

Горлова И.Ю., Бычкова А.Е., Петрова Е.И., Букраба Е.С.

**ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В КОНТРОЛЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ПИВА**

Горлова Ирина Юрьевна, магистрант

ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», Россия

Тел.: 8 (908) 105 32 42

E-mail: iyu.gorlova1830@omgau.org

Бычкова Анастасия Евгеньевна, магистрант

ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», Россия

Тел.: 8 (951) 408 75 85

E-mail: ae.bychkova1830@omgau.org

Петрова Елена Ивановна, кандидат технических наук, доцент

ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», Россия

Тел.: 8 (904) 079 04 64

E-mail: ei.petrova@omgau.org

Букраба Елена Сергеевна, магистрант

ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», Россия

Тел.: 8 (965) 981 48 59

E-mail: es.bukraba1830@omgau.org

В статье проводится анализ факторов, формирующих качество пива, которое производится на одном из предприятий Омской области. Также определяется их влияние на основные характеристики производимого продукта. Проведя исследование, было установлено, что основными формирующими качество пиво факторами является применяемое сырье и технология его производства. Кроме того, установлено, что основным технологическим этапом, определяющим органолептические и физико-химические показатели готового продукта, является фильтрование затора. Для определения стабильности процесса фильтрования был использован один из статистических методов – контрольные карты Шухарта. При анализе построенных карт, выходов за контрольные границы не установлено, поэтому процесс фильтрования можно считать стабильным. Производство продукции сопровождается появлением дефектов различного рода и характера. На предприятии было решено провести мониторинг, с целью выявления наиболее часто встречающихся дефектов. В результате определили дефект – разгерметизация бутылки. Проведён причинно-следственный анализ, в ходе которого выяснили, что основными причинами его появления является некачественная кроненпробка, поломка укупорочного аппарата, отсутствие контроля за процессом операторами линий розлива, несоблюдение требований технологической инструкции, предложены мероприятия по предупреждению их появления.

Ключевые слова: пиво, качество, контроль, статистические методы, контрольная карта.

Для цитирования: Горлова И.Ю., Бычкова А.Е., Петрова Е.И., Букраба Е.С. Применение статистических методов в контроле технологического производства пива // Новые технологии. 2019. Вып. 3(49). С. 29-40. DOI: 10.24411/2072-0920-2019-10303.

Gorlova I.Y., Bychkova A.E., Petrova E.I., Bukraba E.S.
**APPLICATION OF STATISTICAL METHODS IN THE CONTROL
OF TECHNOLOGICAL BEER PRODUCTION**

Gorlova Irina Yuryevna, a Master student

FSBEI HE "Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin", Russia

Tel.: 8 (908) 1053242

E-mail: iyu.gorlova1830@omgau.org

Bychkova Anastasia Evgenievna, a Master student

FSBEI HE "Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin", Russia

Tel.: 8 (951) 408 75 85

E-mail: ae.bychkova1830@omgau.org

Petrova Elena Ivanovna, Candidate of Technical sciences, an associate professor

FSBEI HE "Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin", Russia

Tel.: 8 (904) 079 04 64

E-mail: ei.petrova@omgau.org

Bukraba Elena Sergeevna, a Master student

FSBEI HE "Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin", Russia

Tel.: 8 (965) 981 48 59

E-mail: es.bukraba1830@omgau.org

The article analyzes the factors forming the quality of beer, which is produced at one of the enterprises in the Omsk region. Their influence on the main characteristics of the manufactured product is also determined. It has been found that raw materials used and production technology are the main factors forming beer quality. Moreover, it's been found that mash filtration is the main technological step that determines organoleptic and physical and chemical characteristics of a finished product. To determine the stability of the filtering process, one of the statistical methods – Schuchardt control charts-has been used. Analysis of the charts has shown that there are no spillovers, so the filtering process can be considered stable. Production is accompanied by the appearance of defects of various kinds and nature. It has been decided to carry out monitoring in the company in order to identify the most common defects. As a result, depressurization of a bottle has been detected. A cause-and-effect analysis has revealed the main reasons for it: bad crown cap, breakage of a capping apparatus, lack of control over the process by the filling line operators, failure of the technological instruction: measures have been proposed to prevent their occurrence.

Keywords: beer, quality, control, statistical methods, control chart.

