

Профессор Н.Г. Кульнева, доцент Л.И. Назина,
аспирант А.И. Шматова, студент А.С. Мельченко
(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра технологии сахаристых веществ,
тел. (473) 255-07-51

Статистическое моделирование при получении и очистке диффузионного сока в свеклосахарном производстве

С использованием статистического моделирования проведена оценка стационарности технологических процессов свеклосахарного производства. Установлены причины высокой изменчивости технологических показателей и пути стабилизации процесса.

The assessment of stability of technological processes of beet sugar manufacturing is carried out with use of statistical modeling. The reasons of high variability of technological indicators are established and ways of processes stabilization are determined.

Ключевые слова: свеклосахарное производство, статистическое моделирование, карты Шухарта, гистограммы распределения.

Обеспечение эффективности сахарного производства, разработка новых технологий, направленных на улучшение качества и снижение затрат материальных и энергетических ресурсов, требует обновления и совершенствования систем управления, построенных на базе современных средств и методов автоматизированного управления.

Создание подобной системы и внедрение ее в технологический процесс позволяет на базе динамических показателей производства вести непрерывный контроль за состоянием процесса, оперативно выявлять факторы, ставшие причиной выхода процесса из стационарного режима, проводить прогнозирование состояния системы путем варьирования значений входных показателей на любом участке технологической линии с использованием математического аппарата, предоставляемого разработанной системой [1]. Это обеспечивает поддержку принятия управляющих решений путем выдачи технологу рекомендаций о характере возникшей критической ситуации, возможных ее причинах и методах устранения.

Для решения поставленной задачи необходимо четкое понимание внутренних механизмов функционирования технологического процесса, знание ресурсных и информационных взаимосвязей между его отдельными подсистемами. Исходя из этого, целесообразно применение методов системного анализа для выявления и исследования отдельных подсистем рассматриваемого технологического процесса [2].

Для оценки стационарности процесса необходимо с помощью методов статистического анализа выявить узкие места в процессе производства, найти критические точки, определить взаимосвязь параметров процесса и причины отклонений данных параметров от заданного режима.

Оценку осуществляли с использованием гистограмм распределения и контрольных карт Шухарта на основе реальных показателей технологического процесса сахарных заводов ЦЧР. Гистограммы распределения позволяют оценить точность процесса, сравнить рассеяние показателя качества с нормативными пределами; контрольные карты дают возможность оценить стабильность процесса во времени. Сбор и анализ физико-химических показателей проводится ежедневно инженером-технологом и фиксируется в журнале среднединамических величин.

На основе результатов лабораторного анализа сахаристости свеклы в течение производственного сезона, которая изменялось в интервале от 15,2 до 16,8 %, рассчитывали среднее арифметическое значение X_{cp} сахаристости:

$$X_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k x_i n_i, \quad (1)$$

где k – число интервалов размеров; X_i – середина интервала; n_i – частота попадания показателя

качества в данный интервал; n – число проведенных измерений сахаристости; $X_{cp} = 16,13 \%$.

Выборочное стандартное отклонение

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^k (x_i - x_{cp})^2 n_i}, \quad (2)$$

$$S = 0,4257 \%$$

Для проверки гипотезы о нормальности закона распределения на уровне значимости $\alpha=0,1$ использовали критерий Пирсона. Правосторонняя критическая область определяется неравенством:

$$\chi^2 > \chi^2_{кр.}; \quad (3)$$

$$\chi^2 = 26,02; \chi^2_{кр} = 12,4.$$

По данным расчетов строили гистограмму распределения и наносили на нее числовые характеристики (рис.1).

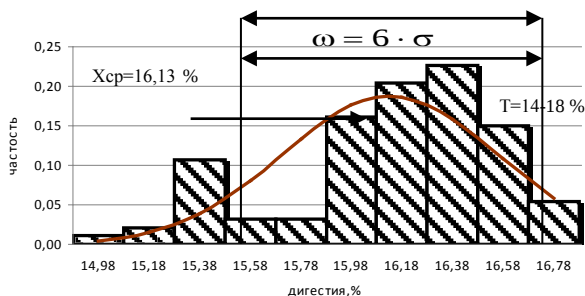


Рис. 1. Гистограмма сахаристости исходного сырья

Распределение показателя находится в допустимых пределах. Далее использовали карты Шухарта, которые позволяют сделать вывод о стабильности процесса (рис. 2).

