

УДК 664.7

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА КАРАМЕЛЬНОГО СОЛОДА НА НОВОМ ОБЖАРОЧНОМ АППАРАТЕ

**В.Я. Груданов,**

зав. каф. технологий и технического обеспечения процессов переработки с.-х. продукции БГАТУ,  
докт. техн. наук, профессор

**Э.И. Пол Дивейни,**

аспирант каф. технологий и технического обеспечения процессов переработки с.-х. продукции БГАТУ

**В.М. Поздняков,**

проректор по воспитательной работе БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

**А.И. Ермаков,**

зав. каф. торгового и рекламного оборудования БНТУ, канд. техн. наук, доцент

*В статье описан разработанный аппарат для обжарки солода, предназначенный для использования в условиях малых пивоваренных предприятий при производстве темных сортов пива. Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса обжарки солода в установках с интенсивным перемешиванием. На основании анализа экспериментальных данных определены оптимальные технологические параметры обжарки карамельного солода в разработанном аппарате, обеспечивающие высокое качество солода при минимизации удельных энергозатрат.*

*The article characterizes the designed machine for malt roasting to use in small breweries in dark beer production. The article gives the theoretical and experimental studies results of the roasting malt process in the machines with intense mixing. Based on the analysis of the experimental data the optimum process parameters of roasting caramel malt in the designed machine, providing high quality malt with minimization of specific energy consumption are determined.*

#### Введение

В настоящее время в Западной Европе достаточно успешно развиваются небольшие частные пивоваренные производства, продукция которых пользуется высоким спросом как у местного населения, так и у туристов. В Республике Беларусь также наметилась устойчивая тенденция к развитию подобных производств. Более динамичное развитие данной сферы тормозит отсутствие оборудования, подходящего для ведения технологических процессов подготовки сырья и пивоварения в условиях малых предприятий. В частности, существующие аппараты для обжарки солода имеют высокую энергоемкость и производительность, что не позволяет использовать их в пивоварнях при пивных ресторанах, барах и агроусадебках. Поэтому разработка отечественного обжарочного аппарата для производства карамельного и жженого солода в условиях небольших пивоваренных предприятий является важной научно-практической задачей, реализация которой позволит расширить ассортиментный перечень пивоваренных предприятий и будет способствовать развитию сферы досуга, туризма и общественного питания в Республике Беларусь.

#### Основная часть

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. Одним из основных процессов при производстве карамельного солода является процесс его тепловой обработки, в результате которой продукт приобретает своеобразный цвет и аромат. Важнейшим этапом в процессе производства карамельного солода является обжарка [1].

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.

Для обжарки карамельного солода в условиях малых производств предложена новая конструкция обжарочного аппарата. Отличительной особенностью разработанного 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. Также новый обжарочный аппарат имеет шнек с перфорированным полым валом, что обеспечивает возможность периодической подачи перегретого пара в зону обжарки [2, 3].

Обработка свежепропорощенного ячменя в паровоздушной среде не только интенсифицирует тепловой процесс, но и одновременно повышает качество солода за счет получения надлежащего колера, что так важно при производстве темных сортов пива. С целью интенсификации процесса тепловой обработки продукта, в рабочую камеру обжарочного аппарата подается влажный насыщенный пар, который вырабатывается в парогенераторе и по паропроводу подается во внутреннюю полость вала, и через отверстия выходит в рабочую зону с образованием паровоздушной среды. Паровоздушная среда по сравнению с воздушной обладает более высоким коэффициентом теплоотдачи, а водяной пар уже в перегретом состоянии (180-200 °С) интенсивно поглощает и переизлучает лучистую энергию, что, в целом, и обуславливает повышение тепловой эффективности процесса обжарки продукта. Согласно теории теплопередачи, в условиях естественной конвекции коэффициент теплоотдачи в чисто воздушной среде не превышает 12-15 Вт/м<sup>2</sup>·°С, в то время как в среде перегретого водяного пара коэффициент теплоотдачи может составлять 40-50 Вт/м<sup>2</sup>·°С. По этой причине наличие в воздушной среде водяного перегретого пара существен-

но интенсифицирует процесс тепловой обработки свежепропорощенного ячменя (в том числе и за счет лучистой составляющей процесса теплопередачи).