For citation: Gorlova I.Y., Bychkova A.E., Petrova E.I., Bukraba E.S. Application of statistical methods in the control of technological beer production // Novye tehnologii (Majkop). 2019. Iss. 3(49). P. 29-40. (In Russ., English abstract). DOI: 10.24411/2072-0920-2019-10303.

Пиво – это слабоалкогольный напиток, не являющийся предметом первой необходимости, пользующийся стабильно высоким спросом. Для потребителей важно, чтобы продукт был качественным и безопасным для жизни и здоровья [1, с. 2]. Выпуск качественной продукции для предприятия является шагом к повышению репутации производителя, что обеспечивает высокий доход предприятия [8].

Основными факторами, формирующими качество пива, являются сырьевые компоненты и используемая технология производства пива. К основным сырьевым компонентам, применяемым в производстве пива, относится солод, хмель, вода и дрожжи. Также возможно добавление несоложенных материалов, таких как рис, кукурузная крупка и др. [9, с. 20-63].

Солод является фактором, отвечающим за цвет готового продукта. В зависимости от сорта пиво может быть от светло-золотистого до смоляного-черного цвета. Солод немало важен и при формировании вкуса пива, а физико-химические показатели солода в свою очередь определяют идентификационный показатель пива светлого – его экстрактивность.

При производстве пива светлого добавление несоложенных материалов значительно увеличивает стойкость пива при хранении. При неправильном процентном соотношении солода и несоложенных материалов возможно появление клейстерного помутнения, так как в процессе затирания крахмал, содержащийся в несоложенных материалах, гидролизует не полностью. При этом важным является контроль доброкачественности данных материалов на стадии приемки сырья [6, с. 22-61].

Хмель определяет в пиве такие качественные показатели как вкус и аромат. За счет правильного подбора хмелевых компонентов вкус и аромат пива становится специфичным. При использовании некачественного сырья возможно появление в пиве излишней горечи или возникновение пустого вкуса и аромата.

Вода отвечает за вкус пива и его стойкость при хранении. При использовании воды с посторонними привкусами в пиве может появиться затхлый вкус.

Дрожжи влияют на такой качественный показатель пива, как объемная доля спирта в готовом продукте за счет преобразования сахаров в спирты [3, с. 12-14].

Каждый этап технологического процесса несет свою функцию в формировании качества готового продукта. К основным этапам производства напитка относятся: приготовление пивного сусла, очистка и дробление солода, приготовление затора, фильтрование затора, кипячение сусла с хмелем, осветление, охлаждение и аэрирование сусла; брожение и дображивание; фильтрование пива; хранение пива в форфасах; розлив в тару.

Производство пива после приемки сырья начинается с очистки и дробления зернопродуктов. На стадии очистки контролируются полнота очистки зернопродуктов. При попадании в заторный аппарат примесей зерна различного характера возможно появление помутнения пива, а также формирование запаха, несвойственного данному продукту. При дроблении на качество пива влияет степень раздробленности зернопродуктов. При грубом помоле снижается экстрактивность сухих веществ в начальном сусле (данный показатель является идентификационным).

При несоблюдении режимов процесса затирания появляется риск снижения качества готового продукта за счет появления помутнений биологического характера. Тонко измельченный эндосперм при затирании быстрее осахаривается, образуется больше сахара и повышается конечная степень сбраживания. Продукт дробления с высоким содержанием крупной крупки отличается не только пониженным выходом, но и меньшей степенью сбраживаемости, в связи с чем недостаточно растворенный солод необходимо подвергать очень тщательному механическому измельчению.

Этап затирания влияет на осахаривание крахмала, содержащегося в зернах солода, который в дальнейшем будет преобразован в спирты при брожении. Важными характеристиками данного этапа являются температурные паузы и их продолжительность. Так, например, при температуре 45-52°C происходит расщепление белковых веществ солода и риса и высвобождение крахмала из эндосперма. Если продолжительность паузы будет менее 15-20 минут, то в сусле останутся нерасщепленные белковые вещества, что в дальнейшем приведет к белковому помутнению уже готового продукта. При повышенных температурах во время первой температурной паузы может привести к холодному помутнению и уменьшить пеностойкость пива. При температуре второго нагревания 63-65°C происходит образование мальтозы. Более продолжительная пауза при низкой температуре даёт более высокое содержание сахара и как следствие – более высокое содержание спирта и более полное (сухое) сбраживание. Короткая пауза при более высокой температуре повышает количество несбраживаемых декстринов, придающих насыщенный вкус. При температурах 70-77°C происходит финальная стадия осахаривания крахмала. В результате паузы вырабатываются декстрины, которые придают суслу более полный солодовый вкус, однако они не перерабатываются дрожжами, в связи с этим, если пауза осахаривания затянута, конечная плотность сусла будет выше обычного [5, с. 8].

