

Поиск формализованных связей между потребительскими свойствами сахара и параметрами технологического процесса его производства

Марина И. Егорова	¹	rniisp@gmail.com
Валентина В. Райник	¹	sugar46@mail.ru
Ирина С. Михалева	¹	tk397@rniisp.ru
Яна А. Кретова	¹	
Екатерина С. Николаева	¹	

¹ Курский НИИ АПП, пос. Черемушки, Курская обл., Курский р-н, 305526, Россия

Реферат. До настоящего времени проведение технологического контроля в производстве сахара регламентируется требованиями, базовые положения которых разрабатывались в 80-е годы XX века. За истекший период произошли существенные изменения в состоянии рынка сахара, подходов к обеспечению качества и безопасности пищевых продуктов, претерпели изменения локальные процессы технологии и методы контроля. Для адекватного отражения изменений в схеме контроля целесообразно установить взаимосвязь между потребительскими свойствами сахара и параметрами технологического процесса его производства. Данную задачу решили опросом группы 25 экспертов по методу Дельфи, которым было предложено охарактеризовать степень влияния параметров технологического процесса из 39 позиций на показатели сахара, устанавливаемые промышленными потребителями, из 8 позиций. В результате математической обработки получена информационная модель, показывающая наличие такой связи и позволяющая определить как показатели потребительских свойств сахара, так и параметры технологического процесса для включения в схему контроля: мутность раствора сахара, содержание солей кальция, сапонина, pH, флокк-потенциал; на этапе очистки диффузионного сока pH полуфабрикатов, щелочность, содержание солей кальция, редуцирующих веществ. Для подтверждения результатов информационной модели проводили структурно-параметрическое моделирование этапов технологического процесса производства сахара путем построения матриц взаимосвязей между сгруппированными параметрами технологического процесса и показателями потребительских свойств сахара. Данные массива наблюдений от 25 предприятий, сформированные за оптимальный производственный период, статистически обрабатывали методами корреляционного и регрессионного анализа. Для каждого из предприятий получали математические модели по 12 объектам исследования, которые затем трансформировали в обобщенные для каждого объекта исследования. Результаты структурно-параметрического моделирования сопоставляли с данными информационной модели – в 90..95% случаев они совпадают с мнениями экспертов. Установленные формализованные связи позволяют актуализировать схемы технологического контроля в производстве сахара.

Ключевые слова: сахар, потребительские свойства, параметры технологического процесса, информационная модель, формализованные связи

Searching for formalized connections between the consumer properties of sugar and technological process parameters of its production

Marina I. Egorova	¹	rniisp@gmail.com
Valentina V. Raynik	¹	sugar46@mail.ru
Irina S. Mikhaleva	¹	tk397@rniisp.ru
Yana A. Kretova	¹	
Ekaterina S. Nikolaeva	¹	

¹ Kursk Research Institute of Agro Industrial Production, village Cheremushki, Kursk region, Kursk district, 305526, Russia

Summary. Until now technological control realization in sugar production has been regulated by the requirements, the fundamental provisions of which were developed in the 80s of the XX century. Over the past period, significant changes happened in the state of sugar market, approaches to quality assurance and food safety; local technology process and control methods have undergone changes. To reflect adequately changes in the control scheme, it is reasonable to establish a interconnection between the consumer properties of sugar and technological process parameters of its production. This task was solved by a survey, a group of 25 experts was questioned according to Delphi method, they were proposed to describe the degree of influence of technological process parameters from 39 items on the indicators of sugar, set by industrial consumers from 8 items.

Для цитирования

Егорова М.И., Райник В.В., Михалева И.С., Кретова Я.А., Николаева Е.С. Поиск формализованных связей между потребительскими свойствами сахара и параметрами технологического процесса его производства // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 3. С. 196–204. doi:10.20914/2310-1202-2018-3-196-204

For citation

Egorova M.I., Raynik V.V., Mikhaleva I.S., Kretova Ya.A., Nikolaeva E.S. Searching for formalized connections between the consumer properties of sugar and technological process parameters of its production. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 3. pp. 196–204. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-3-196-204

Due to mathematical processing, an information model has been obtained showing the existence of such connection and allowing to determine both the indicators of the consumer properties of sugar and technological process parameters for inclusion in the control scheme: turbidity of sugar solution, content of calcium salts, saponin, pH, flock potential; at the stage of juice purification pH of the semi-finished products, alkalinity, calcium salts content, reducing substances. To confirm the results of the information model, structural and parametric modeling of technological process stages of sugar production was carried out by construction of matrices of interconnection between the grouped parameters of the technological process and the indicators of the consumer properties of sugar. The array data of observations from 25 enterprises formed for the optimal production period was statistically processed by the methods of correlation and regression analysis. For every enterprises mathematical models on 12 objects of research were received, which then were transformed into summarized research for each object. The results of structural and parametric modeling were compared with the data of the information model – in 90...95% of cases they coincided with the opinion of experts. Established formalized connections will allow to update the technological control schemes in sugar production.