Повышению тепловой эффективности процесса обжарки солода способствует и перфорированная поверхность обжарочного аппарата: через отверстия перфорации воздух, нагретый ТЭНами, интенсивно циркулирует в зоне рабочей камеры.

С целью исследования процессов тепловой обработки пищевых сыпучих продуктов в паровоздушной среде на установках с интенсивным перемешиванием, исследования влияния технологических параметров работы обжарочного аппарата на качество конечной продукции, удельные энергозатраты и производительность данного оборудования, разработан экспериментальный стенд. Принципиально-конструктивная схема экспериментального стенда представлена на рисунке 1.

Процесс обжарки карамельного солода складывается из двух этапов. Первый (этап I) – выдерживание зерен ячменя в течение 30-45 минут и при 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.

На основании проведенных отсеивающих экспериментов процесса обжарки карамельного солода в новом аппарате был разработан план экспериментальных исследований.

Факторами варьирования в интервалах выбраны:

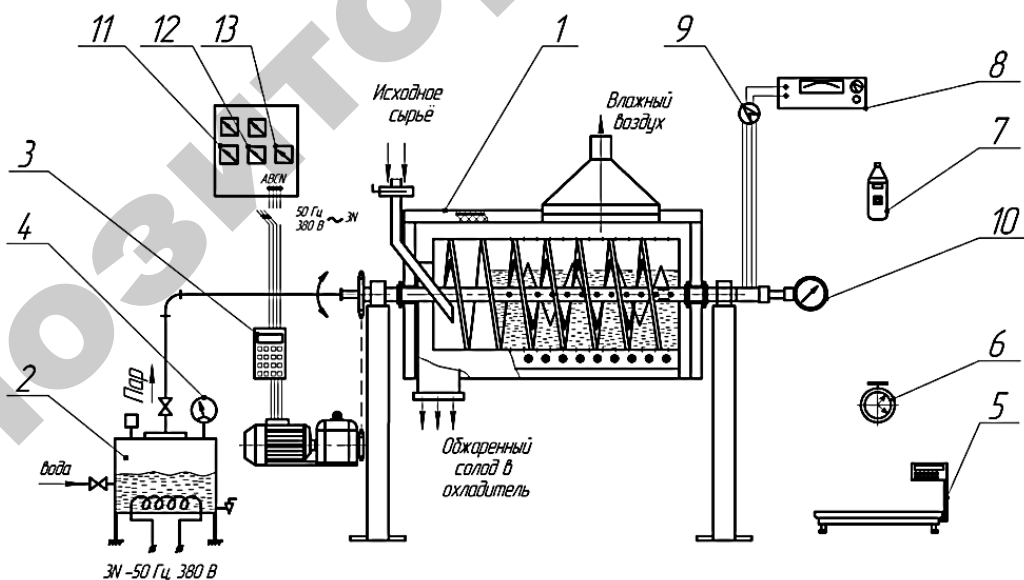


Рисунок 1. Принципиально-конструктивная схема экспериментального стенда:

- 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

- 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 качестве выходных параметров были исследованы следующие показатели, характеризующие качество карамельного солода:

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

Экспериментальные исследования проведены согласно плану Бокса-Уилсона  $2^4$  со звездой. Полученные в ходе эксперимента данные представлены в таблице 1.

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

Для описания влияния факторов варьирования на эффективность процесса обжарки были построены линии уровня выходных функций  $N_k$ ,  $E_c$  и  $F$  от частоты вращения барабана  $n$  и коэффициента заполнения барабана  $\varphi$ , при  $t_p = 165 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 160 \text{ мин}$ , представленные на рисунке 2.

Анализ экспериментальных данных показал, что с повышением частоты вращения барабана и снижением коэффициента заполнения массовая доля экстракта в сухом веществе солода и количество карамельных зерен увеличиваются. Это связано с более

равномерным перемешиванием зерен в барабане. Зависимость обеих выходных функций от времени обжарки имеют экстремальный характер: увеличение температуры обжарки ведет к увеличению массовой доли экстракта в сухом веществе солода и количества карамельных зерен, при условии интенсивного перемешивания солода в барабане. Характер изменения величины Линтнера-Ли достаточно сложен, а его требуемого значения в 20 единиц можно достигнуть при различном сочетании технологических параметров.

