

Е.В. Харламова, С.И. Сташков

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

ОБСЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ТВОРОГА КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯМИ КАЧЕСТВА

Приведены результаты статистического анализа технологического процесса производства творога, в частности, оценки взаимовлияния показателей качества творожной продукции. В исследовании использовались такие методы корреляционного анализа, как диаграммы разброса и контрольные карты Шухарта. Результаты анализа показывают, что существует необходимость оптимизации соотношения значений технологических параметров, обеспечивающих требуемый уровень комплекса показателей качества продукции.

В настоящее время к показателям качества продуктов пищевой промышленности предъявляются очень высокие требования. С точки зрения исследования показателей качества смесевых композиций интересны линии производства молочной продукции, например, творожной.

Творог – белковый кисломолочный продукт, изготавливаемый сквашиванием культурами молочнокислых бактерий с применением или без применения молокосвертывающего фермента и хлорида кальция пастеризованного нормализованного цельного или обезжиренного молока (допускается смешивание с пахтой) с последующим удалением из сгустка части сыворотки и отпрессовыванием белковой массы [1].

Технология производства творога представлена на рис. 1. Молоко из емкости с помощью центробежного насоса подается сначала в балансировочный бачок, а затем насосом в секцию рекуперации пастеризационно-охладительной установки, где оно подогревается до температуры 35–40 °С для очистки от примесей. Затем молоко подогревают до температуры 40–55 °С и направляют на сепаратор-сливкоотделитель.

Полученные сырые сливки подаются в пастеризационно-охладительную установку, где пастеризуются при температуре 85–90 °С,

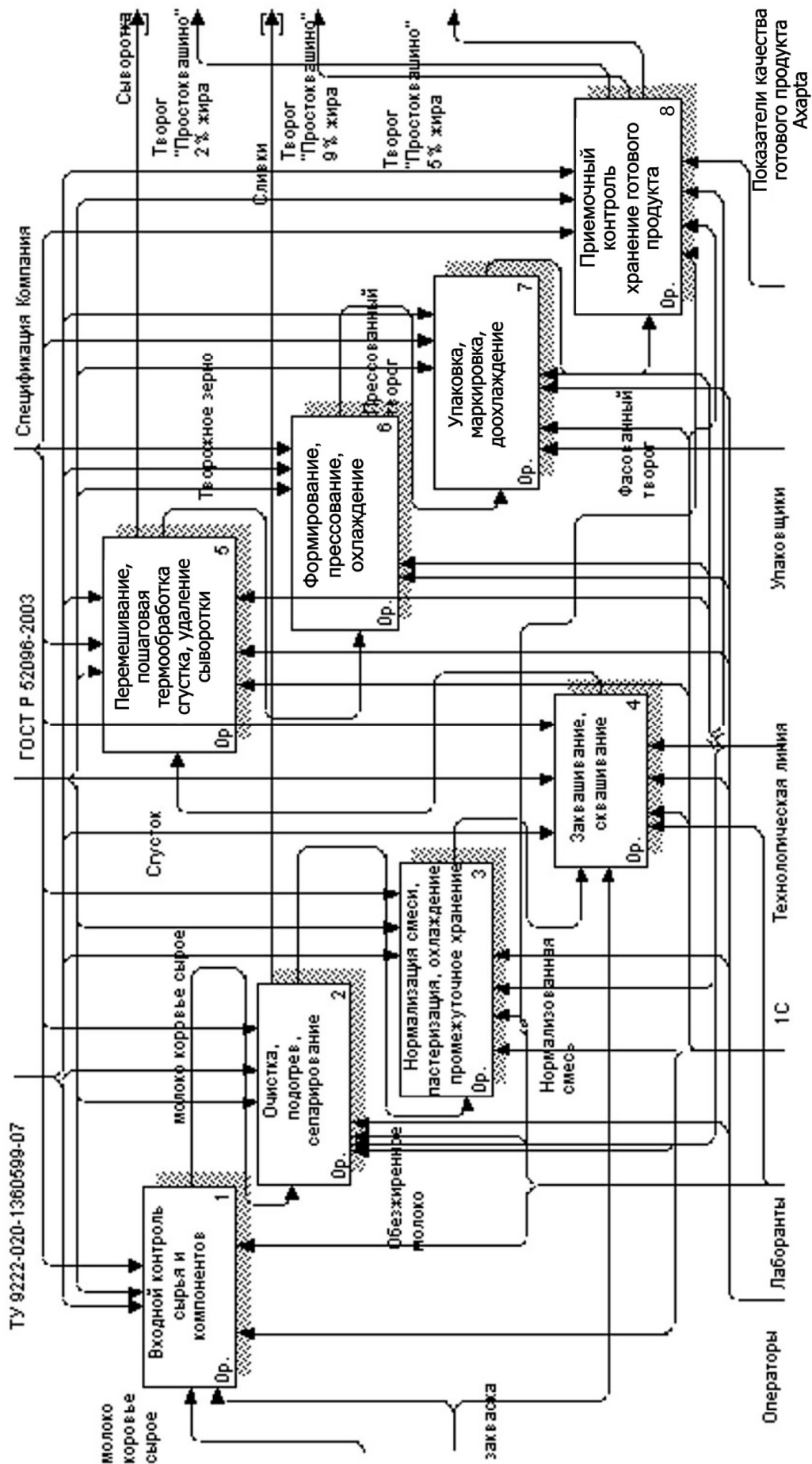


Рис. 1. Схема производства творога традиционным способом из нормализованного молока

затем их охлаждают до температуры 2–6 °С и направляют в емкость для хранения сливок не более чем на 12 ч и дальнейшего использования в производстве.

