

УДК 621.56

О влиянии некоторых параметров работы фризера мягкого мороженого на его производительность

Канд. техн. наук **О.А. Цуранов**

канд. техн. наук **А.Г. Крысин, В.В. Быкова**, jol9912@yandex.ru

Санкт-Петербургский государственный торгово-экономический университет (ФГБОУ ВПО)
194021, Санкт-Петербург, ул. Новороссийская, д. 50

Канд. техн. наук **А.Л. Тимофеевский**, alt1960@mail.ru

д-р техн. наук **Б.А. Вороненко**, voronenkoboris@mail.ru

д-р техн. наук **В.В. Пеленко**

Университет ИТМО

191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

В работе отражены данные, полученные на основе разработанной авторами компьютерной модели процесса приготовления мягкого мороженого во фризерах периодического действия. Показано, что получение мороженого с надлежащими вкусовыми качествами обусловлено не только его технологической основой, составом и свойствами наполнителей, характеризующими тип мороженого, но и особенностями процесса теплообмена. Проведенный обзор публикаций выявил значительный разброс экспериментальных данных по фризерам со скребковыми мешалками. Это обстоятельство, а также возможность комплектации фризеров различными холодильными агрегатами и мешалками вызвали необходимость уточнения физической картины явления для понимания и выработки путей интенсификации процессов, протекающих в цилиндре фризера, а также учета степени влияния на них технологических и конструктивных факторов.

Установлено влияние параметров, определяющих процесс приготовления мороженого, отмечены условия, определяющие максимальную производительность фризера. Показано, что наибольшее влияние на изменение производительности фризера оказывает величина зазора между поверхностью цилиндра и скребком-мешалкой, а частота вращения вала фризера имеет оптимум, который зависит от соотношения затрат энергии на привод скребка-мешалки и холодильной мощности агрегата.

Ключевые слова: фризер мягкого мороженого, производительность фризера, скребковая мешалка, холодопроизводительность холодильной машины.

About influence of some parameters of work of the milling cutter of soft ice cream on its productivity

Ph. D. **O.A. Tsuranov**, *Ph. D.* **A.G. Krysin**, **V.V. Bykova**, jol9912@yandex.ru

St. Petersburg state trade and economic university (FGBOU VPO)

194021, St. Petersburg, Novorossiyskaya St., 50

Ph. D. **A.L. Timofeevsky**, alt1960@mail.ru

D.Sc. **B.A. Voronenko**, voronenkoboris@mail.ru, *D. Sc.* **V.V. Pelenko**

ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

The data obtained based on the computer model of process of preparation of soft ice cream developed by authors in milling cutters of periodic action are reflected in work. It is shown that the production of ice cream with the proper taste due not only to its technological foundation, structure and properties of fillers,

characterizing the type of ice cream, but also features the heat transfer process. A review of publications revealed considerable scatter of experimental data on the freezer with scraper agitators. This fact, as well as the opportunity to complete various freezers cooling units and stirrers made it necessary to clarify the physical picture of the phenomenon to understand and develop ways of intensification of the processes occurring in the cylinder freezer, as well as taking into account the degree of influence on their technological and structural factors. Influence of the parameters defining process of preparation of ice cream is established; the conditions determining the maximum productivity of a milling cutter are noted. It is shown that the greatest effect on the performance of the freezer has a change amount of clearance between the cylindrical surface and the scraper-stirrer, a revolution speed of the freezer is optimum that is dependent on the ratio of input energy to drive the scraper-mixer and the cooling capacity of the unit.

Keywords: milling cutter of soft ice cream, milling cutter productivity, scraper mixer, and refrigerator refrigerating capacity.

Процесс приготовления мороженого во фризерах периодического типа является сложным теплофизическим процессом. Получение мороженого с надлежащими вкусовыми достоинствами обусловлено не только его технологической основой, – составом и свойствами наполнителей, характеризующими тип мороженого (сливочного, молочного...), но и особенностями теплообмена в цилиндре фризера, определяющих процессы взбивания и намораживания смеси на поверхности теплообмена.

Сложность математического описания работы фризера обусловлена тем, что процесс замораживания смеси предполагает одновременное ее замерзание на внутренней поверхности охлаждающего цилиндра, удаление намороженного слоя, его перемешивание с теплой смесью, поступающей во фризер, и выдавливание готового замороженного продукта с приданием ему заданной формы.