Таким образом, можно сделать вывод, что на показатели качества карамельного солода в процессе обжарки влияют не конкретные численные значения технологических параметров, а их сочетание.

На основании полученных экспериментальных данных при помощи статистического пакета программ StatGraphicsPlus были получены эмпирические зависимости, позволяющие прогнозировать значение выходных функций при изменении технологических параметров работы обжарочного аппарата в пределах варьирования факторов.

$$N_k = -49,952 + 0,855 \cdot n - 81,139 \cdot \varphi + 0,385 t_p + 0,465 \cdot \tau \quad (1)$$

$$E_c = 63,833 + 0,141 \cdot n - 17,886 \cdot \varphi + 0,061 t_p + 0,042 \cdot \tau \quad (2)$$

$$F = 14,908 + 0,102 \cdot n - 13,410 \cdot \varphi + 0,055 t_p + 0,0694 \cdot \tau \quad (3)$$

Качество солода, в том числе и карамельного, регламентируется ГОСТом 29294-92, в соответствии с которым карамельный солод должен соответствовать требованиям, представленным в таблице 2.

**Таблица 1. Результаты экспериментальных исследований процесса обжарки солода**

№ опыта	Входные параметры				Выходные параметры			e, кВт·ч/кг
	$n, \text{ мин}^{-1}$	$\varphi$	$t_p, \text{ }^\circ\text{C}$	$\tau, \text{ мин}$	$N_k, \%$	$E_c, \%$	F	
1	65,0	0,65	165,0	160,0	91,94	79,69	19,42	0,078
2	20,0	0,5	150,0	180,0	64,64	74,94	27,54	0,103
3	50,0	0,8	150,0	140,0	52,44	71,64	17,58	0,053
4	35,0	0,65	165,0	120,0	44,40	71,88	19,64	0,058
5	35,0	0,65	135,0	160,0	54,82	71,92	21,48	0,069
6	35,0	0,65	165,0	160,0	67,92	73,82	22,84	0,075
7	50,0	0,5	150,0	180,0	95,32	78,24	23,16	0,107
8	50,0	0,8	180,0	140,0	62,16	72,92	18,49	0,058
9	35,0	0,95	165,0	160,0	39,14	68,49	17,88	0,051
10	20,0	0,5	180,0	180,0	85,80	76,88	27,56	0,112
11	50,0	0,8	180,0	180,0	79,92	75,48	23,96	0,072
12	5,0	0,65	165,0	160,0	38,39	69,32	26,24	0,073
13	50,0	0,5	180,0	180,0	97,24	79,00	25,36	0,116
14	50,0	0,5	150,0	140,0	75,62	77,24	21,22	0,085
15	20,0	0,5	150,0	140,0	49,98	72,96	24,92	0,082
16	35,0	0,65	165,0	160,0	66,88	74,16	22,38	0,074
17	20,0	0,8	150,0	140,0	29,34	68,28	20,08	0,051
18	20,0	0,5	180,0	140,0	59,52	74,84	25,80	0,089
19	35,0	0,65	195,0	160,0	80,24	75,92	24,48	0,084
20	35,0	0,35	165,0	160,0	88,12	78,89	26,88	0,138
21	50,0	0,8	150,0	180,0	72,83	73,37	18,76	0,067
22	20,0	0,8	180,0	180,0	83,64	76,94	28,34	0,070
23	20,0	0,8	150,0	180,0	42,72	69,27	23,60	0,064
24	50,0	0,5	180,0	140,0	57,80	72,57	23,14	0,092
25	35,0	0,65	165,0	200,0	48,79	70,82	22,78	0,091
26	20,0	0,8	180,0	140,0	34,68	68,98	19,29	0,056

