальный стенд предназначен для исследования процессов тепловой обработки пищевых сыпучих продуктов в паровоздушной среде на установках с интенсивным перемешиванием, определения влияния режимных параметров работы на качество конечной продукции, удельные энергзатраты и производительность данного оборудования.



**Рис. 1. Схема экспериментального стенда:** 1 — обжарочный аппарат; 2 — парогенератор; 3 — частотный преобразователь E2-8300-007H; 4 — манометр; 5 — весы электронные SC 4010; 6 — секундомер; 7 — пирометр оптический АК ИП 9303; 8 — милливольтметр; 9 — пакетный переключатель; 10 — тахометр; 11 — вольтметр; 12 — амперметр; 13 — ваттметр; 14 — ТЭНы; 15 — шнек; 16 — вал перфорированный; 17 — паропровод; 18 — обжарочный барабан с винтовыми направляющими; 19 — привод; 20 — контактная группа; 21 — термопары

Конструкция лабораторного обжарочного аппарата позволяет регулировать следующие основные параметры: частоту вращения шнека; расход пара; давление пара на выходе из парогенератора; коэффициент заполнения рабочей камеры; температуру внутри рабочей камеры; время обжарки.

Процесс обжарки солода складывается из двух этапов. Первый (этап I) — выдерживание зерен ячменя в течении 30—45 мин и температуре 60—75 °С, при этом происходит окончательное осахаривание солодового зерна. Признаком хорошего осахаривания служит разжиженное состояние эндосперма, который легко выжимается при раздавливании зерна. Во время второго этапа (этап II) температура повышается до 170 °С. Зерно при такой температуре выдерживают до 2,0—2,5 ч в зависимости от требуемых показателей готового солода.

*План эксперимента.* Экспериментальные исследования спланированы и проведены согласно плана Бокса-Уилсона 2<sup>4</sup>+звезда.

Факторами варьирования в интервалах выбраны:

- частота вращения шнека,  $n = 20—50 \text{ мин}^{-1}$ ;
- коэффициент заполнения рабочей камеры,  $\varphi = (0,5—0,8)$ ;
- температура внутри рабочей камеры на II этапе,  $t_p = 150—180 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- время обжарки на II этапе,  $\tau = 140—180 \text{ мин}$ .

В ходе эксперимента на первом этапе зёрна выдерживали при температуре  $65 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение 30 мин.

В качестве выходной функции были исследованы такие показатели, характеризующие качество карамельного солода:

- количество карамельных зёрен  $N_k, \%$ ;
- массовая доля экстракта в сухом веществе солода,  $E_c, \%$ ;
- цвет (величина Линтнера-Ли),  $F$ .

Для исследования процесса получения карамельного солода в новом аппарате и разработки плана экспериментальных исследований был проведен ряд отсеивающих экспериментов, результаты которых представлены ниже.

**Результаты и обсуждение.** Одним из факторов, определяющих качество получаемого карамельного солода, является частота вращения обжарочного барабана. Данные, полученные в ходе эксперимента (продолжительность обжарки 2 ч, мощность ТЭНов 2 кВт), представлены на рис. 2.