Keywords: Sugar, consumer properties, technological process parameters, information model, formalized connections.

Введение

В рамках производственного контроля, программу которого должны самостоятельно разработать производители пищевой продукции, важный функционал отводится технологическому контролю, поскольку именно в технологическом процессе формируются базовые показатели качества и безопасности продукта. Изменения в технологии влекут за собой необходимость актуализации критериев и периодичности контроля, в полной мере это касается и изменения характеристик продукта – качественных и безопасности. Рассмотрим ситуацию с технологическим контролем при производстве сахара.

Технология сахара – сложный мегатехнологический процесс, в котором происходят превращения свойств сахароносного растительного сырья – сахарной свеклы в свойства кристаллического сахара. Составляющие его локальные процессы представляют определенную совокупность и последовательность во времени многообразных физико-химических, механических, теплообменных и других процессов, обладающих соответствующими закономерностями. До настоящего времени проведение технологического контроля регламентируется требованиями Инструкции по химико-техническому контролю и учету сахарного производства, базовые положения которой разрабатывались в 80-е годы XX в. Произошедшие с тех пор события внесли существенные коррективы в состояние рынка сахара, подходы к обеспечению качества и безопасности пищевых продуктов, локальные процессы технологии, методы контроля. Так, отечественный рынок сахара все более интегрируется в международный, на нем, как и в мире возникла ситуация профицита товара [1]. Спрос на сахар промышленных потребителей, по сравнению с населением, растет. Видоизменились локальные процессы технологии: все большее распространение получают схемы экстрагирования сахарозы с глубоким отжимом жома и использованием

жомопрессовой воды в качестве экстрагента, уваривания утфелей на основе стандарт-сиропа и маточного утфеля, расширились вариации схем очистки диффузионного сока, при этом появляются новые параметры контроля процессов и их значения. Закрепилась и продолжает расширяться линейка технологических вспомогательных средств [2], применение которых законодательно закреплено ТР ТС 029/11 “Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств”. Произошло переформатирование нормативных документов на сахар – теперь единый стандарт определяет унифицированные требования к его качеству. Стандарты на методы испытаний сахара и другой продукции отрасли получили гармонизацию с международными требованиями – методиками ICUMSA. С учетом расширения экспорта сахара и линейки изготавливаемых с его использованием пищевых продуктов происходит сегментирование требований к сахару в нишах потребителей. Все эти изменения требуют адекватного отражения в документах, регламентирующих порядок проведения контроля технологических процессов на предприятиях сахарной отрасли.

Для того, чтобы внести соответствующие изменения в схему контроля, целесообразно установить взаимосвязь между потребительскими свойствами сахара и параметрами технологического процесса.

Материалы и методы

Оценку взаимосвязи потребительских свойств сахара и параметров технологического процесса проводили путем формирования информационной модели, основанной на результатах опроса группы экспертов. В качестве инструмента, позволяющего опросить ведущих специалистов сахарных заводов, расположенных в разных регионах России, учесть анонимное, независимое мнение и тем самым повысить достоверность получаемых результатов, использовали метод

Дельфи [3]. Опрос по методу Дельфи заключался в заочном (без личных контактов и коллективных обсуждений) анкетировании 25 главных технологов предприятий в три тура с обработкой результатов анкетирования в каждом туре. В первом туре опроса группе экспертов для заполнения предлагались табличные формы, содержащие перечень показателей из 8 позиций, наиболее часто устанавливаемых промышленными потребителями [4], и перечень параметров технологического процесса из 39 позиций, взятых из действующих схем контроля. По шкале балльных оценок от 0 до 9 (где 0 – полное отсутствие влияния; 9 – критичное влияние) эксперты характеризовали степень влияния процессов на показатели сахара исходя из предполагаемых закономерностей, полученных в оптимальный производственный период (без учета пусковых и завершающих декад), что способствовало повышению достоверности результатов. Полученные ответы обрабатывались с целью выявления среднего и крайних мнений, которые сообщались экспертам, после чего проводился второй тур опроса, в ходе которого эксперты могли изменить ответы, данные в первом туре. Кроме того, они объясняли, почему изменили или не изменили ответы в тех случаях, в которых наблюдались расхождения мнений более 2 баллов. Вновь полученные средние и крайние мнения, а также вся аргументация с сохранением анонимности сообщались экспертам и проводился третий тур опроса.