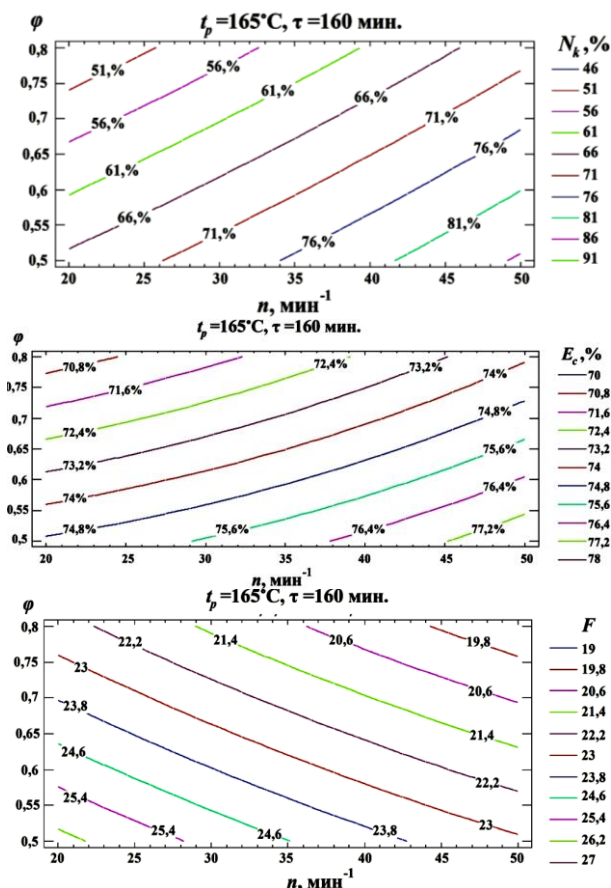


Рисунок 2. Линии уровня выходных функций  $N_k$ ,  $E_c$  и  $F$  от частоты вращения барабана  $n$  и коэффициента заполнения барабана  $\phi$ , при  $t_p=165^\circ\text{C}$ ,  $\tau=160$  мин

**Таблица 2. Требования к качеству карамельного солода согласно ГОСТ**

Наименование показателя	Норма для солода карамельного	
	I класса	II класса
Массовая доля экстракта в сухом веществе солода $E_c$ , % не менее	75	70
Количество карамельных зерен $N_k$ , %, не менее	93	25
Цвет (величина Линтера-Ли)*, $F$	20	20

\* Для карамельного солода отклонение величины Линтера-Ли от нормативного показателя может составлять до +2 единиц.

Конечной целью научных исследований являлось получение наилучшего из числа возможных альтернатив технического и технологического решения, обеспечивающего высокую эффективность работы разработанного обжарочного аппарата.

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований авторами предлагается следующая формулировка задачи оптимизации работы обжарочного аппарата: обеспечение минимальных удельных энергозатрат при достижении требуемого качества солода (соответствующего ГОСТ). При опти-

мизации процесса необходимо определить технологические параметры работы разработанного обжарочного аппарата, удовлетворяющие данным условиям.

Измерение удельных энергозатрат на процесс обжарки солода в разработанном аппарате проводилось в ходе экспериментальных исследований (табл. 1).

Анализ экспериментальных исследований показал, что удельные энергозатраты уменьшаются с повышением коэффициента заполнения барабана и незначительно увеличиваются с повышением частоты оборотов. Увеличение времени обжарки и температуры приводит к повышению удельных энергозатрат.

Определение оптимальных технологических параметров работы обжарочного аппарата, обеспечивающих минимальные удельные энергозатраты и требуемое качество продукции, производилось графическим методом наложения линий равного уровня выходных функций.

При наложении линий равных уровней выходных функции получены номограммы для определения оптимальных параметров процесса в разработанном обжарочном аппарате (рис. 3, 4).

