

УДК 621.1.016:579

Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Бухкало С.И., Перевертайленко А.Ю.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ПАСТЕРИЗАЦИИ МОЛОКА И МОЛОКОПРОДУКТОВ В ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

Пастеризация является одним из основных процессов тепловой обработки молока и молокопродуктов. Основным назначением пастеризации является интенсивное подавление жизнедеятельности микрофлоры и уничтожение болезнетворных организмов, которые могут содержаться в молоке. Главными факторами, обуславливающими гибель микроорганизмов, являются температура и длительность её воздействия, то есть эффект пастеризации достигается нагревом продукта до определенной температуры и его выдержке при этой температуре. Г.А. Кук [1,2] ввел понятие среднего эффекта пастеризации в 1 сек, который равен $1/t$, где t – необходимое время термического воздействия на молоко при заданной температуре. Если молоко находится при температуре пастеризации, которой соответствует необходимое время t , в течение времени τ , то возможны три случая, характеризующие процесс. При $\tau = t$ процесс завершен, при $\tau < t$ процесс проведен неполностью, при $\tau > t$ на процесс затрачено избыточное время.

Безразмерная величина $(\tau / t) = Pa$ представляет собой критерий или число Пастера и характеризует степень завершенности процесса пастеризации. Эффект пастеризации будет достигнут, если

$$Pa \geq 1. \quad (1)$$

При пастеризации важно достижение конечного результата – снижение популяции микроорганизмов до необходимого уровня. Это условие выражается следующим соотношением [3]:

$$N_k \leq Me, \quad (2)$$

где N_k – конечная численность микробной популяции в молоке или молочном продукте после пастеризации; Me – критерий или число Мечникова, соответствует и обусловлено технологическими и экономическими условиями минимума микробной популяции.

Необходимый минимум микробной популяции обеспечивается регулированием времени выдержки, а в тех случаях, когда это возможно, и температурой пастеризации. Таким образом, в результате тепловой обработки при пастеризации подавляются патогенные микроорганизмы, то есть достигается положительный результат, удовлетворяющий условию (2). Этот результат достигается в том случае, когда весь, обрабатываемый объем молока или молокопродукта, то есть все мельчайшие частицы этого объема подверглись надлежащей пастеризационной обработке.

После пастеризации молоко должно немедленно поступать на дальнейшую переработку, либо охлаждаться и поступать на расфасовку как готовый продукт. При этом его контакт с воздухом повышает степень риска повторного обсеменения микрофлорой, что может повысить выход бракованного продукта.

Пастеризация – это тепловая обработка молока с сохранением составных частей молока. Следует отметить, что избыточный температурный фактор может привести к определенным физико-химическим изменениям в молоке, обуславливающим разрушение некоторых биологически активных веществ, частичной деструктуризации белков, снижению усвояемости и полезности молока [4,5]. Следовательно, локальные перегревы в потоке пастеризуемого молока могут привести к ухудшению его потребительских свойств.

Поэтому нагрев молока при пастеризации лучше всего осуществлять при тонкослойном течении последнего в нагревателе пастеризационной установки. Во избежание повторного обсеменения нагреваемого молока, поток должен быть изолированным от контакта с окружающей средой, то есть закрытым.

Конструкция пластинчатых теплообменных аппаратов позволяет осуществлять нагрев молока при тонкослойном течении в закрытом потоке. В 20-е г.г. прошлого столетия были разработаны первые пластинчатые пастеризаторы молока на базе технических решений, предложенных Р. Зелигменом, компания APV (Великобритания) [4]. Вначале это были аппараты, состоящие из секции нагрева до температуры пастеризации и секции регенерации, в которой использовалось тепло пастеризованного молока для подогрева исходного молока.