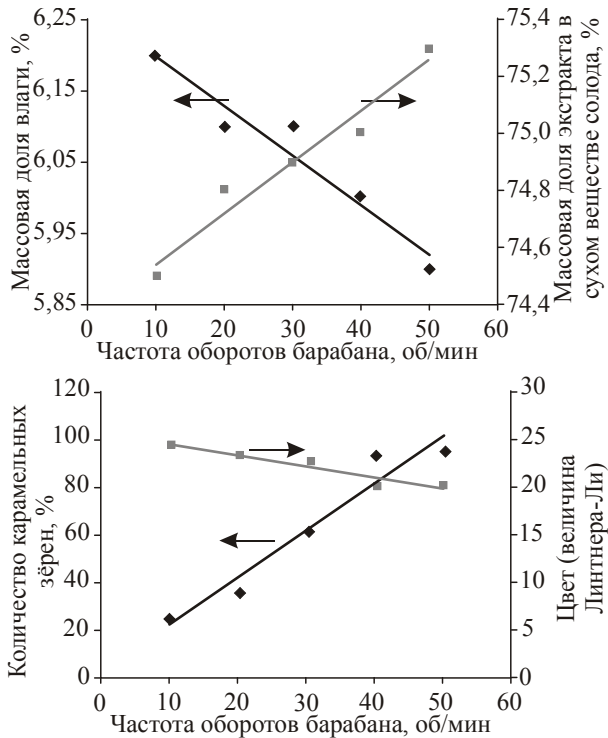


Рис. 2. Диаграммы влияния частоты вращения барабана на физико-химические показатели карамельного солода

Как видно из данных (рис. 2), наиболее приемлемый интервал частот вращения обжарочного барабана является 30—41 об/мин. При уменьшении

частоты оборотов увеличивается количество обгоревших зерен, которые значительно ухудшают внешний вид готового солода, а повышение ведет к увеличению затрат энергии.

Для определения продолжительность первого этапа обжарки солода были проведены экспериментальные исследования, в ходе эксперимента на втором этапе зерна выдерживали при температуре 170 °С в течении 2,0 ч.

Согласно полученным данным, приемлемая продолжительность первого этапа находится в интервале 25—35 мин. При выходе за данный интервал времени обжарки возрастает количество некондиционных зерен.

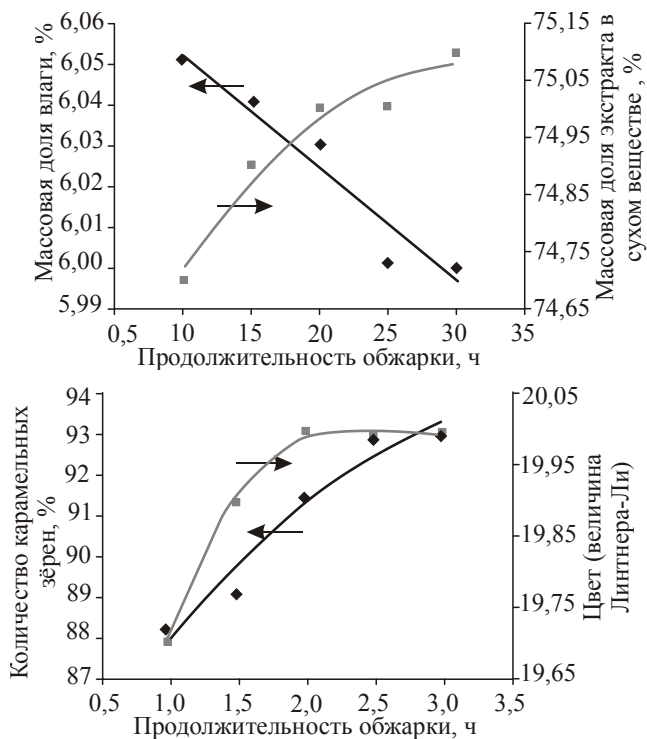


Рис. 3. Диаграммы влияния продолжительности обжарки (этап II) на физико-химические показатели карамельного солода

Одним из наиболее энергоемких процессов по приготовлению карамельного солода является обжарка зерен (этап II), поэтому экспериментально исследовалась продолжительность обжарки ячменных зерен. Результаты исследований представлены на рис. 3. В ходе эксперимента на первом этапе зерна выдерживали при температуре 70 °С в течение 35 мин.

Как видно из приведенных на рис. 3 диаграмм, приемлемой продолжительностью обжарки является 1,7—2,5 ч. Снижение продолжительности обжарки ведет к неудовлетворительным органолептическим и физико-химическим показателям, а увеличение времени обжарки приводит к возрастанию числа обгоревших зерен, что отрицательно сказывается на качестве готового пива (ухудшение цвета и аромата), а также к повышенным энергозатратам.