Фильтрация затора влияет на степень очистки сусла от частиц зерен солода и риса, а также от шелухи. Во время вымывания из остатков затора крахмальных частиц нормируется температура воды. Она значительно выше, чем при нагревании затора. Промывные воды перемешивают с суслом для увеличения экстрактивности начального сусла. Контролируемым параметром является значение экстрактивности начального сусла, которое должно быть в пределах $24,5 \pm 1$ %.

Для установления стабильности данного процесса были отобраны по 4 образца из 20 партий начального сусла для установления его экстрактивности. Результаты лабораторных исследований x_1 заносятся в чек-лист. Каждому значению присваивается номер в том порядке, в котором проводились исследования. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты исследования экстрактивности начального сусла

Номер партии	Экстрактивность начального сусла			
	x_1	x_2	x_3	x_4
1	24.565	24.499	24.525	24.456
2	24.212	24.201	24.245	24.199
3	25.056	24.899	24.901	24.899

4	23.805	23.856	23.797	23.798
5	25.214	25.081	25.114	25.102
6	24.789	24.825	24.841	24.796
7	24.065	24.101	24.056	24.097
8	24.810	24.756	24.699	24.698
9	24.115	24.165	24.099	24.114
10	25.178	25.214	25.189	25.211
11	24.499	24.541	24.498	24.511
12	24.110	24.096	24.154	24.056
13	24.896	24.894	24.901	24.923
14	24.096	24.093	24.121	24.105
15	24.659	24.578	24.623	24.601
16	23.975	23.926	23.865	23.922
17	24.745	24.732	24.699	24.721
18	24.056	24.035	24.118	24.132
19	24.540	24.498	24.532	24.498
20	24.113	24.135	24.089	24.056

На основании полученных результатов исследований рассчитываем значения, необходимые для построения контрольной карты Шухарта.

1. Определяем среднее значение для каждой выборки по формуле 1:

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1}^k x_{ij}}{k} \quad (1)$$

$$\bar{x}_1 = \frac{24.565 + 24.499 + 24.525 + 24.456}{4} = 24.511$$

Результаты заносим в таблицу 2.

2. Для каждой выборки определяем размах по формуле 2:

$$R_i = x_{\max} - x_{\min} \quad (2)$$

$$R_1 = 24.565 - 24.456 = 0.109$$

Результаты заносим в таблицу 2.

Таблица 2 - Результаты расчетов средних значений и размахов

Номер партии	Среднее значение экстрактивности по выборке,	Размах по выборке,
1	24.511	0.109
2	24.214	0.046
3	24.939	0.157
4	23.814	0.059
5	25.128	0.133
6	24.813	0.052
7	24.080	0.045
8	24.741	0.112
9	24.123	0.066

10	25.198	0.036
11	24.512	0.043
12	24.104	0.098
13	24.904	0.029
14	24.104	0.028
15	24.615	0.081
16	23.922	0.110
17	24.724	0.046
18	24.085	0.097
19	24.517	0.042
20	24.098	0.079

3. Вычисляем общее среднее значение экстрактивности начального сула по формуле 3:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k x_{ij}}{n} \quad (3)$$

$$\bar{\bar{X}} = \frac{24.511 + 24.214 + 24.939 + \dots + 24.098}{20} = 24.457$$

4. Вычисляем среднее значение размаха по формуле 4:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \quad (4)$$

$$\bar{R} = \frac{0,109 + 0.046 + 0.157 + \dots + 0.079}{20} = 0.072$$

5. Полученные значения и наносятся на расположенные друг под другом графики 1 и 2 в соответствующих масштабах.