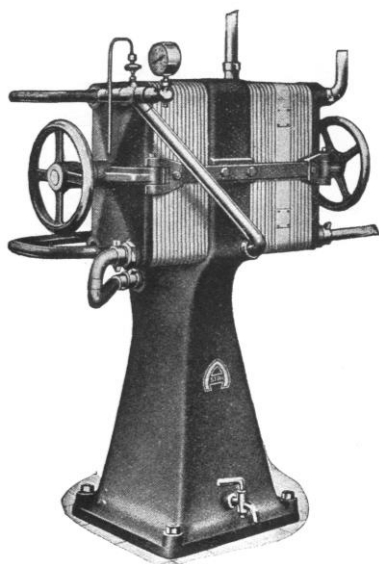


Рисунок 1 – Пластинчатый пастеризатор конструкции фирмы Bergedorfer Eisenwerk

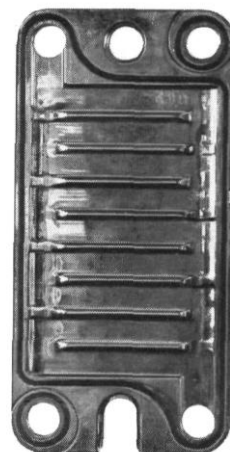


Рисунок 2 – Пластина к пастеризатору конструкции фирмы Bergedorfer Eisenwerk

К концу 20-х г.г. окончательно сформировалась конструкция пластинчатого пастеризационно-охладительного аппарата, состоящего из секций нагрева до температуры пастеризации, регенерации и охлаждения молока. Каждая секция представляла собой пакет пластин, расположенных между концевыми и промежуточными плитами, снабженными соответствующими входными и выходными штуцерами.

Одна из конструкций подобного пастеризатора (рис. 1) – пастеризатор конструкции фирмы Bergedorfer Eisenwerk (Германия) [6], который начал выпускаться в конце 1931 г., типоразмер 1.

Испытания такого аппарата, проведенные на одном из молочных заводов Швеции, показали, что отложения, вызванные пригаром молока, легко удалялись с поверх-

ности пластин при механической чистке аппарата [6]. Как и пластинчатые аппараты APV, аппарат типоразмера 1 состоял из фрезерованных канальчатых пластин изготовленных из катаной луженой бронзы, чередующихся с плоскими листами. Пластина P1 (рис. 2) аппарата типоразмера 1 толщиной 13 мм, имела длину 500 мм и ширину 250 мм и накладываемый на неё плоский лист образовывали канал с десятью ходами вдоль пластины глубиной 4 мм и шириной каждого хода 30 мм [6].

В середине 30-х гг. появляются аппараты с профилированными канальчатыми пластинами, изготавливаемыми холодной штамповкой из листовой нержавеющей стали. Некоторые конструкции пластинчатых аппаратов уже не содержали в пакете пластин промежуточных плоских листов. Наличие многих поворотов потока по длине пластины, безусловно, повышало коэффициент теплопередачи за счет турбулизации потока, но эта турбулизация носила локальный характер. В работе [7] было экспериментально показано, что чем длиннее ход канала, тем меньше коэффициент теплопередачи. Повышение коэффициента теплопередачи достигалось, в основном, повышением скорости потоков, достигавшей 3 м/с, что обуславливало большие гидравлические сопротивления пластинчатых аппаратов [8]. Штампованные канальчатые пластины обладали также существенным недостатком – за счет недоштамповки ребер, образующих каналы имело место байпасирование потока, что приводило к потере теплопроизводительности и недопастеризации молока [9,10].

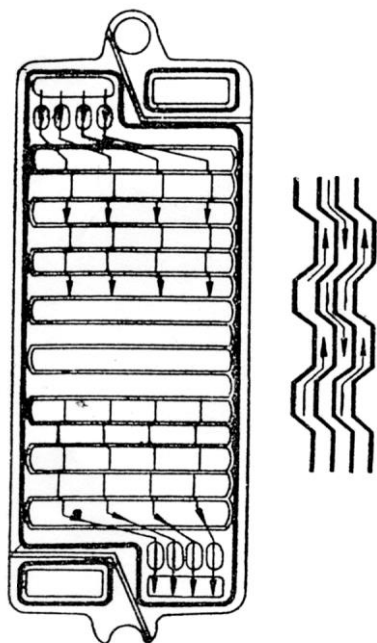


Рисунок 3 – конструкция «пластины поточного типа» APV

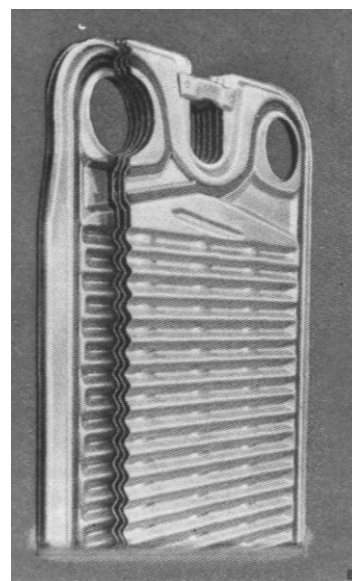


Рисунок 4 – конструкция пластин компании AB Separator

В середине 30-х гг. Р.Зелигмен и группа специалистов компании APV разработали качественно новый тип гофрированных пластин для пластинчатых теплообменных аппаратов [9]. Для интенсификации параметров потока в межпластинном канале на пластине выштамповывались корытообразные гофры, расположенные параллельно друг другу по всей длине пластины и перпендикулярно потоку. Подобная конструкция

получила название «пластины поточного типа» (рис. 3). Две соседние пластины образовывали однопоточный волнистый канал сложной геометрической формы, получивший название ленточно-поточного.