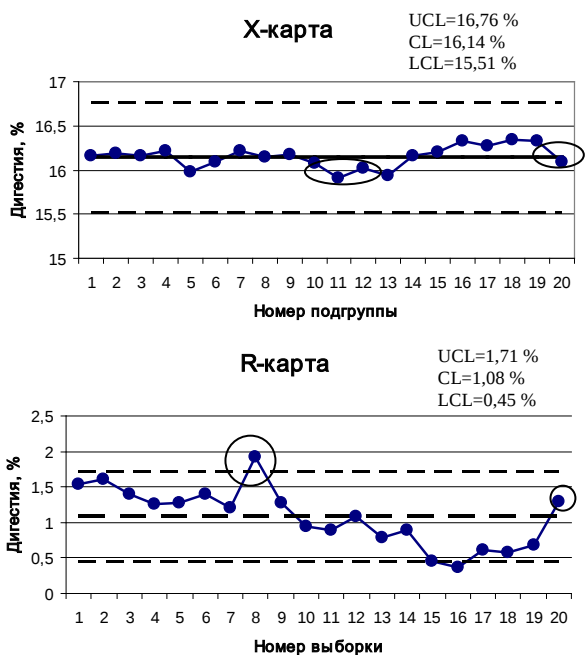


Рис. 2. Карты Шухарта для сахаристости свеклы

Понижение сахаристости на X-карте в 5, 11-13, 20 выборках свидетельствует о снижении содержания сахарозы в используемом сырье. Это происходит за счет протекания ряда микробиологических и ферментативных процессов, значительно ухудшающих качество свеклы, при несоблюдении сроков уборки, неправильно организованном или длительном хранении.

Далее проводили оценку числовых характеристик продукта переработки свеклы – диффузионного сока. Из гистограммы распределения и X-карты (рис. 3, 4) видно, что значение показателя находится в допустимых пределах. Однако изменение чистоты диффузионного сока не вполне соответствует динамике качества исходного сырья, что может свидетельствовать об осложнениях в протекании процесса диффузии и подтверждается большим разбросом в изменении чистоты диффузионного сока на R-карте, особенно в 10 и 14 выборках (рис. 4).

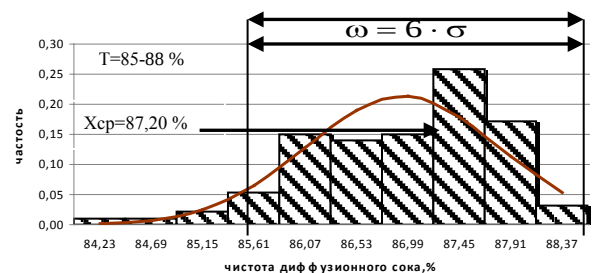


Рис. 3. Гистограмма распределения для чистоты диффузионного сока

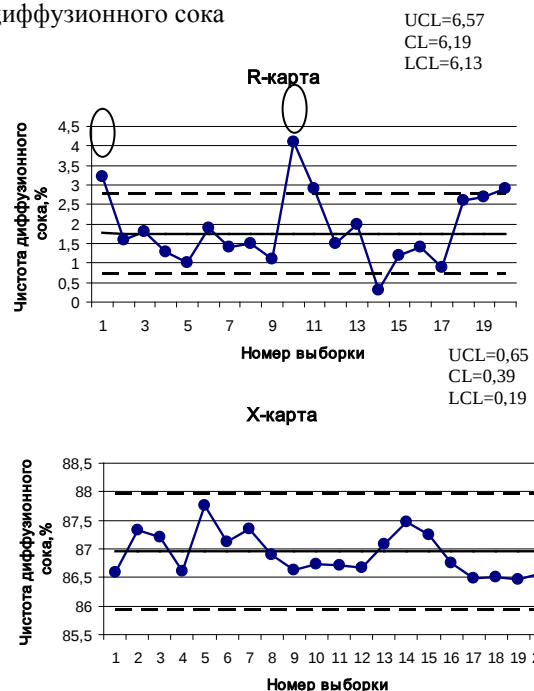


Рис. 4. Карты Шухарта для чистоты диффузионного сока

Количественной характеристикой протекающих на диффузии микробиологических и ферментативных процессов является динамика рН диффузионного сока. Этот показатель недостаточно стабилен (рис. 5-6).