Нормализацию молока производят в потоке и в специальной емкости, из которой нормализованная смесь подается на пастеризационно-охладительную установку. Нормализованную смесь пастеризуют при температуре 78–82 °С с выдержкой 15–20 с, затем ее охлаждают до температуры 2–6 °С и хранят в резервуаре для нормализованной смеси не более 6 ч.

Температура пастеризации влияет на физико-химические свойства сгустка, что, в свою очередь, отражается на качестве и выходе готового продукта. Так, при низких температурах пастеризации сгусток получается недостаточно плотным, так как сывороточные белки практически полностью отходят в сыворотку, и выход творога снижается. С повышением температуры пастеризации увеличивается денатурация сывороточных белков, которые участвуют в образовании сгустка, повышая его прочность и усиливая влагоудерживающую способность. Это снижает интенсивность отделения сыворотки и увеличивает выход продукта. Путем регулирования режимов пастеризации и обработки сгустка, подбором штаммов заквасок можно получать сгустки с нужными реологическими и влагоудерживающими свойствами.

Затем перед тем как подать нормализованную смесь в коагулятор, ее снова пастеризуют на пастеризационно-охладительной установке и охлаждают до температуры закваски 30–32 °С. В коагуляторе в нормализованную смесь вносят глубокозамороженную закваску при температуре 30–32 °С при включенной мешалке. Смесь после заквашивания перемешивают в течение 15–20 мин. Смесь сквашивают до образования сгустка с показателями кислотности 70–95 Т или рН 4,4–4,9. Продолжительность сквашивания смеси закваской прямого внесения при указанных выше температурах составляет 7–16 ч с момента внесения закваски.

По окончании сквашивания сгусток предварительно нагревают в течение 5–15 мин и далее перемешивают в течение 5–10 мин. Температуру нагревания сгустка устанавливают в зависимости от жирности смеси: для 2 и 5 % – 40–45 °С; для 7 и 9 % – 42–47 °С; для 18 % – 45–50 °С.

Продолжительность цикла термообработки творожного зерна составляет 60–150 мин, в зависимости от массовой доли жира творога.

Контроль температурных режимов и времени на всех этапах цикла перемешивания, нагревания, пошаговой термообработки сгустка осуществляется в соответствии с программой и оборудованием, установленными фирмой – поставщиком оборудования.

Выделившуюся сыворотку из котла коагулятора удаляют в количестве около 1/3 части от объема заквашенной смеси, путем слива через кран. Творожное зерно из котла коагулятора подается с помощью мембранного насоса на прессующее формующее устройство (ПФУ), где зерно с помощью шнека равномерно распределяется в засыпной воронке колонного ПФУ.

Готовое и отпрессованное зерно разрезается ножом на равные порции. Порции автоматически укладываются в пресс-формы, находящиеся на транспортере. Пресс-формы автоматически устанавливаются под прессами, где творог прессуется в течение 0–60 с в зависимости от вида творога, прилагаемого давления и структуры полученного творога. После окончания прессования творог в пресс-формах подается в оборачивающее устройство, оборачивающие формы на 180°, и выгружаются на поддоны. Пресс-формы подаются в тоннельную моечную установку. Головки свежего творога, выложенные на поддоны, с помощью системы транспортирования поступают в туннельный охладитель, где охлаждаются до температуры 2–6 °С не менее 1 ч. Затем охлажденные головки творога подают на упаковочный автомат и датирующее устройство. Упакованный творог доохлаждают в холодильной камере до температуры 2–6 °С. После доохлаждения творога технологический процесс считается законченным, продукт поступает на стол и готов к реализации.

Требования к готовому продукту определяются в соответствии с ГОСТ Р 52096–2003 «Творог. Технические условия». В соответствии с предъявляемыми требованиями на каждой стадии технологического процесса приготовления творога проводятся измерения значений показателей качества либо при помощи лабораторного анализа, либо непосредственным измерением технологических параметров.

Технология производства творога многостадийна. В табл. 1 представлены технологические параметры и показатели качества каждой стадии.