В начале 40-х гг. конструкция пластин с гофрами треугольного профиля была разработана шведской компанией АВ Separator (ныне Alfa-Laval) (рис. 4). Внедрение пластинчатых теплообменников с каналами ленточно-поточного типа позволило повысить коэффициенты теплопередачи и снизить потери давления по потокам, что позволило существенно повысить единичную производительность аппаратов, исключалось байпасирование потока внутри канала, а также существенно повышалась равномерность обтекания теплопередающей поверхности потоком рабочей среды.

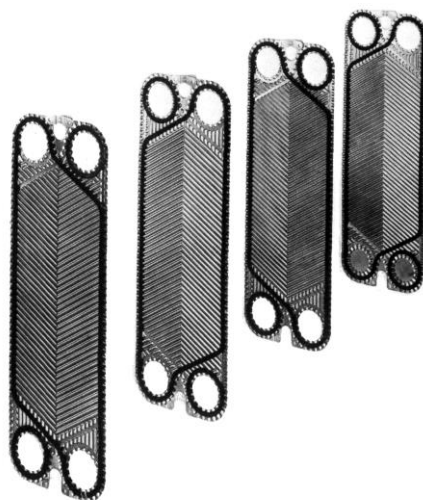


Рисунок 5 – конструкция пластин фирмы Rosenblads Patenter

Таким образом, создание пастеризационно-охладительных пластинчатых теплообменников с каналами ленточно-поточного типа удовлетворило потребности молочной промышленности в увеличении производительности молочной продукции повышении её качества. Подобные аппараты в 50-х гг. становятся базовыми в пастеризационно-охладительных установках предприятий молочной промышленности. В это же время пластинчатые теплообменники находят применение в других отраслях промышленности и перестают быть только «аппаратами молочной промышленности». В 1953 г. шведская фирма Rosenblads Patenter (с 1962 г. вошедшая в компанию Alfa-Laval) реализовала разработку С.К. Йенсена, которая заключалась в расположении штампованных гофр на пластине наклонными по отношению к осям симметрии пластины в виде шеврона. При этом гофры соседних пластин пересекаются и контактируют своими вершинами во многих точках (рис. 5) [6].

При контакте соседних пластин образуется канал сложной геометрической формы, получивший название канала сетчато-поточного типа. Подобная конструкция позволила увеличить число гофр на пластине и, соответственно, уменьшить шаг и высоту гофр по сравнению с каналами ленточно-поточного типа. В каналах сетчато-поточного типа также имеет место влияние геометрии на интенсификацию параметров потока, определяющих теплоотдачу и падение давления.

Доминирующим фактором, влияющим на теплоотдачу и падение давления потока в канале сетчато-поточного типа является угол наклона гофр к потоку, с увеличением угла наклона гофр эти величины возрастают, то есть пластины с меньшим углом

дают меньшую теплоотдачу при меньшем гидравлическом сопротивлении, пластины же с большим углом раскрытия гофр дают большую теплоотдачу при большем гидравлическом сопротивлении потоку. Пакет пластинчатого теплообменника набирался из пластин одного типа. Недостаток подобной конструкции заключается в том, что наиболее полное использование располагаемого напора на преодоление гидравлических сопротивлений возможно только за счет увеличения числа ходов в пакете, что приводит к завышенному числу пластин.

В конце 60-х гг. компанией Alfa-Laval был разработан принцип конструирования пакетов пластинчатых теплообменников сетчато-поточного типа из пластин с разными углами наклона гофр. Принцип компоновки пакета из пластин двух типов получил название ALFAFLEX. Впоследствии подобный принцип компоновки был применен и другими компаниями-изготовителями пластинчатых теплообменников (VARITERM-GEA Ahlborn, ULTRAFLEX-SWEP и др.).



а



б

Рисунок 6 – Примеры современных пастеризационно-охладительных пластинчатых аппаратов: а – пластинчатый аппарат Front Line (Alfa-Laval, Швеция); б – пластинчатый аппарат Euroscal 40 в составе установки пастеризации сливок (Fischer AG, Австрия)

Комбинация сочетаний теплопередающих пластин с разной гофрировкой в пакете позволяет максимально использовать располагаемый напор, сократить непроизводительные потери давления за счет уменьшения числа ходов, интенсифицировать процесс теплопередачи и снизить число теплопередающих пластин в пакете, то есть получить наиболее оптимальную конфигурацию пакета на заданные требования к процессу. Подобный принцип комбинации является весьма полезным для пастеризационно-охладительных пластинчатых аппаратов, состоящих из нескольких секций, расположенных на одной раме и представляющих собой сложную процессно-утилитную систему (рис. 6).