6. Вычисляем по формулам 5-10 верхние и нижние границы, средние линии для каждой карты и наносятся на соответствующий график. Верхняя и нижняя границы для X-карты соответствуют верхнему и нижнему пределу допуска по технологической инструкции:

$$CL_x = \bar{\bar{X}} = 24.457 \quad (5)$$

$$UCL_x = 25.5 \quad (6)$$

$$LCL_x = 23.5 \quad (7)$$

$$CL_R = \bar{R} = 0.072 \quad (8)$$

$$UCL_R = D_4 * \bar{R} = 0.202 \quad (9)$$

$$LCL_R = D_3 * \bar{R} = 0 \quad (10)$$

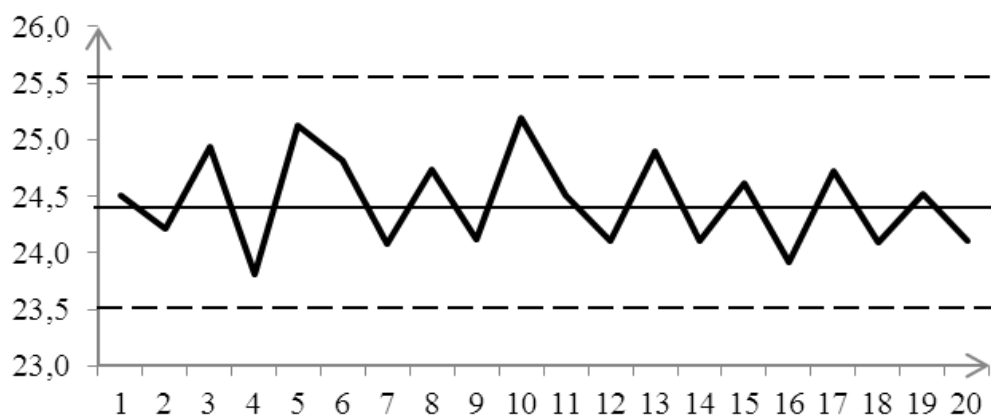


Рис. 1. График индивидуальных значений

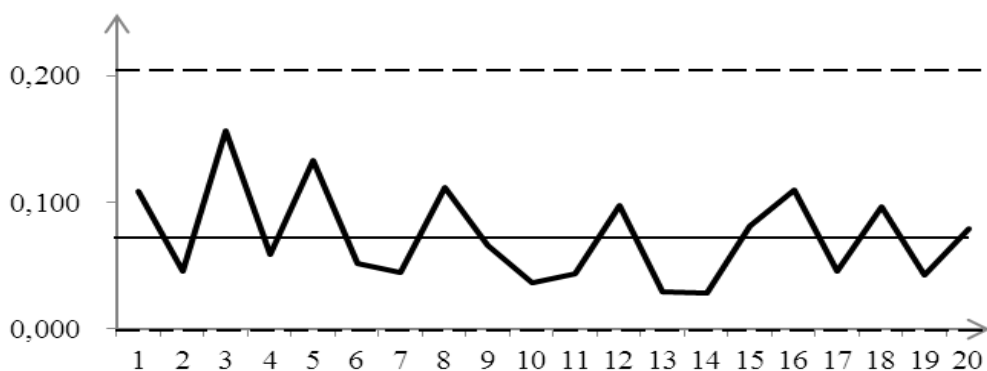


Рис. 2. График размахов

————— - обозначение средней линии
 ----- - обозначение верхней и нижней границ

По результатам исследования процесса затирания установлено, что данный процесс является стабильным.

После измерения экстрактивности готовое сусло направляется на кипячение с хмелем.

В процессе кипячения сусла с хмелем важную роль играет качество хмеля, соблюдение параметров процесса и фильтрация после кипячения. При кипячении с хмелем сусло упаривается до нужной плотности, одновременно происходит его стерилизация, инактивирование ферментов, коагуляция (свертывание) некоторой части растворенных белков, выщелачивание и растворение горьких и ароматических веществ хмеля. Горькие альфа-кислоты придают пиву приятную горчинку, а также выступают естественным консервантом. При этом во время кипячения в сусле погибают посторонние микроорганизмы. После кипячения сусло охлаждают, очищают от остатков белка и хмеля. При недостаточном отделении веществ хмеля от сусла возможно появление смоляного помутнения при хранении готового продукта. Оно вызвано остаточными хмелевыми кислотами, которые при охлаждении готового продукта преобразуются в капли смоляных кислот. При неправильном внесении хмеля возможно также изменение органолептических показателей пива – появление излишней горечи.

Процесс брожения и дображивания формирует такие показатели качества пива как содержание спирта, вкус, аромат и насыщенность диоксидом углерода и пенообразование. В ходе брожения сахар (в основном мальтоза) преобразуется в спирт.

На этом этапе образуются также важные вкусо-ароматические соединения – сложные эфиры и высшие спирты, которые существенно влияют на органолептические свойства готового пива. При несоблюдении режимов процесса брожения возможно изменение содержания спирта из-за неполного сбраживания продуктов гидролиза крахмала [7, с. 58-61].