Совокупность данных экспертов подвергалась математической обработке для вычисления усреднённых оценок (коэффициентов весомости) влияния параметров технологического процесса на потребительские свойства сахара, соответствующие нормированные оценки суммировались, полученные суммы делились на количество экспертов.

Для подтверждения результатов информационной модели и установления характера взаимосвязи между параметрами технологического процесса и показателями сахара проводили структурно-параметрическое моделирование этапов технологического процесса производства сахара путем построения матриц взаимосвязей между сгруппированными параметрами технологического процесса и данными показателей потребительских свойств сахара. В качестве исходного материала выступали результаты мониторинга технологического процесса, полученные от тех сахарных заводов, чьи главные технологи входили в состав экспертной группы при составлении информационной модели.

Данные массива наблюдений, сформированные за оптимальный производственный период, статистически обрабатывали методами корреляционного и регрессионного анализа.

Результаты и обсуждение

Полагаем, что при формировании схемы технологического контроля, которая должна быть гибкой с возможностью перенастройки при изменении требований потребителей к сахару, необходим дифференцированный и инклюзивный подход, а в ее основе может быть номенклатура показателей качества и безопасности сахара, основанная на мнении потребителей. Как известно, потребители сахара представляют собой две группы: население и промышленные потребители. Население ориентируется на информацию, представленную на этикетке продукта, личных ощущениях, полученных при употреблении продукта, и тех знаниях, которыми обладает в области питания. С промышленными потребителями ситуация другая – для многих важными являются показатели, не нашедшие отражения в стандарте, например, такие как наличие продуктов деструкции крахмала в сахаре, мутность раствора, гранулометрический состав и др. Поскольку действующая система контроля обеспечивает лишь надлежащее соблюдение показателей в соответствии с требованиями стандарта, то перечисленные выше показатели не находят отражения при контроле технологических процессов.

Эмпирические знания дают основания подразумевать такую связь. Например, основными причинами мутности растворов сахара являются мигрирующие в кристаллы из маточного раствора слабо растворимые соли кальция и суспендированные частицы [5]. Катионы же кальция поступают в технологический поток в малых количествах с сахароносным сырьем, а в основном – с экстрагентом и известковым молоком, мигрируя в дальнейшем по технологическому потоку, их превращения определяются во многом анионным составом кислот сахарной свеклы, режимом процессов. Взвешенные частицы разного характера попадают в сахар по причине некачественного фильтрования сиропа. Как правило, повышенное содержание солей кальция в сахаре обуславливает в нем и увеличенное содержание золы, при этом рН раствора сахара переходит в зону щелочных значений, возрастают мутность и цветность [6, 7]. Однако такие эмпирические знания не позволяют формировать схему технологического контроля.

Для установления формализованной связи создали информационную модель взаимосвязи потребительских свойств сахара и параметров технологического процесса, фрагмент которой представлен в таблице 1.

Суммарные комплексные показатели K влияния технологических параметров на конкретный показатель потребительских свойств сахара, представляющие собой безразмерные величины, получены путем суммирования значений в столбцах. Отношение каждого из комплексных показателей влияния технологических параметров к сумме всех элементов информационной модели является уровнем значимости P конкретного показателя качества сахара в их общей совокупности, исходя из полученных данных взаимосвязи между показателями потребительских свойств и параметрами процессов. Ранжировка по убыванию полученных значений P позволяет сделать вывод о том, каким показателям потребительских свойств сахара необходимо уделить особое внимание при контроле: мутность раствора, содержание солей кальция, pH, содержание сапонина, флокк-потенциал.

Суммирование значений показателя влияния технологических параметров в строках модели дает числовой ряд показателей влияния ПВ единичных параметров технологического процесса на показатели потребительских свойств сахара. Ранжировка по убыванию значений ряда ПВ позволяет сделать вывод об уровне значимости конкретного параметра технологического процесса производства во вклад в формирование совокупности потребительских свойств сахара. Соответственно, особый контроль следует уделять таким параметрам: pH полуфабрикатов технологического потока, щелочность, содержание солей кальция, содержание редуцирующих веществ, а основной контроль необходимо сосредоточить на этапе очистки диффузионного сока.