Современная конструкция гофрировки пластин позволяет обеспечивать высокую эффективность теплопередачи в пакетах пластинчатых теплообменников, что дает возможность достигать минимальной недорекуперации, например, 1–2 °С, на горячих, либо холодных концах утилитных секций пластинчатого пастеризационно-охладительного аппарата (секции нагрева молока до температуры пастеризации и охлаждающей секции). Это делает перспективным включение пластинчатого пастеризационно-охладительного аппарата как компонента в схемные энергосберегающие решения, например, экономию пара для подогрева горячей воды, нагревающей молоко до температуры пастеризации. В частности, для приготовления горячей воды может быть использовано тепло перегретого после сжатия в компрессоре аммиака холодильного агрегата предприятия молочной промышленности. Возможности утилизации этого тепла в

настоящее время прорабатываются в рамках исследовательского проекта ЕС COLLECT2004-500229 SHERHPA.

Литература

1. Кук Г.А. Основы пастеризации // Молочная промышленность. –1949. –№5 –С. 20–25.
2. Сурков В.Д., Липатов Н.Н. Оборудование молочных заводов.–М.: Пищепромиздат, 1958, 438 с.
3. Технология молока и молочных продуктов. –М: ВО «Агропромиздат», 1991.
4. ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л., КАПУСТЕНКО П.А., БУХКАЛО С.И., ПЕРЕВЕРТАЙЛЕНКО А.Ю. К вопросу применения пастеризационно-охладительных аппаратов для тепловой обработки молока // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2005. – №3 –С. 3–12.
5. Пономарев А.Н., Шуваева Г.П., Корнеева О.С. и др. Состав микрофлоры молока на различных этапах обработки // Молочная промышленность. – 2004. – №9 – С. 31–32.
6. Magnusson B. The origins and evolution of the Alfa-Laval plate heat exchanger. In “The story of the Alfa-Laval Plate Heat Exchanger and Spiral Heat Exchanger”, Norstedts Tryckeri, Stockholm. – 1985 – p. 1–3.
7. Ястребенецкий А.Р., Коваленко Л.М. Исследование теплообменников с канальчатыми пластинами // Труды Харьковского политехнического института. – 1959. – 26 –С. 81–88.
8. Барановский Н.В. Современные пластинчатые пастеризационные установки // Молочная промышленность. – 1956 – №3 –С. 42–43.
9. G. A. Dummett. Plattapparater som Värmeväxlare // Focus. –1959. – Nr. 2 –p. 1–10.
10. Сурков В.Д., Липатов Н.Н. Движение жидкости в штампованных пластинах пастеризатора // Молочная промышленность. –1951. – №3 –С. 33–36.
11. ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л., КАПУСТЕНКО П.А., ЦЫБУЛЬНИК В.А. Теплообмен и гидравлическое сопротивление в каналах сетчато-поточного типа пластинчатых теплообменников // Известия Вузов: Сер. Энергетика». – 1980. – №9 –С. 123–125.
12. Bond M.P. Plate Heat Exchangers for Effective Heat Transfer // The Chemical Engineer. –1981. –No. 367 – p. 162–167.
13. Fernandes C.S., Dias R.P., Nobrega I.M., Maia I.M. Effect of corrugation angle on the thermal behaviour of power-law fluids during a flow in plate heat exchanger // Proceedings of 5th International Conference on Enhanced, Compact and Ultra-Compact Heat Exchangers, Hoboken, NJ, USA, Sept. 2005, p. 496–501.

УДК 621.1.016:579

ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., КАПУСТЕНКО П.О., БУХКАЛО С.І., ПЕРЕВЕРТАЙЛЕНКО О.Ю.

**ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ ПАСТЕРИЗАЦІЇ МОЛОКА
ТА МОЛОКОПРОДУКТІВ
В ПЛАСТИНЧАСТИХ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТАХ**

Розглянуто основні вимоги до процесу пастеризації молока. Зазначено, що забезпечити ці вимоги у найбільш прийнятному обсязі можливо у пластинчастих теплообмінниках, що забезпечують процес у тонкошаровому закритому потоці. Зроблено ретроспективно-аналітичний огляд розвитку конструкцій пластинчастих апаратів для теплової обробки молока та молокопродуктів. Зазначено перспективу інтеграції сучасних пастеризаційно-охолоджувальних пластинчастих апаратів у схемні енергозберігаючі рішення.