Теплообмен во фризере является нестационарным, поэтому точная количественная оценка его пара метров весьма затруднительна. В силу этого, процесс приготовления замороженной смеси обычно рассматривают как квазистационарный с равномерным поступлением теплой смеси в цилиндр фризера и непрерывной выдачей готового замороженного продукта.

С точки зрения практики, техническое совершенство фризера определяется его способностью обеспечивать максимальную взбитость мороженого при наибольшей производительности.

При заданном составе смеси мороженого её приготовление, в основном, определяется особенностями технической конструкции фризера, объединяющей в одно целое способы взбивания, намораживания и удаления замерзшей смеси с теплоотводящей поверхности.

Во всех фризерах замерзшая смесь удаляется с цилиндра путем соскребания, и основное отличие состоит в конструкции скребка-взбивателя. В современных конструкциях фризеров, например, в изделиях ведущей итальянской фирмы KARPIGIANI используется узкий скребок спирального типа с острой самозатачивающейся кромкой ножа. Выбранная конструкция не случайна, так как обеспечивает хорошее удаление замороженной смеси с теплоотводящей поверхности, интенсифицирует теплообмен, увеличивает производительность фризера и улучшает качество мороженого.

Производительность фризера G_m оценивалась [1] на основе балансового соотношения (1). Расчеты осуществлялись для холодильной машины с хладоном R 502 при температуре наружного воздуха 20°C и холодопроизводительности 700 Вт.

$$G_m = \bar{k} \cdot F \cdot (\bar{t}_{cm} - t_o) - N - Q_{\text{пр}} / (i_{\text{нач}} - i_{\text{кон}}), \quad (1)$$

где: \bar{k} – средний коэффициент теплопередачи; F – площадь поверхности теплообмена испарителя; N – мощность на валу мешалки; $Q_{\text{пр}}$ – теплопритоки через теплоизоляцию и потери холода при загрузке и

выгрузке продукта; – температуры смеси и кипения холодильного агента; – начальная и конечная энтальпии смеси.

Величины $\bar{k}, F, N, t_o, Q_{III}$ входящие в (1), связаны между собой и зависят от многих факторов (типа перемешивающего устройства; выбранной геометрии поверхности, температуры кипения хладагента и др.). Поэтому прямой расчет по (1) возможен только после испытаний конкретного фризера.

Проведенный обзор публикаций выявил значительный разброс экспериментальных данных по фризерам со скребковыми мешалками [1, 2, 6, 7, 9, 10, 12, 13]. Это обстоятельство, а также возможность комплектации фризеров различными холодильными агрегатами и мешалками обуславливают необходимость понимания путей интенсификации процессов, протекающих в цилиндре фризера, и учета степени влияния на них технологических и конструктивных факторов.

При составлении алгоритма программы расчета [1] было учтено, что на качество конечного продукта влияют в равной мере и процесс взбивания, и процесс замораживания смеси. Другими словами, хорошее качество мороженого может быть получено только при правильном выборе геометрии цилиндра, частоты вращения взбивателя и других факторов. В представленном материале отражено влияние на производительность фризера G_m , кг/ч следующих параметров: «С» – величины зазора, м; диаметра цилиндра D_c , м; длины цилиндра L , м и частоты вращения скребка N , s^{-1} . Модель фризера показана на рисунке 1. График зависимости производительности фризера G_m от величины зазора «С» представлен на рисунке 2. Расчетные данные свидетельствуют, что производительность фризера существенно зависит от величины зазора между внутренней теплоотводящей поверхностью цилиндра и режущей кромкой ножа-взбивателя. Например, при зазоре более 1 мм производительность фризера уменьшается в 1,5 раза по сравнению с зазором 0,01 мм.