Таким образом, показано, что при проведении контроля технологических процессов производства сахара необходимо учитывать требования, предъявляемые промышленными потребителями к сахару, которые образуют группу из 8 показателей, имеющих взаимосвязь с параметрами технологического процесса, установленную информационной моделью.

При проведении структурно-параметрического моделирования для построения матриц из обрабатываемых были исключены следующие

показатели потребительских свойств сахара: флокк-потенциал, содержание крахмала, гранулометрический состав. Объясняется это следующими причинами: степень флокк-потенциала выражается как незначительная, слабая, умеренная и значительная, т. е. относится к безразмерным величинам и не может быть математически обработана [6]; содержание крахмала в сахаре определяется исходным сырьем, как известно [7], он содержится в сахарном тростнике и продуктах его переработки, поэтому зная источник происхождения сырья можно определить порядок проведения контроля по данному показателю; характеристики гранулометрического состава сахара выражаются средним размером кристаллов и коэффициентом вариации [8], которые имеют широкие пределы варьирования в зависимости от требования конкретных потребителей, что не позволяет установить оптимальные величины.

Методически структурно-параметрическое моделирование этапов технологических процессов проводили следующим образом. По каждому объекту исследований, в качестве которого выступали последовательно полуфабрикаты технологического потока, и относящимся к нему параметрам технологического процесса, приведенным в таблице 1, формировали массив исходных данных для каждого из 25 сахарных заводов, включавший в себя до 720 результатов исследований. В качестве примера в таблице 2 представлен фрагмент визуализации массива данных, полученных в результате измерений на этапе очистки диффузионного сока при исследовании сока II сатурации на одном из сахарных заводов. Исходными параметрами, отражающими протекание технологического процесса, выступают следующие: X_1 – щелочность, % СаО; X_2 – pH; X_3 – содержание сахарозы, %; X_4 – содержание сухих веществ, %; X_5 – цветность, ед. ICUMSA; X_6 – содержание солей кальция, %. Выходными параметрами являются показатели потребительских свойств сахара: Y_1 – содержание взвешенных частиц, мг/кг; Y_2 – pH; Y_3 – содержание солей кальция, %; Y_4 – мутность раствора, ед. ICUMSA; Y_5 – содержание сапонина, мг/кг.

Массив исходных данных трансформировали в матрицу корреляционных связей (таблица 3), отражающую глубину статистической связи между параметрами, путем определения коэффициентов корреляции [11].

Фрагмент информационной модели влияния параметров технологических процессов на потребительские свойства сахара

Table 1.

Information model fragment of the influence of technological process parameters on the consumer properties of sugar

Этап технологического процесса Stage of technological process	Объект исследования Subject of research	Параметр технологического процесса The parameter of technological process	Показатель потребительских свойств сахара Indicator of consumer properties of sugar								ПВ CV		
			взвешенные частицы suspended particles	рН	соли кальция calcium salts	мутность turbidity	флокк-потенциал flock-potential	сапонин saponin	крахмал starch	Гранулометрический состав grain composition			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Экстрагирование Extracting	Свекловичная стружка Beet chip	Содержание сахарозы, % Sucrose content, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Длина 100 г стружки, м Length of 100 gr of chip, m	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
		Фактор стружки Chip factor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Свекловичный сок Beet juice	рН	0	3,3	0	3,5	1,2	1,4	0	0	0	9,4	
		Содержание оптически активных веществ, % Content of optically active substances, %	1,3	2,1	1,4	1,6	0	1,8	0	0	0	8,2	
		Содержание сахарозы, % Sucrose content, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Содержание сухих веществ, % Solids content, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Диффузионный сок Diffusion juice	Содержание сухих веществ, % Solids content, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Содержание сахарозы, % Sucrose content, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Содержание мезги, % Pulp content, %	1,9	0	0	0	0	0	0	0	0	1,9	
		Содержание редуцирующих веществ, % Content of reducing substances, %	2,1	1,8	2,3	2,5	1,7	1,2	6,1	2,7	2,7	20,4	
		Содержание ВМС и коллоидов, % Content of high-molecular weight compound and colloids, %	5,2	1,5	2,7	6,1	2,7	3,4	6	2,2	2,2	29,8	
		рН	0	3,3	1	0	0	3	0	0	0	7,3	
	Очистки диффузионного сока Purification of diffusion juice	Преддефекованный сок Predefecated juice	Общее содержание СаО, % Total CaO content, %	3,4	3	6,2	9,1	3,5	6,1	0	0	0	31,3
			Щелочность, % Alkalinity, %	3,1	3,2	6,1	9	3,9	6,4	0	0	0	31,7
рН			0	7,5	5	9,3	9,1	7	0	0	0	37,9	
Дефекованный сок Defecated juice		Общее содержание СаО, % Total CaO content, %	3,7	3,4	6,6	9,5	3,5	6,2	0	0	0	32,9	
		Щелочность, % Alkalinity, %	3,5	3	5,2	9,8	3,9	6,3	0	0	0	31,7	
Сок I сатурации фильтрованный Filtered I saturation juice		Щелочность, %СаО Alkalinity, %CaO	3,2	3,2	6,4	9,1	3,4	6,7	0	0	0	32	
		рН	0	7	5,1	9,3	9,2	7,3	0	0	0	37,9	
Сок II сатурации фильтрованный Filtered II saturation juice		Щелочность, %СаО Alkalinity, %CaO	3,5	3,1	6,8	9,4	3,5	6,2	0	0	0	32,5	
		рН	0	7	5,1	9,1	9	7,5	0	0	0	37,7	
		Содержание сахарозы, % Sucrose content, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Содержание сухих веществ, % Solids content, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Цветность, ед.опт.пл. Colority, IU	0	1,8	2,3	6,5	0	0	0	0	0	10,6	
		Содержание солей кальция, % Calcium salt content, %	0	1,5	6,8	5,8	9,9	0	0	0	0	24	
Сироп из выпарной установки Syrup from the evaporator		Содержание сухих веществ, % Solids content, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Щелочность, %СаО Alkalinity, %CaO	3,8	3	6,5	6,1	6	8,4	0	0	0	33,8	
	рН	0	8,3	5,4	6,2	9,5	6,1	0	6,7	6,7	42,2		