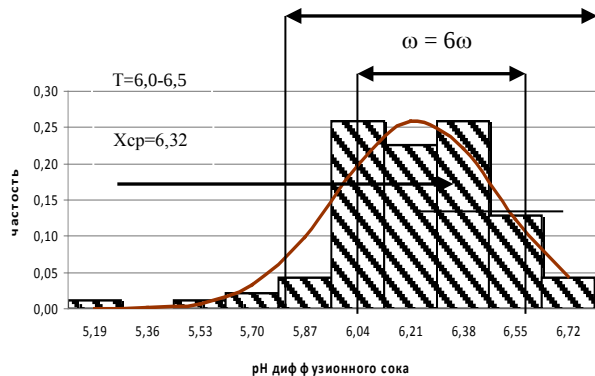


Рис. 5. Гистограмма распределения рН диффузионного сока

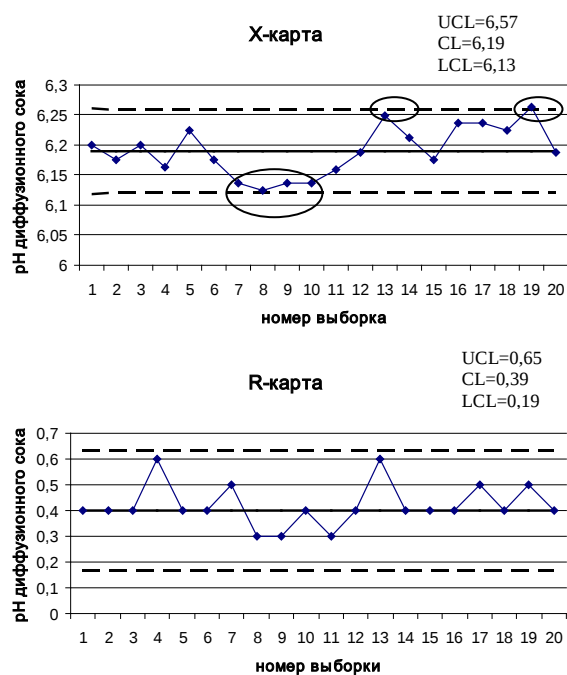


Рис. 6. Карты Шухарта для рН диффузионного сока

Анализируя контрольные карты для процесса диффузии, можно сделать вывод, что процесс нестабилен. По итогам статистической оценки необходимо выявить уровень корреляции между значениями, характеризующими качество исходного сырья и продуктов диффузионного процесса, выявить скрытые резервы для данного предприятия или предложить меры по повышению эффективности извлечения сахара из свекловичной стружки при минимальном переходе несахаров в диффузионный сок.

Для оценки работы сокоочистительного отделения рассмотрели показатели качества очищенного сока (рис. 7-14).

Чистота очищенного сока является комплексной характеристикой работы сокоочистительного отделения и позволяет оценить как оптимальность выбранных технологических приемов в зависимости от качества используемого сырья, так и работу фильтрационного оборудования. Для рассматриваемой выборки этот показатель изменяется в широком диапазоне, что служит подтверждением нестабильности процессов в сокоочистительном отделении.

