

УДК 637.231

## Система информационного анализа для предвычисления образования пригара в процессе пастеризации молочных продуктов

Д-р техн. наук **В.А. Балубаш**канд. техн. наук **С.Е. Алёшичев**, sergspbcprf@rambler.ru*Университет ИТМО**191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9*

*В процессе эксплуатации пастеризационно-охладительных установок на рабочих теплопередающих поверхностях образуются отложения (пригар), что приводит к снижению производительности оборудования и качества управления процессом. На основе проведенного анализа предложено определять начало образования пригара в процессе низкотемпературной пастеризации молока в секции пастеризации молока теплообменного аппарата, с целью увеличения период его безостановочной работы и снижения энергозатрат. Система предвычисления образования пригара способствует сокращению времени промежуточной мойки пастеризационного аппарата не прибегая, как правило, к его разборке, что значительно сокращает время простоя, снижает затраты ручного труда и повышает сохранность оборудования и средств автоматики. Отмеченное в конечном итоге повышает эффективность процесса пастеризации, а также качество автоматизированного управления процессом.*

**Ключевые слова:** молоко, пригар, образование отложений, теплообменные аппараты, предвычисление.

---

## Information analysis system for prediction of burn-education process of pasteurization of dairy products

D.Sc. **V.A. Balubash**Ph.D. **S.E. Aleshichev**, sergspbcprf@rambler.ru*ITMO University 191002,**191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9*

*In the operation of pasteurization installations working on the heat transfer surfaces are formed deposits, which reduces the productivity of the equipment and the quality control process. Based on the analysis proposed to determine the beginning of the formation of low-temperature burn-in process of pasteurization of milk pasteurization of milk in the section of heat exchanger, in order to increase the period of his non-stop operation and reduce energy costs. Prediction of burn-education system helps to reduce the time of the intermediate washing apparatus without pasteurization, as a rule, to its dismantling, which significantly reduces downtime, reduces the cost of manual labor and increases the safety of equipment and automation. Marked ultimately increases the efficiency of the pasteurization process, as well as the quality of the automated process control.*

**Keywords:** milk, metal penetration, the formation of deposits, heat exchangers, prediction.

---

В настоящее время в пищевой промышленности обезвреживание молока и молочных продуктов осуществляется, как правило, в процессе их термической обработки. Одним из таких процессов является пастеризация, осуществляемая при различных режимах (температура, время) при температуре от 63 до 120 °С с выдержкой. Основной целью пастеризации является обеспечение снижения количества любых патогенных микроорганизмов в сыром молоке и продуктах его переработки до уровней, при которых эти микроорганизмы не наносят существенный вред здоровью человека.

К оборудованию, предназначенному для этой цели – пастеризаторам (пастеризационно-охладительным установкам), предъявляются очень высокие требования, поскольку оно должно гарантировать безвредность готовой продукции при соблюдении её высоких качественных показателей.

Характерной особенностью работы пастеризаторов для молока и молочных продуктов является образование отложений (пригара) на рабочих теплопередающих поверхностях, что приводит к снижению производительности оборудования, необходимости его вынужденной остановки для мойки, изменению

статических и динамических характеристик и, как следствие, ухудшению показателей качества процесса управления [1].

При тепловой обработке молока – пастеризации, стерилизации, сгущении – в нем происходит частичная денатурация белков, изменение их коллоидного состояния, приводящее к образованию на поверхности теплообменных аппаратов трудноудаляемых отложений, составы которых представлены ниже [2]. Как видно из таблицы в пригаре содержится белка почти в 6 раз больше, чем в исходном продукте. Особенности химического состава пригара обуславливают необходимость предвычисления его появления и выбор в дальнейшем соответствующих моющих средств.

В результате наличия пригаров на внутренней поверхности аппаратов нарушается температурный режим тепловой обработки, что приводит к получению некондиционного продукта, росту продолжительности циклов мойки и расходу средств на их осуществление. Фактическая продолжительность мойки теплообменного оборудования при использовании традиционных химических средств составляет от 4 до 6 часов.

Пригар молочных продуктов бывает двух видов. К первому относится мягкий пушистый налет из денатурированного белка (пригар). Такой налет легко удалить. Ко второму относится пригар, похожий на камень (молочный камень). Он состоит из денатурированного белка и волокон клетчатки, сцементированных солями. Пригар образуется при небольшом местном перегреве частиц продукта, находящихся в непосредственном контакте с теплопередающей поверхностью. Молочный камень – при большом местном перегреве пристенного слоя продукта.