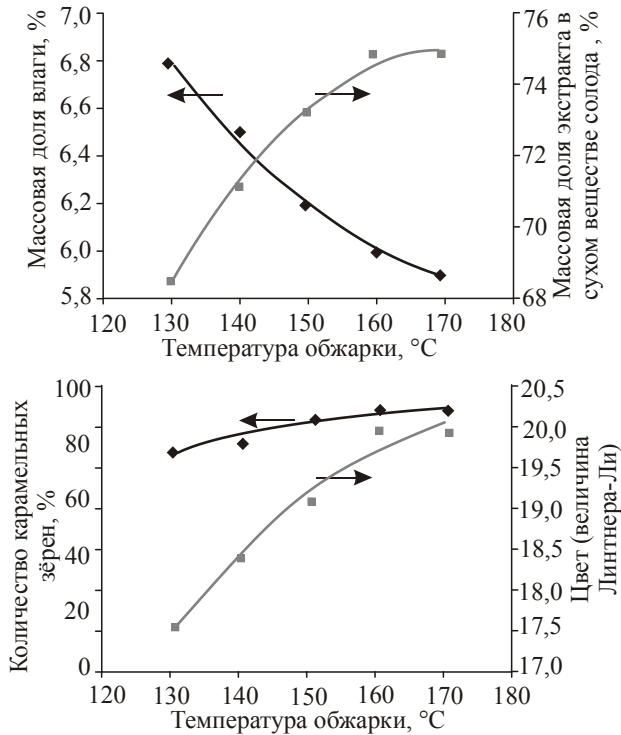


Рис. 4. Диаграммы температуры обжарки (этап II) на физико-химические показатели карамельного солода

Кроме продолжительности обжарки на качество готового солода влияет температурный режим производства. В ходе эксперимента параметры второго этапа поддерживались на следующем уровне: продолжительность обжарки — 2,5 ч, температура 170 °С.

Из данных, характеризующих влияние температуры обжарки на качество карамельного солода, было установлено, что наиболее приемлемой температурой на первом этапе является 60—70 °С.

Наиболее энергоемкой фазой процесса обжарки солода является второй этап, поэтому определение оптимальной температуры обжарки во время данного этапа крайне важно. В результате исследований было установлено, что приемлемой температурой обжарки является 145—165 °С (рис. 4). В ходе эксперимента на первом этапе зерна выдерживали при температуре 70 °С в течение 35 мин.

Из анализа проведенных экспериментальных исследований видно, что на процесс обжарки солода влияет множество факторов, при этом проведение анализа их совместного влияния на процесс затруднено. В настоящее время спланированы и проведены экспериментальные исследования согласно плана Бокса-Уилсона  $2^4$ +звезда.

Факторами варьирования в интервалах выбраны:

- частота вращения шнека,  $n = 20—50 \text{ мин}^{-1}$ ;
- коэффициент заполнения рабочей камеры,  $\varphi = (0,5—0,8)$ ;

- температура внутри рабочей камеры на II этапе,  $t_p=150—180$  °С;
- время обжарки на IIэтапе,  $\tau=140—180$  мин.

В ходе эксперимента на первом этапе зёрна выдерживали при температуре 65 °С в течение 30 мин.

В качестве выходной функции были исследованы показатели, характеризующие качество карамельного солода:

- количество карамельных зёрен  $N_k$ , %;
- массовая доля экстракта в сухом веществе солода,  $E_c$  %;
- цвет (величина Линтнера-Ли),  $F$ .

Полученные в ходе эксперимента данные представлены в табл. 2.