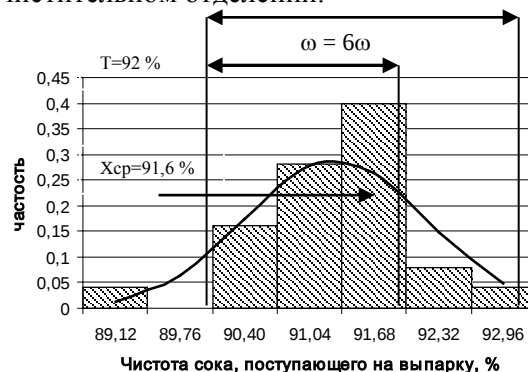


Рис. 7. Гистограмма чистоты очищенного сока

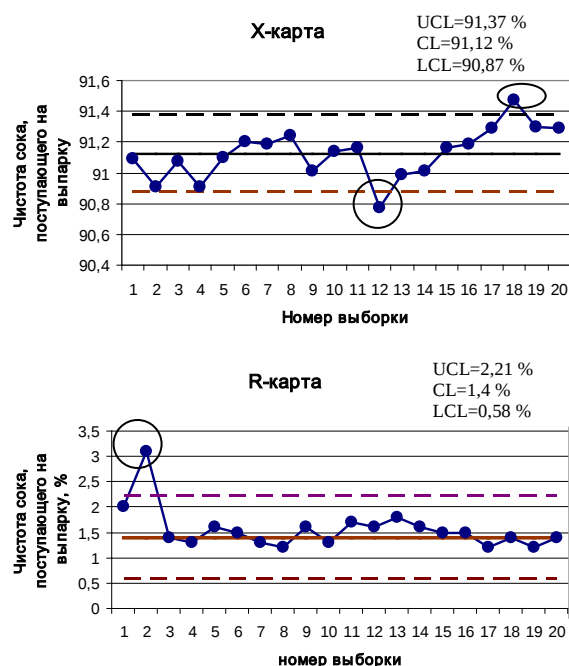


Рис. 8. Карты Шухарта чистоты очищенного сока

Эта нестабильность подтверждается анализом значений цветности очищенного сока и сиропа, массовой доли солей кальция в очищенном соке (рис. 9-14). Показатели сиропа, а именно термоустойчивость, формируются на стадии очистки диффузионного сока. Следова-

тельно, нестабильность процессов в сокоочистительном отделении приводит к низкому качеству сиропа и способствует затруднениям в работе кристаллизационного отделения.