**Химический состав отложений, образующихся на поверхностях теплообменных аппаратов в процессе тепловой обработки молока**

№ п/п	Наименование компонента	Содержание компонентов, % масс.		
		молочный пригар		молочный камень
		влажный (свежий)	высушенный при 105°С	
1.	вода общая	65±5	–	14±2,0
	кристаллизационная	5±1	5±1	3±0,5
2.	белок	22±3	55±5	8±2
3.	жир	9±2	22±5	5±2
4.	минеральные соли, всего в том числе:	7±2	18,5±5	73±5
	ортофосфат кальция	1,7±0,2	4,5±0,5	30±5
	гидроортофосфат кальция	2,1±0,3	5,5±0,5	35±5
	дигидроортофосфат кальция	3,1±0,4	8,2±0,5	–
	ортофосфат магния			3,3±0,5
	гидроортофосфат магния	0,1±0,005	0,28±0,1	3,5±0,5
	цитрат кальция	–	–	1,0±0,5
	цитрат магния	–	–	0,2±0,1
5.	кальций	2,0±0,2	5,5±0,5	25,0±3,0
6.	магний	0,2±0,1	0,5±0,2	1,5±0,5
7.	фосфор	1,9±0,2	5,0±0,5	18,0±3,0

Кроме температурного фактора большую роль в образовании пригара играют следующие: скорость движения продукта в теплообменном аппарате, кислотность продукта, содержание воздуха в продукте [3].

Увеличение скорости движения молока в пастеризаторе снижает интенсивность образования пригара и позволяет тем самым несколько повышать среднюю разность температур между греющей средой и молоком; но влияние скорости на интенсивность образования пригара снижается с повышением температуры пастеризации молока и исчезает совсем при температуре пастеризации 90°С. Это отчетливо видно из рис. 1, где знаком плюс отмечены области, в которых наблюдался пригар, и знаком минус – беспригарные области для различных температур пастеризации. Этот график может служить ориентиром для правильного выбора скорости движения

продукта в пастеризаторе и температуры теплоносителя. Увеличение содержания воздуха с 4 до 16% увеличивает интенсивность образования пригара больше чем в два раза.

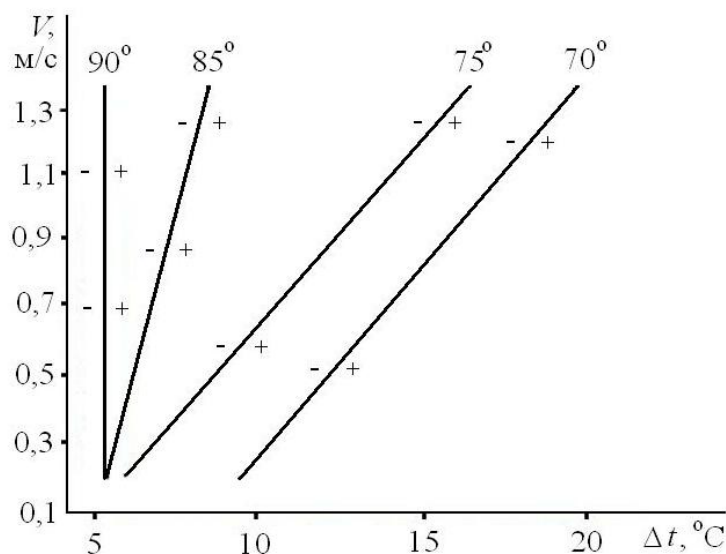


Рис. 1. Влияние скорости движения молока и температурного напора на пригарообразование

Повышение кислотности молока с 17 до 22 и 27 °Т увеличивает соответственно в 9 и 11 раз интенсивность образования пригара. Таким образом, правильно выбирая скорость движения продукта и температурный перепад между продуктом и греющей средой (температура пастеризации обычно бывает заданной), можно сильно сократить интенсивность образования пригара. Уменьшить интенсивность образования пригара при стерилизации продукта, когда местный его перегрев практически неизбежен, можно путем увеличения давления на стороне продукта, что повысит температуру его кипения и предотвратит вскипание в местах непосредственного соприкосновения с теплопередающей поверхностью. Для уменьшения пригара молока в пастеризаторе рекомендуют повышать его давление на 0,5–0,6 бар выше давления греющего пара в паровой рубашке. Такое мероприятие повышает производительность пастеризатора на 10–15% и уменьшает вкусовое различие между сырым и пастеризованным молоком.