**Таблица 2. Результаты экспериментальных исследований процесса обжарки солода**

№ опыта	Входные параметры				Выходные параметры		
	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$\phi$ , %	$t_p$ , °С	$\tau$ , мин.	$N_k$ , %	$E_c$ , %	$F$
1	65,0	0,65	165,0	160,0	91,94	79,69	19,42
2	20,0	0,5	150,0	180,0	64,64	74,94	27,54
3	50,0	0,8	150,0	140,0	52,44	71,64	17,58
4	35,0	0,65	165,0	120,0	44,40	71,88	19,64
5	35,0	0,65	135,0	160,0	54,82	71,92	21,48
6	35,0	0,65	165,0	160,0	67,92	73,82	22,84
7	50,0	0,5	150,0	180,0	95,32	78,24	23,16
8	50,0	0,8	180,0	140,0	62,16	72,92	18,49
9	35,0	0,95	165,0	160,0	39,14	68,49	17,88
10	20,0	0,5	180,0	180,0	85,80	76,88	27,56
11	50,0	0,8	180,0	180,0	79,92	75,48	23,96
12	5,0	0,65	165,0	160,0	38,39	69,32	26,24
13	50,0	0,5	180,0	180,0	97,24	79,00	25,36
14	50,0	0,5	150,0	140,0	75,62	77,24	21,22
15	20,0	0,5	150,0	140,0	49,98	72,96	24,92
16	35,0	0,65	165,0	160,0	66,88	74,16	22,38
17	20,0	0,8	150,0	140,0	29,34	68,28	20,08
18	20,0	0,5	180,0	140,0	59,52	74,84	25,80
19	35,0	0,65	195,0	160,0	80,24	75,92	24,48
20	35,0	0,35	165,0	160,0	88,12	78,89	26,88
21	50,0	0,8	150,0	180,0	72,83	73,37	18,76
22	20,0	0,8	180,0	180,0	83,64	76,94	28,34
23	20,0	0,8	150,0	180,0	42,72	69,27	23,60
24	50,0	0,5	180,0	140,0	57,80	72,57	23,14
25	35,0	0,65	165,0	200,0	48,79	70,82	22,78
26	20,0	0,8	180,0	140,0	34,68	68,98	19,29

Для определения факторов варьирования, оказывающих наибольшее влияние на выходные функции, были построены карты Парето, из которых установлено, что наибольшее влияние на выходные функции в выбранных интервалах варьирования оказывают частоты вращения барабана  $n$  и коэффициента заполнения барабана  $\phi$ .

Для описания влияния данных факторов на процесс обжарки были построены линии уровня выходных функций  $N_k$ ,  $E_c$  и  $F$  от частоты вращения барабана  $n$  и

коэффициента заполнения барабана  $\phi$  при  $t_p=165^\circ\text{C}$ ,  $\tau=160$  мин, представленные на рис. 5.

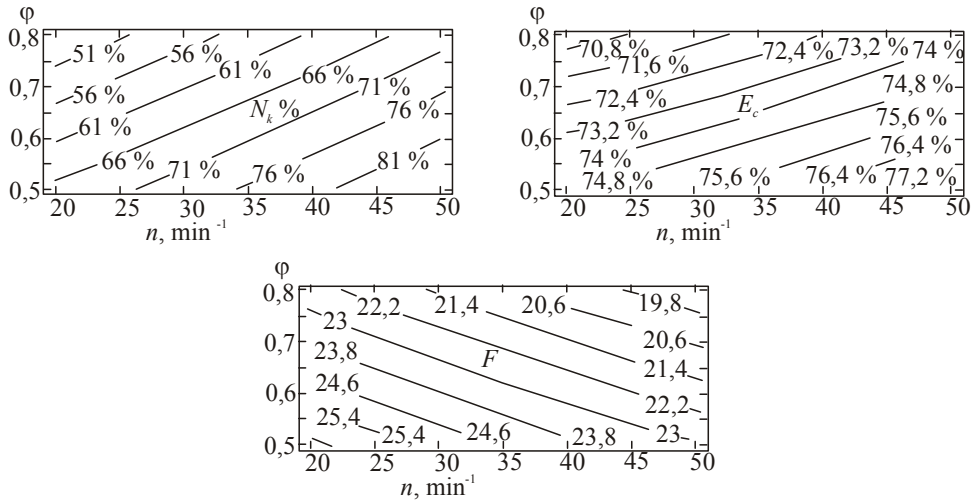


Рис. 5. Линии уровня выходных функций  $N_k$ ,  $E_c$  и  $F$  от частоты вращения барабана  $n$  и коэффициента заполнения барабана  $\phi$ , при  $t_p=165^\circ\text{C}$ ,  $\tau=160$  мин