Продолжение табл. 1 | Continuation of table 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Кристаллизация сахара Crystallization of sucrose	Утфель I кристаллизации I crystallization massecuite	Содержание сахарозы, % Sucrose content, %	0	0	0	0	0	0	0	1,4	1,4	
		Содержание сухих веществ, % Solids content, %	0	0	0	0	0	0	0	0	3,8	3,8
		pH	0	9,1	2,3	3,3	0	0	0	0	5,3	20
	Межкристалльный раствор утфеля I кристаллизации Intercrystalline solution of I crystallization massecuite	Содержание сахарозы, % Sucrose content, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Содержание сухих веществ, % Solids content, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Оттеки I и II утфеля I кристаллизации Jets of I and II massecuite of I crystallization	Содержание сахарозы, % Sucrose content, %	0	0	0	0	0	0	0	0	1,9	1,9
		Содержание сухих веществ, % Solids content, %	0	0	0	0	0	0	0	0	2,1	2,1
	Утфель II кристаллизации II crystallization massecuite	Содержание сахарозы, % Sucrose content, %	0	0	0	0	0	0	0	0	4,2	4,2
		Содержание сухих веществ, % Solid scontent, %	0	0	0	0	0	0	0	0	2,7	2,7
		pH	0	9,2	2,8	3,9	0	0	0	0	5,2	21,1
	К			35,7	85,3	86	129,1	80	85	12,1	38,2	551,4
	Р			0,065	0,155	0,156	0,234	0,145	0,154	0,022	0,069	

Таблица 2.

Фрагмент образца массива исходных данных

Table2.

Fragment of the sample of basic data array

X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅
0,018	9,6	12,7	13,6	248	0,019	0,0001	7,0	0,002	20,0	8
0,019	9,4	12,2	13,0	244	0,028	0,0001	7,0	0,007	13,5	7,8
0,019	9,4	12,8	13,6	252	0,021	0,0003	7,1	0,003	7,6	8,0
0,020	9,5	11,9	12,8	256	0,022	0,0001	6,8	0,005	20,2	12
0,022	9,6	11,5	12,4	228	0,024	0,0002	7,2	0,007	7,4	13
0,025	9,6	13,2	14,0	256	0,022	0,0002	6,9	0,007	7,3	11,8
X _{1n}	X _{2n}	X _{3n}	X _{4n}	X _{5n}	X _{6n}	Y _{1n}	Y _{2n}	Y _{3n}	Y _{4n}	Y _{5n}

Таблица 3.

Фрагмент матрицы корреляционных связей

Table3.