Таблица 1

Технологические параметры и анализируемые показатели качества технологического процесса производства творога

Стадия	Технологический параметр	Показатель качества
<i>Подача сырья:</i> Нормализованная смесь		Масса, кг
		Массовая доля жира, %
		Массовая доля белка, %
		Кислотность Т
		Плотность, кг/м ³
		Температура пастеризации, °С
Закваска		Выдержка, с
		Вид закваски
<i>Технологический процесс производства творога:</i> Сквашивание		Масса закваски замороженной, кг
	Температура заквашивания, °С	Кислотность сгустка Т
	Время перемешивания молока после заквашивания, мин	Кислотность сгустка рН
	Начало сквашивания, ч	
Отваривание	Окончание сквашивания, ч	
	Температура подогрева сгустка, °С	
	Время начала цикла, мин	
Подача отваренного творога на ПФУ	Время окончания цикла, мин	
	Начало	
Охлаждение творога	Окончание	
	Температура охлаждения, °С	
Выход готового продукта	Время охлаждения, мин	
		Массовая доля жира, %
		Массовая доля влаги, %
		Кислотность Т
		Кислотность рН
		Температура при выпуске, °С
		Фосфатаза
		Внешний вид и консистенция
		Вкус и запах
	Цвет	

Для данных показателей качества можно определить коэффициенты корреляции. Данная процедура осуществлялась при помощи программного приложения MATLAB команды «corr (X)», где X – это матрица показателей качества, представленная в табл. 2.

Фрагмент матрицы коэффициентов корреляции показателей качества творожной продукции представлен в табл. 3.

Таблица 2

Некоторые показатели качества творожной продукции

Время, сутки (номер показателя в выборке)	Нормализованная смесь							Закваска		Сквашивание	
	Масса, кг	Массовая доля жира, %	Массовая доля белка, %	Кислотность Т	Плотность, кг/м ³	Температура пастеризации, °С	Выдержка, с	Вид закваски	Масса закваски замороженной, кг	Кислотность сгустка Т	Кислотность сгустка рН
1	50900	0,8	2,99	15	1029,5	82	20	G600	1	70	4,7
2	32500	0,4	3	15	1028,5	82	20	G600	1	76	4,68
3	54180	1,4	2,98	15	1028,5	82	20	G600	1	70	4,7
...
30	43300	0,4	3,09	15	1030,5	82	20	G600	1	74	4,78

Таблица 3

Фрагмент матрицы коэффициентов корреляции некоторых показателей качества

	...	Массовая доля белка, %	Кислотность, Т	Плотность, кг/м ³	Температура пастеризации, °С	Выдержка, с	Вид закваски	Масса закваски замороженной, кг	Кислотность сгустка Т	...
...
Массовая доля белка, %	...	1	-0,10817	0,18761	0	0	-0,06551	0	-0,01233	...
Кислотность Т	...	-0,10817	1	-0,43897	0	0	0,14907	0	0,4286	...
Плотность, кг/м ³	...	0,18761	-0,43897	1	0	0	0,02547	0	-0,0797	...
Температура пастеризации, °С	...	0	0	0	1	0	0	0	0	...
Выдержка, с	...	0	0	0	0	1	0	0	0	...
Вид закваски	...	-0,06551	0,14907	0,02547	0	0	1	0	0,30587	...
Масса закваски замороженной, кг	...	0	0	0	0	0	0	1	0	...
Кислотность сгустка Т	...	-0,01233	0,4286	-0,0797	0	0	0,30587	0	1	...
...

В результате корреляционного анализа было выявлено, что наибольшие значения коэффициентов корреляции имеют следующие показатели качества:

- ♦ кислотность нормализованной смеси: оказывает влияние на кислотность сгустка на стадии сквашивания ($k = 0,43$);

- ♦ кислотность нормализованной смеси: связана с ее плотностью ($k = 0,44$);

- ♦ вид закваски: оказывает влияние на кислотность сгустка на стадии сквашивания ($k = 0,57$);

- ♦ массовая доля влаги готового продукта и его кислотность ($k = 0,5$).

Для определения влияния технологических параметров на показатели качества необходимо вычислить соответствующие коэффициенты корреляции.

Фрагмент матрицы коэффициентов корреляции технологических параметров и показателей качества творожной продукции представлен в табл. 4.

В результате проведенного корреляционного анализа установлено, что наибольшие значения коэффициентов корреляции имеют следующие технологические параметры и показатели качества:

- ♦ время отваривания: влияет на массовую долю влаги готового продукта ($k = 0,44$);

- ♦ время простоя: влияет на кислотность готового продукта ($k = 0,37$);

- ♦ температура заквашивания: влияет на кислотность готового продукта ($k = 0,49$).

Вместе с тем не удалось выявить влияние технологических параметров на трудно формализуемые оптолептические показатели качества готового продукта, приведенные в конце табл. 1.

Выявленные зависимости иллюстрируют диаграммы разброса, представленные на рис. 2–4.

Диаграмма разброса (поле корреляции), являющаяся одним из семи инструментов управления качеством, – это точечная диаграмма в виде графика, получаемого путем нанесения в определенном масштабе экспериментальных точек, полученных в результате наблюдений. Координаты точек на графике соответствуют значениям рассматриваемой величины и влияющего на него фактора.