Фильтрация несет функцию освобождения еще не созревшего пива от остаточных дрожжевых клеток, которые в процессе своей жизнедеятельности могут вызывать дрожжевую муть и вносить изменения во вкусовые качества готового продукта.

Финальное формирование вкуса и аромата происходит на стадии дображивания и зависит в первую очередь от продолжительности и температуры процесса.

Хранение в форфасах служит для насыщения готового пива диоксидом углерода и повышения его стойкости [9, с. 312].

На этапе розлива важным фактором, сохраняющих достигнутое качество, является пастеризация готового продукта непосредственно в потребительской таре. При финальной тепловой обработке продукта происходит формирование вкуса и прозрачности готового пива. Кроме этого, в процессе розлива формируется конечное содержание диоксида углерода. Данный показатель также является идентификационным. В случае недостаточного содержания диоксида углерода качество пива снижается и увеличивается шанс появления коллоидного помутнения. Также, в процессе розлива в тару в результате попадания в тару кислорода возможно образование так называемого «холодного помутнения».

При хранении готового продукта контролируемые показатели являются температура на складе и продолжительность процесса. В случае несоблюдения температурных режимов в пиве может появиться излишняя кислотность, а также возможно развитие посторонней микрофлоры [4, с. 267].

В процессе производства пива светлого были зафиксированы дефекты готового продукта. По данным исследования было принято оформить контрольный лист регистрации видов дефектов. Собранные данные представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Результаты сбора данных по количеству встречающихся дефектов

Номер дефекта	Вид дефекта	Результат контроля	Число дефектов	Доля дефектов
1	Разгерметизация		35	0,76
2	Наличие стекла и пыли		8	0,17
3	Наличие частиц кизельгура		2	0,05
4	Прочие		1	0,02
	Всего дефектов	Σ	46	1,00
	Общее число забракованных изделий	☒ ☒ ☒ :	32	
	Общее число	☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	252	

	проконтролированных изделий	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> :		
--	-----------------------------	---	--	--

По результатам исследований наиболее часто встречающимся дефектом стала разгерметизация бутылки в процессе хранения. В результате попадания излишек кислорода в бутылках возникло помутнение пива. Чтобы определить причины разгерметизации бутылок, было принято решение провести анализ причин появления дефекта с помощью причинно-следственной диаграммы.

Причинно-следственная диаграмма – это инструмент, предназначенный для выявления наиболее характерных результатов, которые влияют на причины и следствия [2, с. 116-117].

Причинно-следственная диаграмма представлена на рисунке 3.