Среди факторов, определяющих интенсивность его образования, наибольший практический интерес представляют такие контролируемые факторы, которые оказывают значительное влияние на интенсивность процесса образования пригара в процессе эксплуатации. К ним относятся разность температур молока и стенки теплообменника, температурный напор, кислотность молока и скорость его потока [4].

Повышение температурного напора при нагреве приводит к увеличению пригара. Установлено, что интенсивность образования пригара значительно возрастает при величине температурного напора выше 5°С при температурах нагрева молока 75–85°С [5].

Увеличение кислотности молока от 17 до 22°Т может привести к росту интенсивности образования пригара более чем в 7 раз.

Увеличение скорости потока молока вызывает уменьшение количества пригара, изменяя при этом его состав и структуру [6].

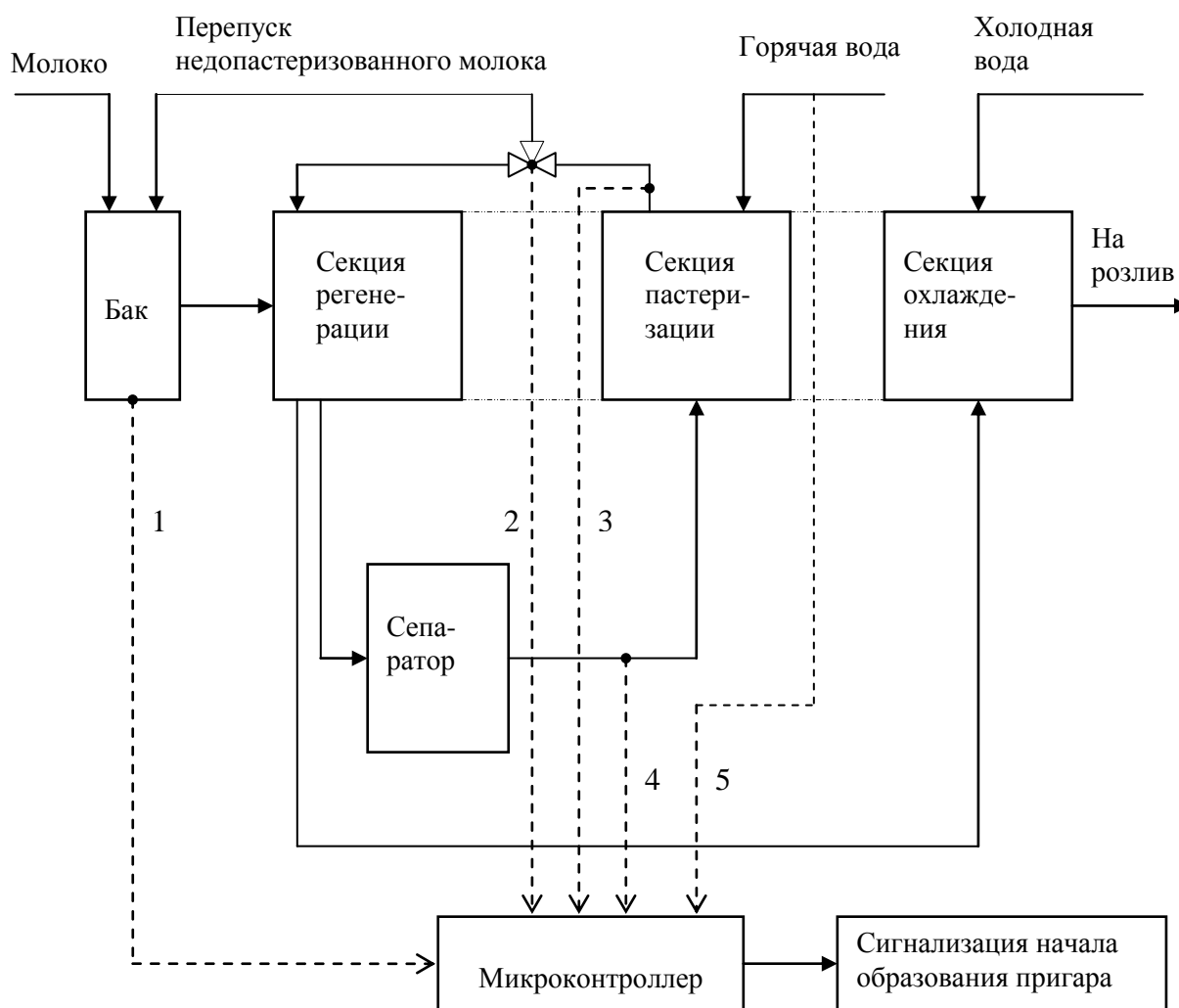
Существующие системы стабилизации температуры молока на выходе из теплообменного аппарата включают системы стабилизации расхода молока и его температуры на выходе секции пастеризации, контроля температуры и расхода горячей воды, поступающей в секцию пастеризации, контроля минимально допустимого уровня молока в приемном баке, перепуска на возврат молока при снижении его уровня в приемном баке до минимально допустимого уровня или недопастеризованного (недогретого) молока [7].