Таблица 4

Фрагмент матрицы коэффициентов корреляции
технологических параметров и показателей качества

	Температура заквашивания, °С	Время перемешивания молока после заквашивания, мин	Время сквашивания	Температура подогрева сгустка, °С	Время отваривания	Подача отваренного творога на ПФУ	...	Массовая доля влаги, %	Кислотность Т	Кислотность рН
Температура заквашивания, °С	1	0	-0,22	-0,2891	-0,03276	0,0671	...	0,00039	0,134	0,48853
Время перемешивания молока после за­квашивания, мин	0	1	0	0	0	0	...	0	0	0
Время сквашивания	-0,22057	0	1	-0,0828	-0,02396	-0,25879	...	-0,09124	-0,05248	0,024412
Температура подогрева сгустка, °С	-0,28914	0	-0,08	1	0,59139	-0,01338	...	0,43471	-0,10937	-0,21739
Время отваривания	-0,03276	0	-0,02	0,59139	1	0,24417	...	0,43579	-0,20347	0,020575
Простой	-0,02902	0	0,00	0,20696	0,22154	0,08455	...	-0,07916	-0,36549	0,044205
Подача отваренного творога на ПФУ	0,0671	0	-0,26	-0,0134	0,24417	1	...	0,089844	-0,23276	-0,14151
...
Массовая доля влаги, %	0,00039	0	-0,09	0,43471	0,43579	0,089844	...	1	-0,49765	0,36998
Кислотность Т	0,134	0	-0,05	-0,1094	-0,20347	-0,23276	...	-0,49765	1	-0,26193
Кислотность рН	0,48853	0	0,02	-0,2174	0,020575	-0,14151	...	0,36998	-0,26193	1

Для того чтобы дать оценку стабильности процесса и определить, нуждается ли процесс в регулировании, применим еще один из семи инструментов контроля и управления качеством – контрольные карты Шухарта.

Контрольные карты являются основным инструментом статистического управления качеством и применяются для сравнения получаемой по выборкам информации о текущем состоянии процесса с контрольными границами, представляющими пределы собственной изменчивости (разброса) процесса. Контрольные карты используются для оценки того, находится или не находится производственный процесс, процесс обслуживания или административного управления в статистически управляемом состоянии [2].