Fragment of the correlation relationship matrix

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅
X ₁	1	0,011	0,233	0,410	0,632	0,856	0,100	0,206	0,420	0,620	0,341
X ₂	0,011	1	0,324	0,632	0,887	0,009	0,366	0,428	0,369	0,145	0,183
X ₃	0,233	0,324	1	0,633	0,202	0,333	0,107	0,198	0,567	0,059	0,345
X ₄	0,410	0,632	0,633	1	0,772	0,230	0,144	0,233	0,612	0,114	0,427
X ₅	0,632	0,887	0,202	0,772	1	0,026	0,736	0,088	0,366	0,820	0,631
X ₆	0,856	0,009	0,333	0,230	0,026	1	0,555	0,323	0,936	0,300	0,411
Y ₁	0,100	0,366	0,107	0,144	0,736	0,555	1	0,030	0,612	0,314	0,607
Y ₂	0,206	0,428	0,198	0,233	0,088	0,323	0,030	1	0,200	0,326	0,885
Y ₃	0,420	0,369	0,567	0,612	0,366	0,963	0,612	0,200	1	0,489	0,428
Y ₄	0,620	0,145	0,059	0,144	0,820	0,300	0,314	0,326	0,489	1	0,109
Y ₅	0,341	0,183	0,345	0,427	0,631	0,411	0,607	0,885	0,428	0,109	1

Матрицу корреляционных связей подвергли проверке значимости по критерию Стьюдента с получением матрицы коэффициентов корреляции R_{ij}. Затем путем расчёта коэффициентов линейной множественной регрессии строили регрессионную матрицу. Для того, чтобы коэффициенты влияния параметров

различной физической природы можно было сравнить между собой, переходили к матрице безразмерных величин [12]. Именно эти величины позволяют получить коэффициенты математических моделей зависимости показателей потребительских свойств сахара от параметров технологического процесса.

Для рассматриваемого фрагмента массива данных полученные математические модели имеют вид:

$$Y_1 = 0,8 X_1 + 0,59 X_6; \quad (1)$$

$$Y_2 = 0,36 X_1 + 0,41 X_2; \quad (2)$$

$$Y_3 = 0,83 X_1 + 0,41 X_2 + 0,26 X_6; \quad (3)$$

$$Y_4 = 0,58 X_1 + 0,61 X_2; \quad (4)$$

$$Y_5 = 0,85 X_1. \quad (5)$$

Описанным выше образом для каждого из 25 сахарных заводов были получены

математические модели по 12 объектам исследования этапов технологического процесса, которые затем трансформировали в обобщенные модели для каждого объекта исследований с применением метода наименьших квадратов.

Полученные результаты сопоставляли с данными информационной модели, фрагмент итога приведен в таблице 3 в форме квадратичной матрицы взаимосвязей, где символ “+” означает подтверждение мнения эксперта, а “-” опровержение мнения эксперта.

Таблица 4.

Итоги сопоставления взаимосвязей по математической и информационной моделям (для сока II сатурации)

Table 4.

Results of the comparison of relationships between the mathematical and information models (for II saturation juice)

Параметры технологического процесса	Показатель потребительских свойств сахара Indicator of consumer properties of sugar				
	взвешенные частицы suspended particles	pH	соли кальция calcium salts	мутность turbidity	сапонин saponin
Щелочность, %CaO Alkalinity, %CaO	+	+	+	+	+
pH	+	+	+	+	-
Содержание сахарозы, % Sucrose content, %	+	+	+	+	+
Содержание сухих веществ, % Solids content, %	+	+	+	+	-
Цветность, ед. опт. пл. Colority, IU	+	+	+	+	+
Содержание солей кальция, %CaO Calciumsalts, %CaO	+	+	+	+	+

В данном случае видно, что мнения экспертов и данные математической модели не совпали по одному показателю потребительских свойств сахара – содержанию сапонина, для двух параметров технологического процесса, что составляет 7%. Как мы полагаем, это может быть связано с тем, что определение содержания сапонина в сахарных растворах представляет собой сложную аналитическую задачу, в связи с чем на предприятиях сахарной отрасли выполнение таких анализов не проводится, а эмпирические знания экспертов базировались на их интуитивных выводах, соответствующих багажу знаний.

В целом итоги сопоставления, проведенные по 12 объектам исследования показали, что результаты структурно-параметрического

моделирования в 90...95% случаев совпадают с мнениями экспертов, что свидетельствует о высокой сходимости полученных результатов.

Заключение

Показано наличие взаимосвязи между потребительскими свойствами сахара и параметрами технологического процесса. Установленная формализованная связь представлена в виде информационной модели, полученной методом экспертных оценок, и математическими моделями как следствия структурно-параметрического моделирования. Указанные результаты могут быть применены при актуализации схемы технологического контроля в производстве сахара.