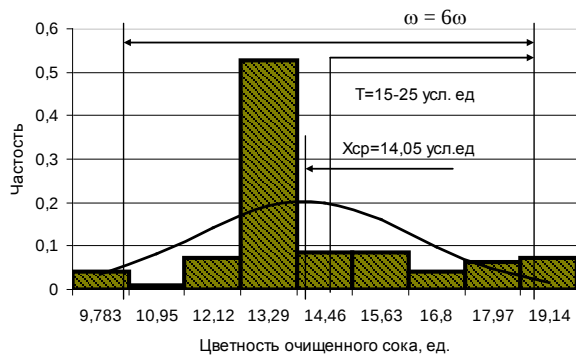


Рис. 9. Гистограмма распределения цветности очищенного сока

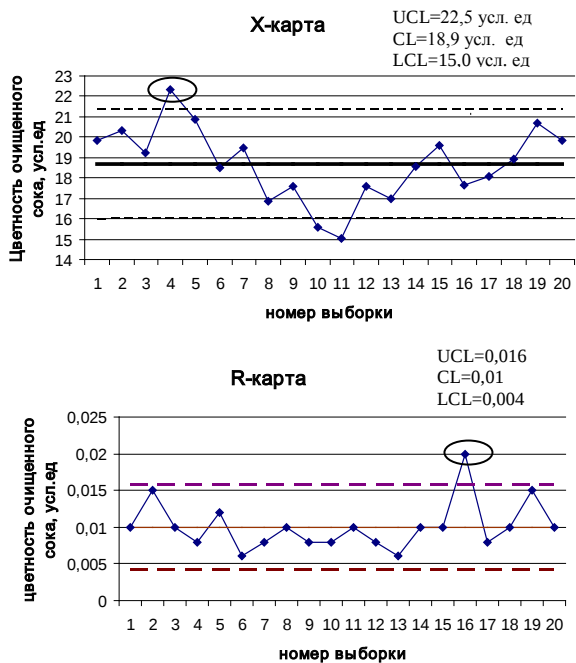


Рис. 10. Карты Шухарта для цветности очищенного сока

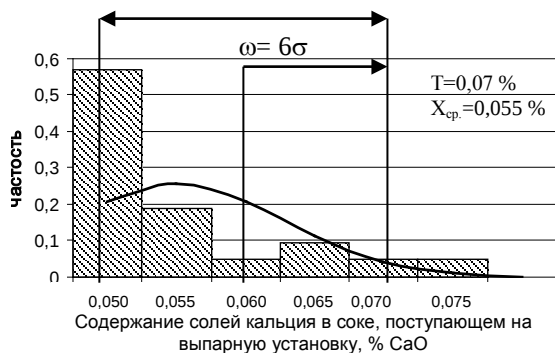


Рис. 11. Гистограмма массовой доли солей кальция в очищенном соке

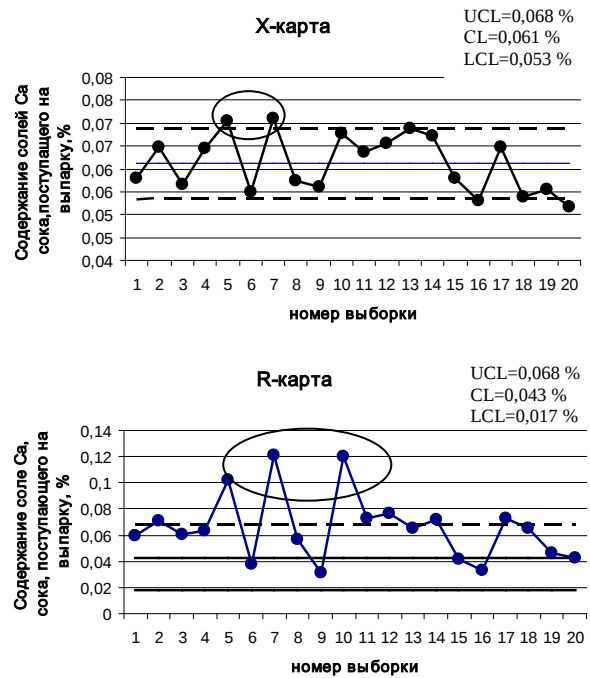


Рис. 12. Карты Шухарта для солей кальция в очищенном соке

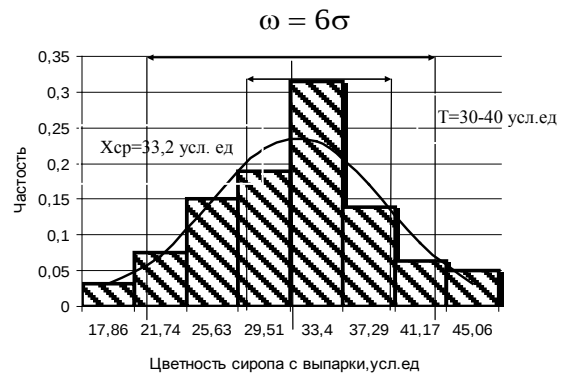
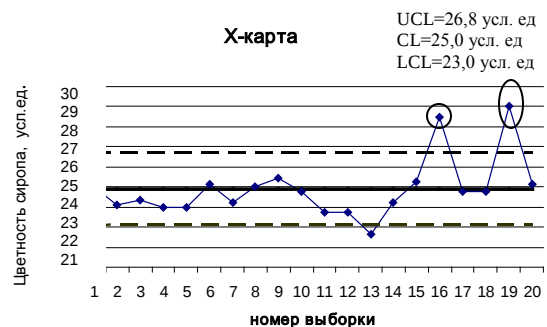


Рис. 13. Гистограмма цветности сиропа

Анализ полученных гистограмм позволил сделать вывод, что наибольшее количество несоответствий выявлено по показателям цветности очищенного сока и сиропа.



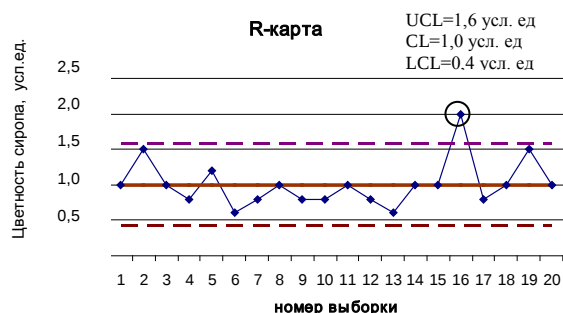


Рис. 14. Карты Шухарта для цветности сиропа

Проведем оценку корреляционной зависимости между цветностью очищенного сока перед выпарной установкой и цветностью сиропа, полученного в результате сгущения сока (рис. 15).



Рис. 15. Диаграмма рассеяния значений цветности очищенного сока и сиропа

Коэффициент линейной корреляции цветности сока и сиропа равен 0,43, что свидетельствует о взаимосвязи данных параметров: цветности очищенного сока, равной 15-25 усл. ед. соответствует цветность сиропа, равная 25-43 усл. ед.

По производственным показателям получения сахара из свеклы для рассматриваемого предприятия провели оценку изменчивости процесса и рассчитали показатели его возможностей.

Собственная изменчивость процесса σ_I зависит только от влияния общих причин вариаций

$$\sigma_I = \frac{\bar{R}}{d_2}, \quad (4)$$

где $\bar{R}$ – среднее значение размахов отдельных выборок в $\bar{X}$ и R-картах; d_2 – коэффициент, зависящий от объема n отдельных выборок, $d_2=3,078$.