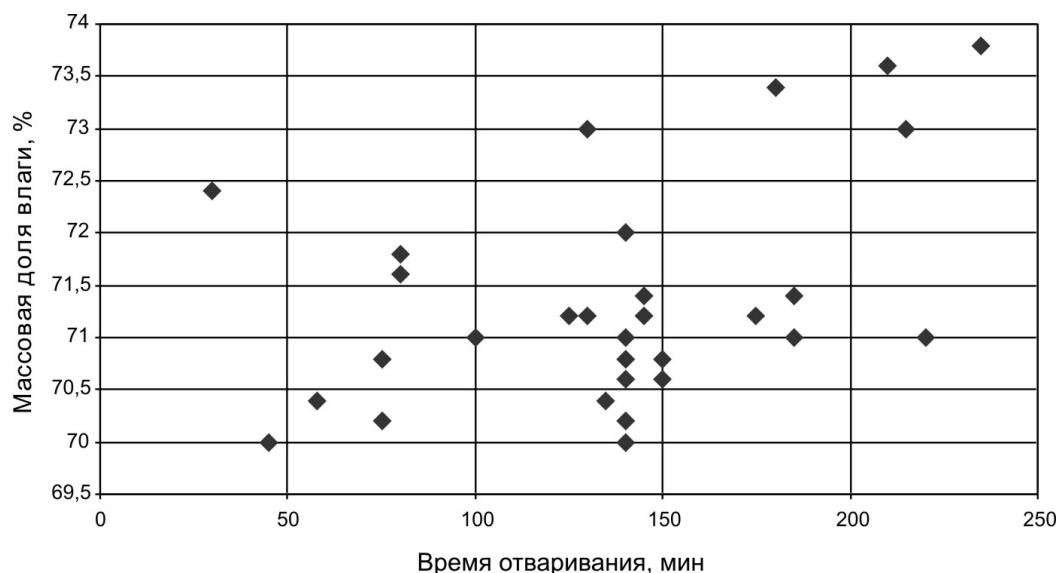


Рис. 2. Зависимость массовой доли влаги готового продукта от времени отваривания

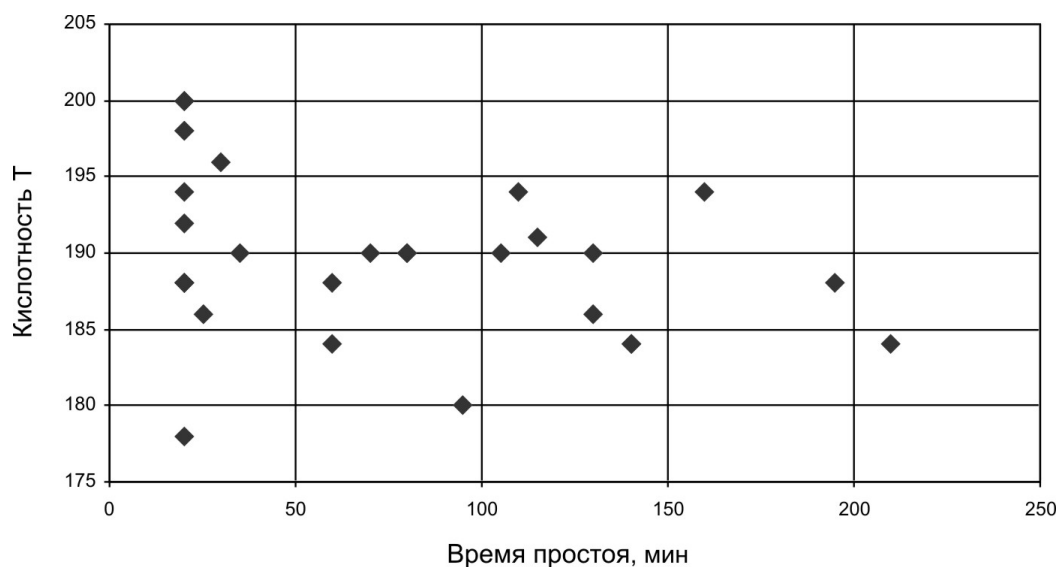


Рис. 3. Зависимость кислотности готового продукта от времени простоя

Следует отметить, что существует два «врага» качества продукции: отклонения от плановых спецификаций и слишком большой разброс реальных характеристик продукции.

Контрольные карты графически отражают динамику процесса, т.е. изменение показателей во времени. На карте отмечен диапазон неизбежного рассеивания, который лежит в пределах верхней и нижней границ. С помощью этого метода можно оперативно проследить начало дрейфа параметров по какому-либо показателю качества в ходе технологического процесса, для того чтобы проводить предупредительные меры и не допускать брака готовой продукции.

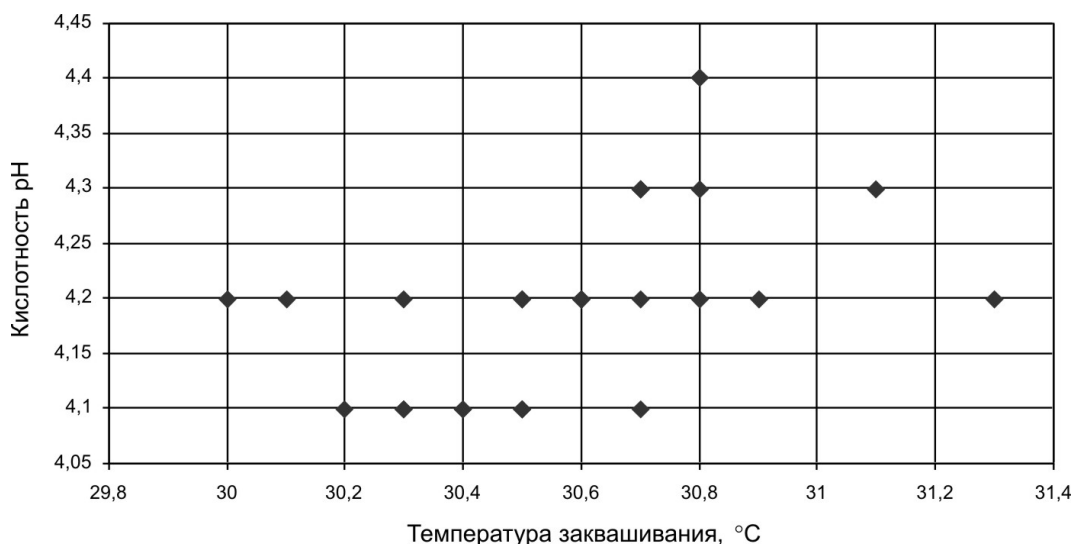


Рис. 4. Зависимость кислотности готового продукта от температуры заквашивания

На рис. 5–10 представлены контрольные карты Шухарта для наиболее значимых показателей качества технологического процесса производства творога. По оси абсцисс идет номер выборки, по оси ординат – значения показателя качества. Дополнительными линиями показаны нижняя и верхняя границы показателей в соответствии с технологическим регламентом и три уровня удаления от целевого значения (номинального).

Диаграммы на рис. 5 и 6 свидетельствуют, что процесс поддержания температуры закваски нестабилен и нуждается в регулировании, так как на контрольной карте присутствуют сигнальные признаки того, что следует производить коррекцию процесса, а именно:

- ◆ семь или более точек (подряд) лежат с одной стороны от центральной линии;
- ◆ четыре из пяти точек подряд лежат с одной стороны от центральной линии и не попадают в центральную треть диапазона контрольных пределов;
- ◆ две из трех последовательных точек лежат в крайней трети диапазона контрольных пределов.