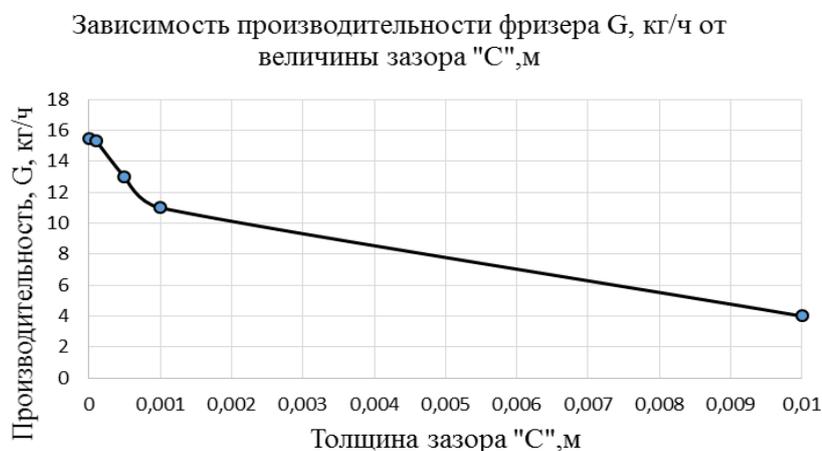
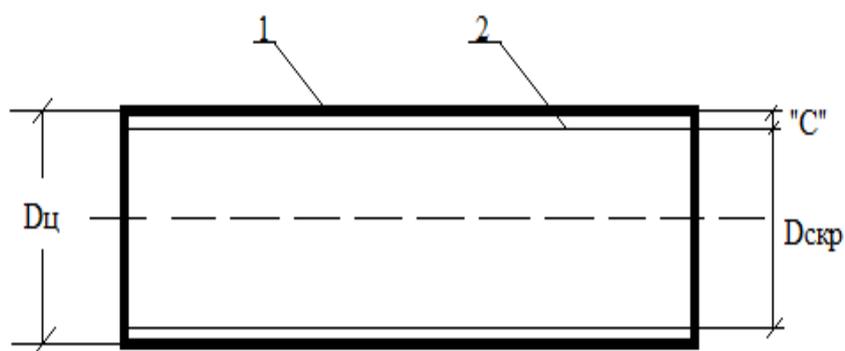


Рис. 2. График зависимости производительности фризера G_m , кг/ч. от величины зазора «С», м.

При нарушении технологии изготовления элементов фризера или при использовании взбивателя не скребкового типа возможно значительное уменьшение производительности фризера. Так, по мере увеличения зазора с 1 до 10 мм производительность падает с 11,3 до 4,1 кг/ч., то есть почти в 3 раза. При этом, вследствие увеличения термического сопротивления замороженного слоя температура кипения фреона понижается с -24°C до -39°C , и холодопроизводительность машины уменьшается с 600 до 440 Вт.

Представляет интерес влияние частоты вращения скребка N на производительность фризера G_m . Это влияние обусловлено тем, что увеличение производительности фризера и повышение качества мороженого может быть получено путем интенсификации процесса взбивания за счет увеличения частоты вращения вала.

Влияние частоты вращения скребка на производительность фризера отражено на рисунке 3.

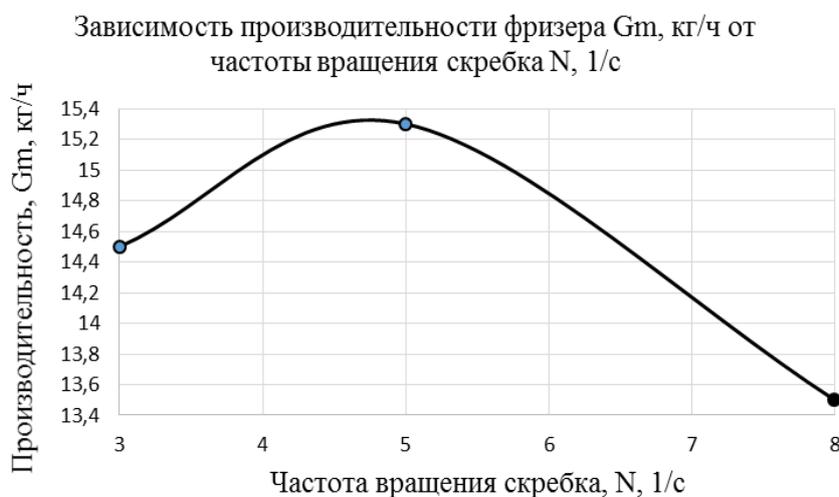


Рис. 3. Зависимость производительности фризера G , кг/ч от частоты вращения скребка N , с^{-1} .