Наличие таких систем позволяет снизить вероятность образования пригара вследствие большого температурного перепада на пластинах теплообменного аппарата, а также обеспечивает необходимый уровень молока в приемном баке путем направления молока на перепуск при снижении его уровня до минимально допустимого значения. При этом на образование пригара косвенно указывает сохранение в течение определенного промежутка времени максимально допустимого значения температуры горячей воды (95°С) [8].

Недостатком таких систем является значительный промежуток времени, в течение которого анализируется сохранение максимально допустимого значения температуры горячей воды. При этом не учитывается влияние иных факторов, например, кислотности молока, обуславливающих начало образования пригара. Это приводит к выпуску недогретого молока, которое направляется на повторную обработку. Кроме того, необходимо останавливать работу теплообменного аппарата и проводить мойку оборудования [9].

По результатам анализа полученных данных предлагается определять начало образования пригара в процессе низкотемпературной пастеризации молока в секции пастеризации молока теплообменного аппарата, что позволит увеличить период его безостановочной работы и снизить энергозатраты [10].

На рис. 2 представлена схема информационных каналов для предвычисления начала образования пригара при низкотемпературной пастеризации молока в пластинчатой пастеризационно-охладительной установке.



**Рис. 2. Система информационных каналов для процесса низкотемпературной пастеризации молока**

Это может быть достигнуто тем, что при стабилизации подачи продукта в теплообменный аппарат, дополнительно периодически, в зависимости от производительности оборудования, контролируют кислотность (1) и температуру (4) молока, поступающего в секцию пастеризации теплообменного аппарата [11, 12].

При ухудшении теплообмена между теплоносителем и молоком в секции пастеризации, регулятор повышает температуру теплоносителя. При достижении температуры теплоносителя максимально допустимого значения (5), температура продукта на выходе из теплообменного аппарата понижается (3), поскольку при стабилизации расхода теплоносителя не может быть обеспечен необходимый уровень теплообмена между теплоносителем и продуктом. Включается режим перепуска продукта на повторную тепловую обработку (2) [13].

В случае отсутствия повышения кислотности молока, при достижении температуры горячей воды максимально допустимого значения 95°C и постоянной температуре молока, поступающего в секцию

пастеризации теплообменного аппарата или при её снижении не более чем на 10 °С, по сравнению с измеренным в предшествующий период значением этой температуры, включается режим перепуска продукта на повторную тепловую обработку. При этом фиксируют начало образования пригара в секции пастеризации.

### Литература

1. Балюбаиш В.А., Алёшичев С.Е., Добряков В.А. Совершенствование систем управления аппаратурно-технологическими комплексами пищевой промышленности // Процессы и аппараты пищевых производств. 2012. № 1.
2. Кузина, Ж. И. Научное обоснование и промышленная реализация инновационных технологий санитарной обработки оборудования в молочной промышленности: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 2010. 48 с.
3. Ересько Г.А., Кийс А.А., Маслов А.М., Николаев Л.К. Оборудование для высокотемпературной пастеризации, стерилизации и охлаждения пищевых жидкостей. Л.: Машиностроение, 1967. 232 с.
4. Стегаличев Ю.Г., Балюбаиш В.А., Замарашикина В.Н. Технологические процессы пищевых производств. Структурно-параметрический анализ объектов управления: учеб. пособие. Ростов н/Д – СПб.: Феникс, 2006. 254 с.
5. Брусиловский Л.П., Вайнберг А.Я., Черняков Ф.С. Системы автоматизированного управления технологическими процессами предприятий молочной промышленности. М.: 1986. 232 с.
6. Кук Г.А. Процессы и аппараты молочной промышленности. М.: Пищевая промышленность, 1960. 286 с.
7. Балюбаиш В.А., Алёшичев С.Е. Алгоритм компьютерного моделирования технологических процессов пищевых производств // Процессы и аппараты пищевых производств. 2012. № 2.
8. Ильич В.К., Макаревич Л.М., Брусиловский Л.П. Способ управления процессом тепловой обработки молока: а.с. 1423090 СССР. Бюл. №34. 1988.
9. Брусиловский Л.П., Вайнберг А.Я., Еремин В.Н. Разработка автоматизированной системы управления процессом циркуляционной мойки пластинчатых пастеризационных установок: сб. трудов. М.: ВНИМИ, 1980. 130 с.
10. Балюбаиш В.А., Алёшичев С.Е., Добряков В.А. Система управления процессом тепловой обработки пищевых продуктов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2014. № 4.
11. Верболюз Е.И., Антуфьев В.Т., Кобыда Е.В. Исследование эффективности предварительной подготовки молочных продуктов к переработке // Вестник Международной Академии холода. 2014. № 3.
12. Алёшичев С.Е. Стабилизация выходных параметров в многофакторных объектах управления // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2007. Вып. 12. С. 132–137.
13. Балюбаиш В.А., Алёшичев С.Е., Бриденко И.И. Компьютерное моделирование аппаратурно-технологических комплексов пищевой промышленности // Вестник Международной Академии холода. 2013. № 2. С. 67-68.