Сигнальные признаки указывают на серьезные отклонения показателей качества готового продукта, это видно, например, из контрольной карты для кислотности pH готового продукта (см. рис. 6). Из приведенных диаграмм следует, что при регулировании температуры вблизи центральных значений кислотность готового продукта близка к своему целевому значению; при регулировании температуры вблизи нижней границы допустимых значений – значение кислотности приближается или лежит на нижней границе допустимых значений; если кислотность меньше

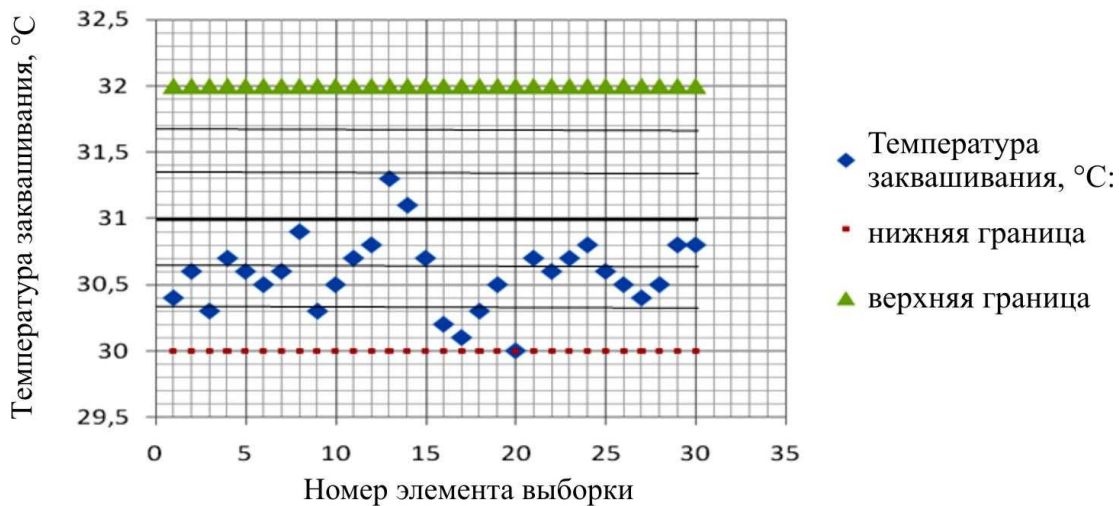


Рис. 5. Контрольная карта для температуры заквашивания

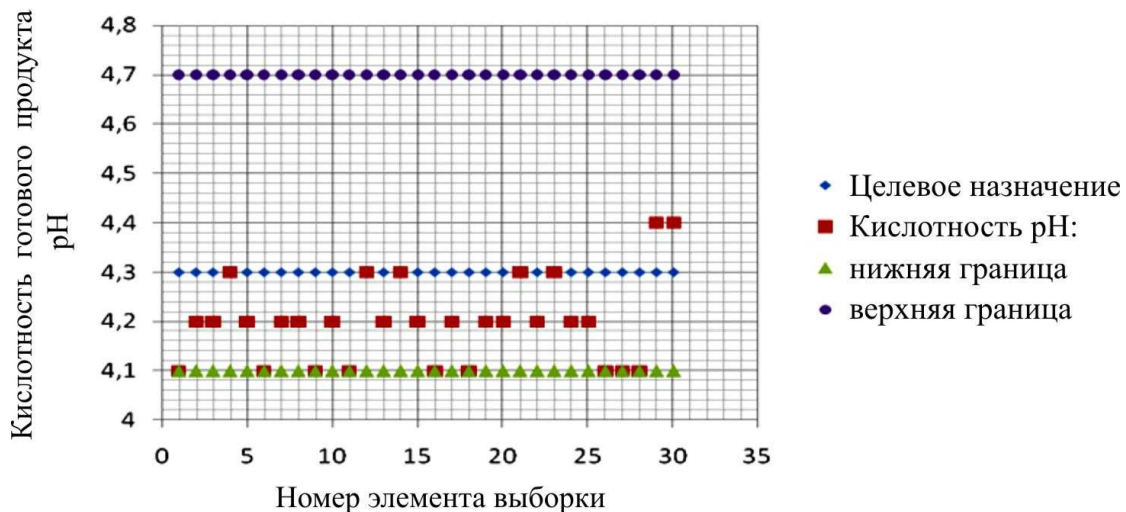


Рис. 6. Контрольная карта для кислотности рН готового продукта

нижнего предела допустимых значений, то бракуется вся партия готового продукта. Таким образом, контрольные карты показывают, что существуют неслучайные причины и факторы, которые влияют на качество, их нужно идентифицировать, исследовать, поставить на контроль и разработать план компенсирующих мероприятий.