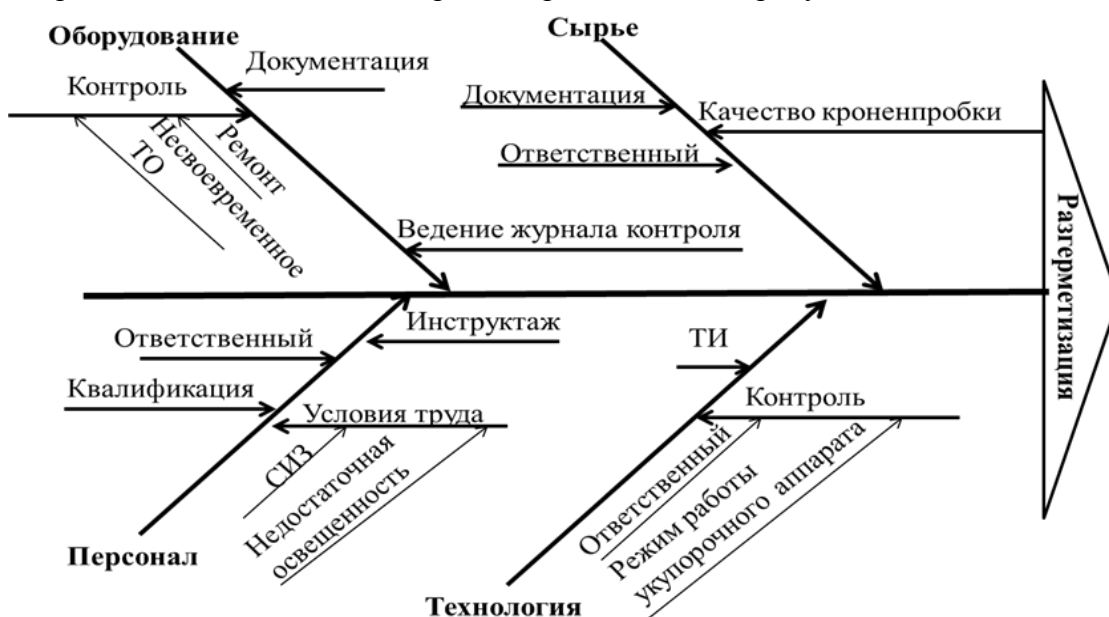


Рис. 3. Причинно-следственная диаграмма

Согласно полученным данным основные причины разгерметизации можно в общем случае объединить в четыре группы: оборудование; персонал; сырье; технология.

Основными причинами разгерметизации бутылки являются: некачественная кроненпробка, поломка укупорочного аппарата, отсутствие контроля за процессом операторами линий розлива, несоблюдение требований технологической инструкции.

Таким образом, в ходе анализа было установлено, что каждый сырьевой компонент является неотъемлемой частью в формировании органолептических и физико-химических характеристик готового продукта. Кроме того, каждый этап производства также чувствует в формировании качественных показателей готового продукта. Основными контролируемыми параметрами являются: температура воды при затирании зернопродуктов, экстрактивность начального сула, температура воды и продолжительность фильтрации, содержание кислорода, температура сула при кипячении его с хмелем, продолжительность и температура сбраживания, температура и давление при хранении в форфасах, продолжительность и температура пастеризации, температура и продолжительность хранения готового продукта.

Литература:

1. Борисенко Т.Н. Технология отрасли. Технология пива. Кемерово: КТИПП, 2014. 122 с.
2. Гродзенский С.Я. Инструменты статистического контроля. Управление качеством: учебник. М., 2017. 226 с.
3. Качмазов Г.С. Дрожжи броидильных производств: практическое руководство. СПб.: Лань, 2012. 224 с.
4. Килкаст Д., Субраманиам П. Стабильность и срок годности. Безалкогольные напитки, соки, пиво и вино / пер с англ., под науч. ред. к.т.н., доц. Ю.Г. Базарновой. СПб.: Профессия, 2013. 384 с.
5. Левина Н.Н. Оптимальное управление процессом нагрева пивного суслу // Известия ВУЗов. Пищевая Технология. 2013. №4. С. 8.
6. Меледина Т.В., Матвеев И.В., Федоров А.В. Несоложенные материалы в пивоварении: учебное пособие. СПб.: Университет ИТМО, 2017. 66 с.
7. Сергеева И.Ю., Шафрай А.В., Захаренко Д.Г. Моделирование процесса осветления напитков брожения с помощью вспомогательных средств // Техника и технология пищевых производств. 2013. №3(30). С. 58-61.
8. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».
9. Хозиев О.А., Хозиев А.М., Цугкиева В.Б. Технология пивоварения: учебное пособие. СПб.: Лань, 2012. 560 с.

Literature:

1. Borisenko T.N. Industry technology. Beer technology. Kemerovo: KTIPP, 2014. 122 p.
2. Grodzensky S.Ya. Statistical control tools. Quality management: a textbook. M., 2017. 222 p.
3. Kachmazov G.S. Fermentation yeast: a practical guide. St. Petersburg: Doe, 2012. 224 p.
4. Kilkast D., Subramaniam P. Stability and shelf life. Soft drinks, juices, beer and wine / transl. from English, scientific ed. by Candidate of Technical sciences, assoc. professor Y.G. Bazarnova. St. Petersburg: Profession, 2013. 384 p.
5. Levina N.N. Optimal control of the process of heating beer wart // Proceedings of Universities. Food Technology. 2013. No. 4. P. 8.
6. Meledina T.V., Matveev I.V., Fedorov A.V. Unmalted materials in brewing: a training manual. St. Petersburg: ITMO University, 2017. 66 p.
7. Sergeeva I.Yu., Shafrai A.V., Zakharenko D.G. Modeling the process of clarification of fermented beverages using auxiliary means // Technique and technology of food production. 2013. No. 3 (30). P. 58-61.
8. Technical regulations of the Customs Union TR CU 021/2011 "On the safety of food products".
9. Khoziev O.A., Khoziev A.M., Tsugkieva V.B. Brewing technology: a training manual. St. Petersburg: Doe, 2012. 560 P.