ЛИТЕРАТУРА

1 Maitah M., Smutka L. Restoration and Growth of the Russian Sugar Market // Sugartech. 2017. V. 18. № 2. P. 115–123.

2 Беляева Л.И., Лабузова В.Н., Остапенко А.В., Скрипко Е.М. Технологические вспомогательные средства в производстве сахара: эволюция применения // Сахар. 2015. № 11. С. 39–43.

3 Горбашко Е.А. Управление качеством. М.: Издательство Юрайт, 2016. 463 с.

4 Егорова М.И., Райник В.В., Кретова Я.А. Информационные технологии как инструмент оценки технологических возможностей линии при получении сахара с заданными характеристиками // Материалы Международного научно-практического форума “Перспективные технологии в агропромышленном комплексе”. 2018. С. 124–128. doi: 10.3679/2587–9847–2018–21–124–128

5 Чернявская Л.И., Кухар В.Н., Чернявский А.П. Содержание зольных элементов в белом сахаре, методы их контроля и снижения // Сахар. 2017. № 11. С. 40–47.

6 Bak P., Antczak-Chrobot A., Wojtczak M. The content of nitrates and nitrites in the semi-products in the final stages of white sugar production process // International sugar journal. 2017. V. 119. № 1427. P. 876–879.

7 Abdel-Rahman E., Floeter E. Physico-chemical Characterization of Turbidity-Causing Particles in Beet Sugar Solutions // International journal of food engineering. 2017. V. 12. № 2. P. 127–137.

8 Iciek J., Blaszczyk I., Biernasiak J. Floc in acidified solutions of white sugar –a literature review // Sugar industry-zuckerindustrie. 2012. V. 137. № 7. С. 449–453.

9 Егорова М.И., Беляева Л.И., Милых А.А., Райник В.В. Идентификация сахара на основе определения содержания его микронутриента крахмала // Сахарная свекла. 2013. № 8. С. 7–9.

10 Bennar M., Betoret E., Bojnanska T., Brno D. et al. Optimal Particle Size Distribution of White Sugar // Listy cukrovarnicke a reparske. 2012. V. 128. № 12. P. 385–389.

11 Рыжаков В.В., Боклашов Н.М., Рудюк М.Ю. Планирование эксперимента и статистический анализ данных в управлении качеством продукции. Пенза: ПензГТУ, 2013. 124 с.

12 Благовещенский И.Г., Ивашкин Ю.А., Носенко С.М., Носенко А.С. Структурно-параметрическая модель процесса приготовления сахарного сиропа // Хранение и переработка сельхозсырья. 2015. № 4. С. 16–20.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Марина И. Егорова к.т.н., ведущий научный сотрудник, отдел контроля производства и стандартизации, Курский научно-исследовательский институт агропромышленного производства, пос. Черемушки, Курский р-н, Курская обл., 305526, Россия, miisp@gmail.com

Валентина В. Райник научный сотрудник, отдел контроля производства и стандартизации, Курский научно-исследовательский институт агропромышленного производства, пос.

REFERENCES

1 Maitah M., Smutka L. Restoration and Growth of the Russian Sugar Market. Sugar tech. 2017. vol 18. no. 2. pp. 115–123.

2 Belyaeva L.I., Labuzova V.N., Ostapenko A.V., Skripko E.M. Technological supporting aids in the production of sugar: the evolution of application. *Sakhar* [Sugar] 2015. no. 11. pp. 39–43. (in Russian)

3 Gorbashko E.A. *Upravlenie kachestvom* [Quality management] Moscow, Publishing house Yurait, 2016. 463 p. (in Russian)

4 Egorova M.I., Raynik V.V., Kretova Ya.A. Information technology as a tool for assessing the technological capabilities of the line for obtaining sugar with given characteristics. *Materialy Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo foruma Perspektivnye tekhnologii v agropromyshlennom komplekse* [Materials from the International Scientific and Practical Forum "Perspective Technologies in the Agroindustrial Complex"] 2018. pp. 124–128. DOI: 10.3679/2587–9847–2018–21–124–128 (in Russian)

5 Chernyavskaya L.I., Kuhar V.N., Chernyavskiy A.P. The content of ash elements in white sugar, the methods of control and reduction. *Sakhar* [Sugar] 2017. no. 11, pp. 40–47. (in Russian)

6 Bak P., Antczak-Chrobot A., Wojtczak M. The content of nitrates and nitrites in the semi-products in the final stages of white sugar production process. *International sugar journal*. 2017. vol 119. no. 1427. pp. 876–879.