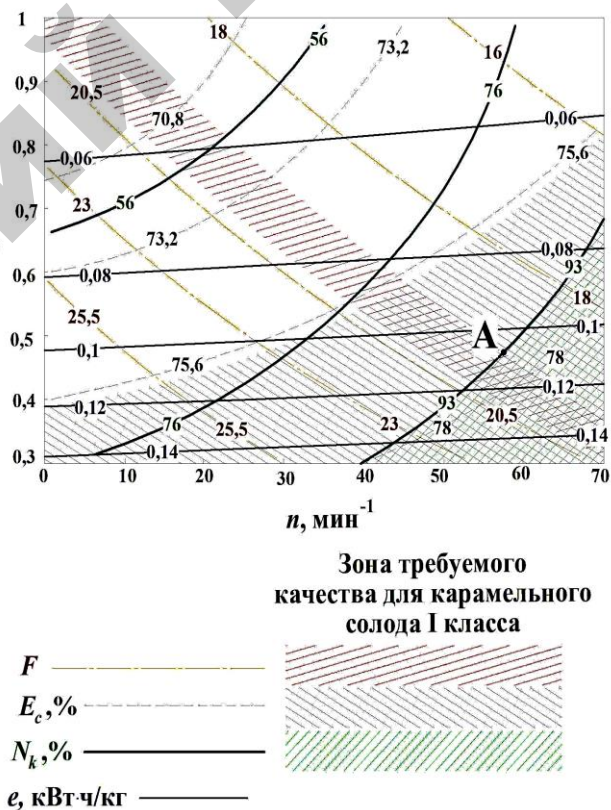


Рисунок 3. Номограмма для определения оптимальных технологических параметров обжарки карамельного солода I класса: частоты оборотов барабана  $n$  и коэффициента заполнения барабана  $\phi$

Зоны номограмм, в которых все три штриховки пересекаются, соответствуют технологическим параметрам работы обжарочного аппарата, обеспечи-

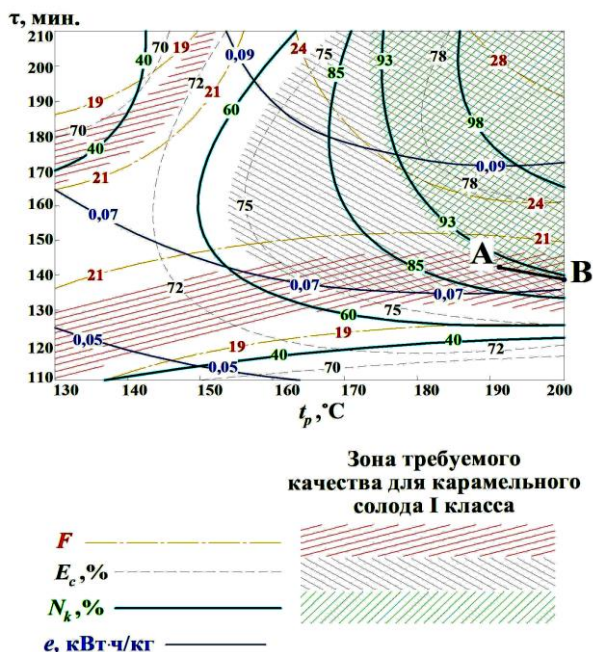


Рисунок 4. Номограмма для определения оптимальных технологических параметров обжарки карамельного солода I класса: температуры обжарки  $t_p$  и времени обжарки на втором этапе  $\tau$

вающим требуемое качество карамельного солода согласно ГОСТ.

Для определения оптимальных технологических параметров обжарки карамельного солода, с точки зрения требуемого качества продукции и минимальных удельных энергозатрат, необходимо определить, в какой части из зон с тремя пересекающимися штриховками удельные энергозатраты будут минимальными. Из рисунка 3 видно, что данному условию соответствуют технологические параметры точки А, а из рисунка 4 – технологические параметры отрезка АВ.

Определенные в рамках оптимизации технологические параметры были положены в основу при проектировании и изготовлении опытного образца обжарочного аппарата для производства карамельного солода.

Технические характеристики разработанного обжарочного аппарата представлены в таблице 3, а его общий вид на рисунке 5.

Разработанный обжарочный аппарат с новыми конструктивными решениями рекомендуется для использования на небольших пивоваренных производствах. Обжарочный аппарат может применяться для получения карамельного солода I и II классов, а также жженого солода при производстве пива темных сортов.