### References

1. Balyubash V.A., Aleshichev S.E., Dobryakov V.A. Sovershenstvovanie sistem upravleniya apparaturno – tekhnologicheskimi kompleksami pishchevoi promyshlennosti. *Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv*, 2012, no. 1.
2. Kuzina, Zh. I. Nauchnoe obosnovanie i promyshlennaya realizatsiya innovatsionnykh tekhnologii sanitarnoi obrabotki oborudovaniya v molochnoi promyshlennosti. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Moscow, 2010. 48 p.
3. Eres'ko G.A., Kiis A.A., Maslov A.M., Nikolaev L.K. *Oborudovanie dlya vysokotemperaturnoi pasterizatsii, sterilizatsii i okhlazhdeniya pishchevykh zhidkoste*. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1967. 232 p.
4. Stegalichev Yu.G., Balyubash V.A., Zamarashkina V.N. *Tekhnologicheskie protsessy pishchevykh proizvodstv. Strukturno-parametricheskii analiz ob"ektov upravleniya*. Textbook. Rostov on Don – St. Petersburg, Feniks Publ., 2006. 254 p.
5. Brusilovskii L.P., Vainberg A.Ya., Chernyakov F.S. *Sistemy avtomatizirovannogo upravleniya tekhnologicheskimi protsessami predpriyatii molochnoi promyshlennosti*. Moscow, 1986. 232 p.
6. Kuk G.A. *Protsessy i apparaty molochnoi promyshlennosti*. Moscow, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1960. 286 p.
7. Balyubash V.A., Aleshichev S.E. Algoritm komp'yuternogo modelirovaniya tekhnologicheskikh protsessov pishchevykh proizvodstv. *Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv*, 2012, no. 2.

8. Il'ich V.K., Makarevich L.M., Brusilovskii L.P. *Sposob upravleniya protsessom teplovoi obrabotki moloka*. Copyright certificate 1423090 USSR. 1988.
9. Brusilovskii L.P., Vainberg A.Ya., Eremin V.N. *Razrabotka avtomatizirovannoi sistemy upravleniya protsessom tsirkulyatsionnoi moiki plastinchatykh pasterizatsionnykh ustanovok: sb. trudov VNIMI*. Moscow, 1980. 130 p.
10. Balyubash V.A., Aleshichev S.E., Dobryakov V.A. Sistema upravleniya protsessom teplovoi obrabotki pishchevykh produktov. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Protssesy i apparaty pishchevykh proizvodstv*, 2014, no. 4.
11. Verboloz E.I., Antuf'ev V.T., Kobyda E.V. Issledovanie effektivnosti predvaritel'noi podgotovki molochnykh produktov k pererabotke. *Vestnik Mezhdunarodnoi Akademii kholoda*, 2014, no. 3.
12. Aleshichev S.E. Stabilizatsiya vykhodnykh parametrov v mnogofaktornykh ob"ektakh upravleniya. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii*. 2007. no. 12, pp. 132–137.
13. Balyubash V.A., Aleshichev S.E., Bridenko I.I. Komp'yuternoe modelirovanie apparaturno-tekhnologicheskikh kompleksov pishchevoi promyshlennosti. *Vestnik Mezhdunarodnoi Akademii kholoda*, 2013, no. 2, pp. 67-68.