7 Abdel-Rahman E., Floeter E. Physico-chemical Characterization of Turbidity-Causing Particles in Beet Sugar Solutions. *International journal of food engineering*. 2017. vol 12. no. 2. pp. 127–137.

8 Iciek J., Blaszczyk I., Biernasiak J. Floc in acidified solutions of white sugar –a literature review // *Sugar industry-zuckerindustrie*. 2012. vol 137. no. 7. pp. 449–453.

9 Egorova M.I., Belyaeva L.I., Milyh A.A., Raynik V.V. Sugar identification based on the content determination of its micronutrient amyllum. *Sakharnaya svekla* [Sugar beet] 2013. no. 8. pp. 7–9. (in Russian)

10 Bennar M., Betoret E., Bojnanska T., Brno D., Hambalkova J., Richter A. Optimal Particle Size Distribution of White Sugar. *Listy cukrovarnicke a reparske*. 2012. vol 128. no. 12. pp. 385–389. (in Russian)

11 Ryzhakov V.V., Boklashov N.M., Rudyuk M.Yu. *Planirovanie eksperimenta i statisticheskii analiz dannykh v upravlenii kachestvom produktsii* [Experiment planning and statistical data analysis in the quality management of product] Penza, Penza State Technical University, 2013. 124 p. (in Russian)

12 Blagoveshenskiy I.G., Ivashkin Yu.A., Nosenko S.M., Nosenko A.S. Structural parametric model of sugar syrup preparation process. *Khranenie i pererabotka selkhozsyria* [Storage and processing of agricultural raw materials] 2015. no. 4. pp. 16–20. (in Russian)

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Marina I. Egorova Cand. Sci. (Engin.), leading researcher, Production control and standardization department, Kursk Research Institute of Agro Industrial Production, village Cheremushki, Kursk region, Kursk district, 305526, Russia, miisp@gmail.com

Valentina V. Raynik researcher, Production control and standardization department, Kursk Research Institute of Agro Industrial Production, village Cheremushki, Kursk region, Kursk district, 305526, Russia, sugar46@mail.ru

Черемушки, Курский р-н, Курская обл., 305526, Россия, sugar46@mail.ru

Ирина С. Михалева ст. научный сотрудник, отдел контроля производства и стандартизации, Курский научно-исследовательский институт агропромышленного производства, пос. Черемушки, Курский р-н, Курская обл., 305526, Россия, tk397@miiisp.ru

Яна А. Кретова мл. научный сотрудник, отдел контроля производства и стандартизации, Курский научно-исследовательский институт агропромышленного производства, пос. Черемушки, Курский р-н, Курская обл., 305526, Россия

Екатерина С. Николаева мл. научный сотрудник, отдел контроля производства и стандартизации, Курский научно-исследовательский институт агропромышленного производства, пос. Черемушки, Курский р-н, Курская обл., 305526, Россия, tk397@miiisp.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Марина И. Егорова предложила идею статьи, написала часть рукописи, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Валентина В. Райник предложила методику проведения исследований, осуществляла обработку данных, написала часть рукописи

Ирина С. Михалева организовала сбор данных

Яна А. Кретова выполнила расчеты

Екатерина С. Николаева выполнила расчеты

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 01.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 10.09.2018

Irina S. Mikhaleva senior researcher, Production control and standardization department, Kursk Research Institute of Agro Industrial Production, village Cheremushki, Kursk region, Kursk district 305526, Russia, tk397@miiisp.ru

Yana A. Kretova junior researcher, Production control and standardization department, Kursk Research Institute of Agro Industrial Production, village Cheremushki, Kursk region, Kursk district 305526, Russia

Ekaterina S. Nikolaeva junior researcher, Production control and standardization department, Kursk Research Institute of Agro Industrial Production, village Cheremushki, Kursk region, Kursk district 305526, Russia, tk397@miiisp.ru

CONTRIBUTION

Marina I. Egorova suggested the idea of the article, wrote a part of the manuscript, corrected it before submitting to the editors office and responsible for plagiarism

Valentina V. Raynik suggested the methodology for conducting the research, carried out data processing, wrote a part of the manuscript

Irina S. Mikhaleva arranged data gathering

Yana A. Kretova performed accounting

Ekaterina S. Nikolaeva performed accounting

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.1.2018

ACCEPTED 9.10.2018