Из рис. 5 видно, что с повышением частоты оборотов барабана и снижением коэффициента заполнения количество карамельных зёрен  $N_k$ , % и массовая доля экстракта в сухом веществе солода,  $E_c$  % увеличиваются, что связано с более равномерным перемешиванием зерен в барабане. Следует также отметить, что оптимальной величиной Линтнера-Ли,  $F$  для карамельного солода является значение 20, а снижение коэффициента заполнения барабана при постоянных времени обжарки и температуре снижает производительность аппарата и увеличивает энергозатраты.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что оптимальной частотой вращения барабана и коэффициентом заполнения при  $t_p=165^\circ\text{C}$  и  $\tau=160$  мин являются  $n=47$  об/мин и  $\phi=0,75$ , обеспечивающие высокое качество солода и производительность аппарата.

На основании проведённых исследований предложена новая конструкция аппарата для обжарки солода. Отличительной особенностью конструкции обжарочного аппарата является то, что вал барабана выполнен в виде шнека, а направляющие — в виде винтовой линии с противоположным шнеку направлением витков, при этом площадь нормального сечения канавки шнека равна площади нормального сечения канавки направляющих.

### Выводы

В результате проведенных исследований разработан аппарат для обжарки солода в условиях малых предприятий; исследованы факторы, влияющие на процесс обжарки; проведены экспериментальные исследования согласно плана  $2^4$ +звезда. При этом установлено, что наибольшее влияние на качество готового продукта в выбранных интервалах варьирования оказывают частоты вращения барабана  $n$  и коэффициента заполнения барабана  $\phi$ . Оптимальной



частотой вращения барабана и коэффициентом заполнения при  $t_p=165$  °C и  $\tau=160$  мин на втором этапе обжарки являются  $n=47$  об/мин и  $\varphi=0,75$ , которые обеспечивают высокое качество солода и производительность аппарата.

Применение полученных результатов при производстве карамельного солода на предприятиях малой мощности позволяет расширить ассортимент и качество продукции предприятий.