Из представленных на рис. 5–10 диаграмм следует, что и процесс поддержания температуры подогрева сгустка также нестабилен и нуждается в регулировании. На контрольных картах присутствуют сигнальные признаки, указывающие на необходимость коррекции процесса, а именно:

- ◆ одна или более точек вышли за контрольные пределы;
- ◆ семь или более точек (подряд) лежат с одной стороны от центральной линии;
- ◆ шесть или более точек (подряд) образуют непрерывно повышающуюся (понижающуюся) кривую.

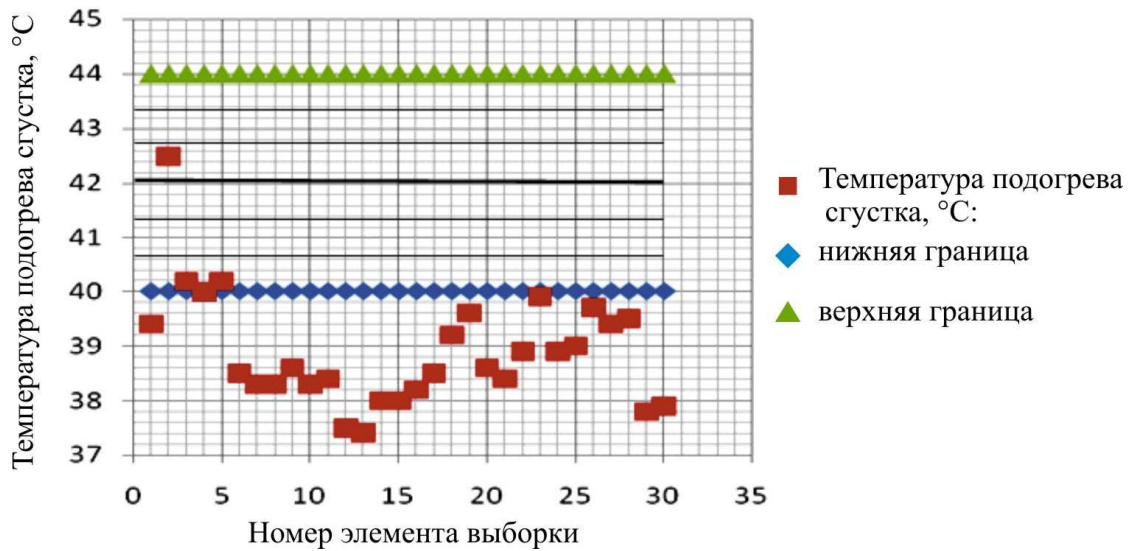


Рис. 7. Контрольная карта для температуры подогрева сгустка

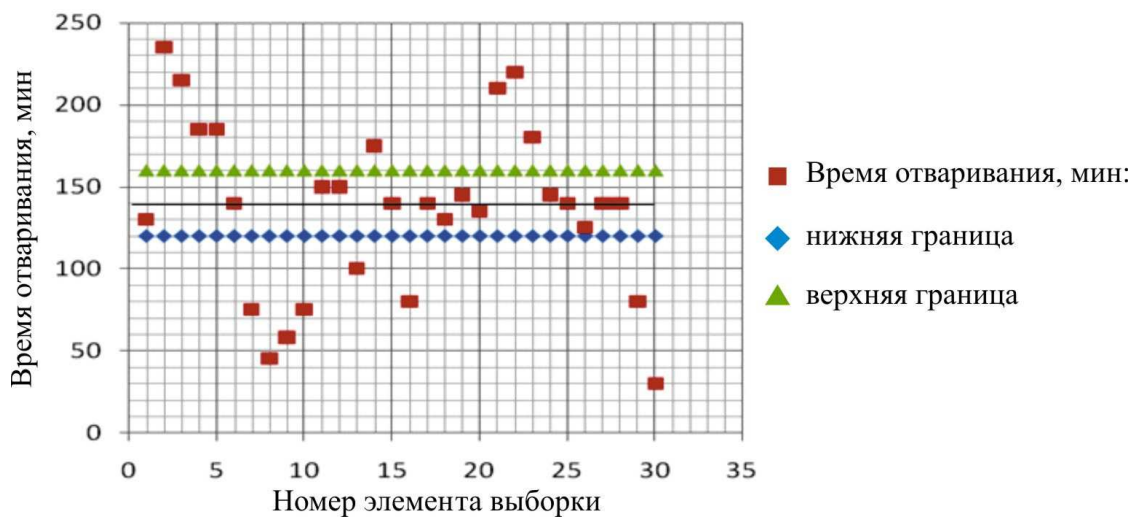


Рис. 8. Контрольная карта для времени отваривания

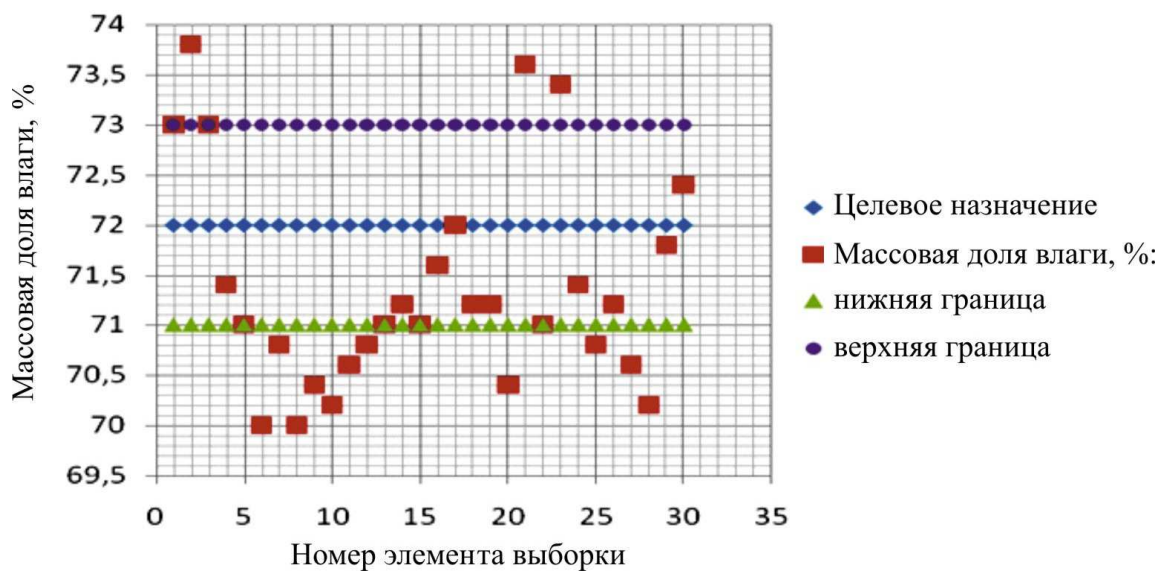


Рис. 9. Контрольная карта для массовой доли влаги готового продукта

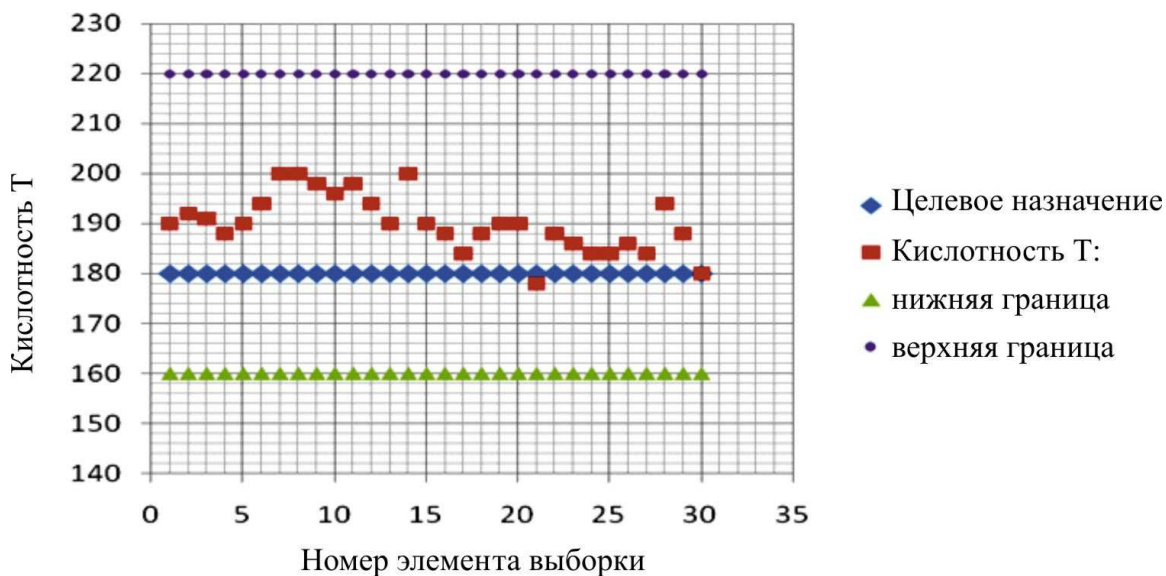


Рис. 10. Контрольная карта для титруемой кислотности готового продукта

Проведенный анализ технологического процесса производства творога методами семи инструментов контроля и управления качеством показывает, что существует необходимость определения оптимальных соотношений значений технологических параметров, т.е.

$$K_i = f(\vec{T}),$$

где K_i – это i -й показатель качества; \vec{T} – вектор технологических параметров, обеспечивающих повышение точности поддержания показателей качества творожной продукции на целевых значениях. Таким образом, задача управления качеством творожной продукции является задачей многоцелевой оптимизации.

Список литературы

1. Технологическая линия производства творога [Электронный ресурс]. – URL: http://www.znaytovar.ru/s/Tehnologicheskaya liniya_proizvod4.
2. ГОСТ Р 50779.40–96. Статистические методы: Контрольные карты. Общее руководство и введение.

Получено 20.06.2012