Индекс воспроизводимости процесса, оценивающий возможности удовлетворять технический допуск без учета положения среднего значения:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_I}. \quad (5)$$

Индекс воспроизводимости процесса, оценивающий возможности удовлетворять технический допуск с учетом фактического положения среднего значения:

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma}, \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma} \right\}. \quad (6)$$

Расчетные значения коэффициентов C_p и C_{pk} представлены в табл 1.

Т а б л и ц а 1

Значения показателей возможностей процесса

Наименование технологического параметра	Предельные значения показателя качества	Состояние процесса	Значения индексов C_p или C_{pk}	Ожидаемый процент брака
Сахаристость	14-18 %	A	1,33	0,0066
Длина 100 г стружки	11-13 м	B	1,92	0,00001
Чистота диффузионного сока	85-88 %	B	0,33	0,0066
pH диффузионного сока	6,0-6,5	A	0,22	42
Чистота нормального сока	85-87 %	B	0,64	5,5
Щелочность преддефекованного сока	0,09-0,11 % CaO	B	0,0019	26,7
Щелочность дефекованного сока	0,8-1,1 % CaO	B	1,06	0,64
Щелочность на I сатурации	0,12-0,14 % CaO	B	1,2	0,083
Щелочность II сатурации	0,020-0,025 % CaO	B	0,7	3,0
Щелочность сиропа	0,03-0,04 % CaO	B	0,629	6,3
Чистота утфеля I	94 %	B	1,34	0,0064
Чистота I оттока	85 %	B	1,16	0,050
Чистота утфеля 2	81-83 %	A	1,33	0,0066
Чистота утфеля 3	77 %, не более	B	1,92	0,000001

По результатам оценки стабильности процесс может находиться в следующих состояниях:

– процесс стабилен и по разбросу и по положению среднего арифметического – состояние А;

– процесс стабилен по разбросу, но не стабилен по положению среднего арифметического – состояние Б;

– процесс нестабилен по разбросу – состояние В.

Анализ гистограмм распределения, карт Шухарта и рассчитанных значений показателей возможностей процессов позволяет сделать вывод, что процессы получения и очистки диффузионного сока статистически неустойчивы, что обусловлено изменяющимся качеством перерабатываемого сырья и отсутствием гибкой технологической схемы для проведения процессов в оптимальном режиме. Следствием этого является снижение чистоты, повышения цветности и массовой доли солей кальция в очищенном соке, следовательно, снижение качества и термоустойчивости сиропа [3].

Технологические показатели сока и сиропа влияют на работу кристаллизационного отделения: при их ухудшении снижается качество и выход готовой продукции, увеличивается выход мелассы и потери в ней сахарозы.

Таким образом, необходимо на каждом предприятии иметь многовариантную технологическую схему очистки диффузионного сока и систему автоматизации, позволяющую отслеживать выход производственного процесса из стабильного состояния и выявлять причины этого выхода для поддержки принятия управляющих решений по его стабилизации.

ЛИТЕРАТУРА

1 Кульнева, Н. Г. К вопросу управления технологическими процессами свеклосахарного производства [Текст] / Н. Г. Кульнева, В. А. Голыбин, В. А. Федорук и др. – Хранение и переработка сельхозсырья – 2011. – № 2. – С.73-76.

2 Кульнева, Н. Г. Методология повышения эффективности работы сахарных заводов [Текст] / Н. Г. Кульнева, В. А. Голыбин, А. М. Мантулин // Вестник ВГУИТ. – 2012. – № 1. – С.148-150.

3 Кульнева, Н. Г. Повышение качества сахара-песка на основе гибкого управления технологическим процессом [Текст] / Н. Г. Кульнева, Н. В. Шевцова, Л. И. Назина // Товароведение продовольственных товаров. – 2011. – № 9. – С.27-29.

REFERENCES

1 Kulneva, N. G. About the process control in sugar production [Text] / N. G. Kulneva, V. A. Golybin, V. A. Fedoruk, et al. – Storage and processing of agricultural products – 2011. – № 2. – P.73-76.

2 Kulneva, N. G. Methodology of improvement the efficiency of sugar mills [Text] / N. G. Kulneva, V. A. Golybin, A. M. Mantulin // Bulletin of VSUET. – 2012. – № 1. – P.148-150.

3 Kulneva, N. G. Improving sugar in a flexible process control [Text] / N. G. Kulneva, N. V. Shevtsova, L. I. Nazina // Commodity of food products. – 2011. – № 9. – P.27-29.