### **Литература**

1. *Doris Jehle* Characterisation of a stable radical from dark roasted malt in wort and beer / Doris Jehle, Marianne N. Lund, Lars H. Øgendal, Mogens L. Andersen // Food Chemistry. — 2011. — 125 (2). — P. 380—387.
2. *Frommberger R.* N-nitrosodimethylamine in German beer / R. Frommberger // Food and Chemical Toxicology. — 1999. — 27 (1). — P. 27—29.
3. *Paulo J. Magalhães* Influence of malt on the xanthohumol and isoxanthohumol behavior in pale and dark beers: A micro-scale approach / Paulo J. Magalhães, Suzete M. Almeida, Ana M. Carvalho, Luís M. Gonçalves, João G. Pacheco, José M. Cruz, Luís F. Guido, Aquiles A. Barros // Food Research International. — 2011. — 44 (1). — P. 351—359.
4. *Alicia B. Pomilio* Amino acid profiles and quantitative structure–property relationships for malts and beers / Alicia B. Pomilio, Pablo R. Duchowicz, Miguel A. Giraud, Eduardo A. Castro // Food Research International. — 2010. — 43 (4). — P. 965—971.
5. *HafızaYahya* Flavour generation during commercial barley and malt roasting operations: A time course study / HafızaYahya, Robert S.T. Linforth, David J. Cook // Food Chemistry. — 2014. — 145. — P. 378—387.
6. *Romanova Zoriana* Beer technology optimization through improvement of beer wort making / Zoriana Romanova, ViktorZubchenko, Mykola Romanov, OleksandrGushlenko // Ukrainian Food Journal. — 2013. — 2 (1). — P. 7—13.
7. *Barry Hucker* Investigations into the thiamine and riboflavin content of malt and the effects of malting and roasting on their final content / Barry Hucker, Lara Wakeling, Frank Vriesekoop // Journal of Cereal Science. — 2012. — 56 (2). — P. 300—306.
8. *Edney M.J.* MALT | Malt Types and Products / Edney M.J., Izydorczyk M.S. // Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition). — 2003. — P. 3671—3677.
9. *Shutyuk V.* The drying modes of artichoke extract in spray dryer / Shutyuk V., Bessarab O., Vasylenko S. // Ukrainian Food Journal. — 2013. — 2 (2). — P. 215—220.
10. *Doris Jehle* Characterisation of a stable radical from dark roasted malt in wort and beer / Doris Jehle, Marianne N. Lund, Lars H. Øgendal, Mogens L. Andersen // Food Chemistry. — 2011. — 125 (2). — P. 380—387.
11. *Vasylenko Tetiana* Best available technology — innovative methodological framework efficiency of sugar production / Tetiana Vasylenko, Sergii Vasylenko, Jeanna Sidneva, Vitalii Shutiuk // Ukrainian Food Journal. — 2014. — 3 (1). — P. 122—133.
12. *Yurchenko S.* N-nitrosodimethylamine analysis in Estonian beer using positive-ion chemical ionization with gas chromatography mass spectrometry / S. Yurchenko, U. Mölder // Food Chemistry. — 2005. — 89 (3). — P. 455—463.
13. *Pozdnyakov Vladimir* The mathematical description of grain weight with gravity separator's constructive elements / Vladimir Pozdnyakov, Sergei Zelenko // Ukrainian Food Journal. — 2013. — 2 (2). — P. 221—230.
14. *Pozdnyakov Vladimir* Experimental research of malt roasting process for production of dark beers / Vladimir Pozdnyakov, Vladimir Grudanov, Paul Ebiensa // Journal of Food and Packaging Science, Technique and Technologies. — 2013. — 1 (1). — P. 10—13.
15. *Ермолаева Г.А.* Технология и оборудование производства пива и безалкогольных напитков / Г.А. Ермолаева, Р.А. Колчева. — Академия, Москва, 2000. — 415 с.
16. *Wolfgang Kunze* Technologie Brauer und Mälzer, LB Berlin, Berlin, 2011.
17. *Ebiensa P.* Intensification of malt roasting process / P. Ebiensa, V. Grudanov, A. Ermaikov, V. Pozdnyakov // Ukrainian Food Journal. — 2015. — 4 (1). — P. 95—108.

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБЖАРКИ СОЛОДА

**П.Д. Эбизнфа, В.Я. Груданов, В.М. Поздняков**

*Белорусский государственный аграрный технический университет*

**А.И. Ермаков**

*Белорусский национальный технический университет*

*В результате проведенных исследований разработан аппарат для обжарки солода в условиях малых предприятий; исследованы факторы, влияющие на процесс обжарки; проведены экспериментальные исследования согласно плана  $2^4$ +звезда. При этом установлено, что наибольшее влияние на качество готового продукта в выбранных интервалах варьирования оказывают частоты вращения барабана  $n$  и коэффициента заполнения барабана  $\varphi$ . Оптимальной частотой вращения барабана и коэффициентом заполнения при  $t_p=165$  °С и  $\tau=160$  мин на втором этапе обжарки являются  $n=47$  об/мин и  $\varphi=0,75$ , которые обеспечивают высокое качество солода и производительность аппарата.*

**Ключевые слова:** карамельный солод, пиво, обжарка зерен.