#### Заключение

На основании проведенных исследований установлено, что оптимальными технологическими параметрами обжарки солода в разработанном обжарочном аппарате, с точки зрения обеспечения требуемого

Таблица 3. Технические характеристики обжарочного аппарата для производства карамельного солода

Параметры	Значение
Количество одновременно обжариваемого солода, кг (не более)	300
Частота вращения барабана, об/мин	10-70
Температура обжарки, °С	100-200
Длительность обжарки, мин.	100-150
Установленная электрическая мощность, кВт	
- привода	0,5
- ТЭНов	12
- парогенератора	3
Габаритные размеры, мм:	
длина	3000
ширина	930
высота	1600
Масса (не более), кг	720

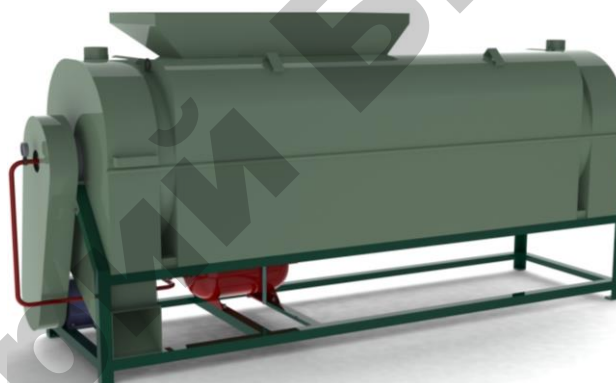


Рисунок 5. Внешний вид обжарочного аппарата для производства карамельного солода новой конструкции

качества продукции и минимальных удельных энергозатрат, являются:

– для карамельного солода I класса: частота вращения шнека  $n = 58 \text{ мин}^{-1}$ ; коэффициент заполнения рабочей камеры  $\phi = 0,48$ ; температура внутри рабочей камеры на II этапе  $t_p = 192-200^\circ\text{C}$ ; время обжарки на II этапе  $\tau = 138-143 \text{ мин}$ ;

– для карамельного солода II класса: частота вращения шнека  $n = 17 \text{ мин}^{-1}$ ; коэффициент заполнения рабочей камеры  $\phi = 0,89$ ; температура внутри рабочей камеры на II этапе  $t_p = 131-136^\circ\text{C}$ ; время обжарки на II этапе  $\tau = 112-115 \text{ мин}$ .

При этом на первом этапе обжарки зерна должны выдерживаться при температуре  $65^\circ\text{C}$  в течение 30 мин.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Doris Jehle, Marianne N. Lund, Lars H. Ogdendal, Mogens L. Andersen (2011), Characterisation of a stable

radical from dark roasted malt in wort and beer, Food Chemistry, 125(2), pp. 380-387.

2. Обжарочный барабан: патент 9008 Респ. Беларусь: МПК7, А23 F5/04, С12 С1/18/ В.Я. Груданов, Д.Н. Иванов, А.М. Рабчинский; опубл. 30.09. // Афіцыйны бюл. / Нац цэнтр інтэлектуал. уласнасці.

3. Устройство для обжарки зерна: пат. 17514 Респ. Беларусь: МПК А23N12/08 (2006) / В.Я. Груданов, В.М. Поздняков, Э. И. Пол Дивейни, А.А. Бренч; опубл. 30.12.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 26.06.2015

## **Плуг навесной оборотный ПНО-3-40/55 с регулируемой шириной захвата**

*Предназначен* для гладкой вспашки старопахотных слабокаменистых почв с удельным сопротивлением до 0,09 МПа и влажностью обрабатываемого слоя до 22 %. Плуг агрегируется с тракторами «Беларус 1221», «Беларус 1522» с установленными передними балластными грузами массой 450 кг и с балластировкой колес трактора раствором.



### **Основные технические данные**

Тип	навесной
Производительность за 1 ч основного времени, га	0,84 ... 1,48
Рабочая скорость движения на основных операциях, км/ч	7 – 9
Глубина пахоты, см	до 27
Конструкционная ширина захвата плуга, м	1,20/1,35/1,50/1,65
Расстояние от опорной плоскости корпусов до нижней плоскости рамы, мм	700
Расстояние между корпусами по ходу плуга, мм, не менее	750
Количество корпусов, шт.: право- / левооборачивающих	3/3
Тип корпуса	полувинтовой
Конструкционная ширина захвата корпуса, мм	400/450/500/550
Масса плуга конструкционная с комплектом рабочих органов для выполнения основной технологической операции, кг	1120 ± 50
Габаритные размеры плуга в рабочем положении, мм, не более	4200x2000x1520
Транспортная скорость, км/ч, не более	15
Дорожный просвет, мм, не менее	300