Анализ представленной зависимости свидетельствует, что увеличение частоты вращения скребка при использовании холодильного агрегата одной и той же мощности после определенной частоты уже не приводит к эквивалентному увеличению производительности фризера. Наоборот, с увеличением N от 5 до 8 с^{-1} G_m уменьшается с 15,3 до 13,5 кг/ч. Данный факт становится понятным при сопоставлении энергетических затрат на соскребание и взбивание мороженого в цилиндре фризера с температурами стенки цилиндра и кипения холодильного агента в полости этого цилиндра. При указанном выше увеличении N энергетические затраты на срезание мороженого со стен в интервале температур кипения хладона $-14...-17^{\circ}\text{C}$ увеличиваются с 86 до 97 Вт, а затраты на взбивание возрастают с 82 Вт до 246 Вт и продолжают расти с увеличением частоты вращения скребка.

При паспортной холодопроизводительности холодильной машины 700 Вт (при $t_0 = -25^{\circ}\text{C}$), теплопритоки при взбивании смеси с частотой $N = 8 \text{ с}^{-1}$ поглощают более трети холодильной мощности агрегата.

Увеличение длины цилиндра приводит к росту производительности фризера. Так, увеличение длины цилиндра с 0,1 м до 0,4 м. обеспечивает увеличение G_m с 9,4 кг/ч до 16,9 кг/ч. Это обусловлено тем, что развитие поверхности теплообмена повышает температуру кипения холодильного агента в рубашке цилиндра снижает энергетические затраты на срезание мороженого на 35%. Отмеченная закономерность иллюстрируется рисунком 4.

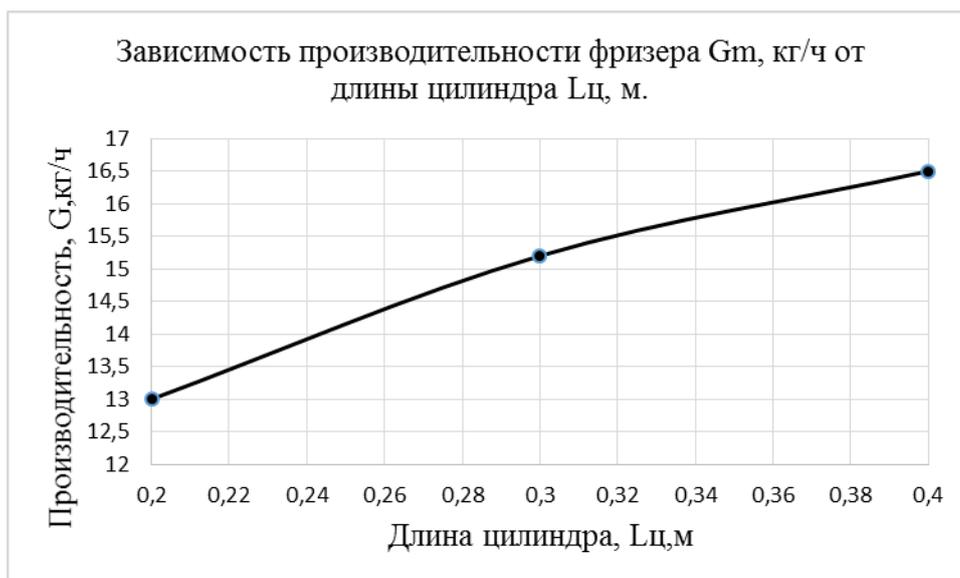


Рис. 4. График зависимости производительности фризера G_m , кг/ч. от длины цилиндра $L_{ц}$, м.

Несмотря на привлекательность решения проблемы увеличения производительности фризера путем увеличения длины цилиндра, данный путь ограничен конструктивными особенностями и удобством эксплуатации фризеров. Как правило, длина цилиндра большинства фризеров периодического типа не превышает 0,3...0,4 м.

Увеличение производительности можно обеспечить за счет увеличения внутреннего диаметра цилиндра фризера $D_{ц}$. Это решение находит частое применение в практике замораживания соков, при охлаждении молочных продуктов и приготовлении мороженого.

В устройствах фирмы Labo KARPIGIANI процесс замораживания осуществляется в цилиндрах диаметром 0,25...0,9 м и длиной 0,1...0,15 м. Производительность варьируется как размерами цилиндров, так и числом циклов замораживания в них смеси.

Зависимость производительности фризера от диаметра цилиндра представлена на рисунке 5.

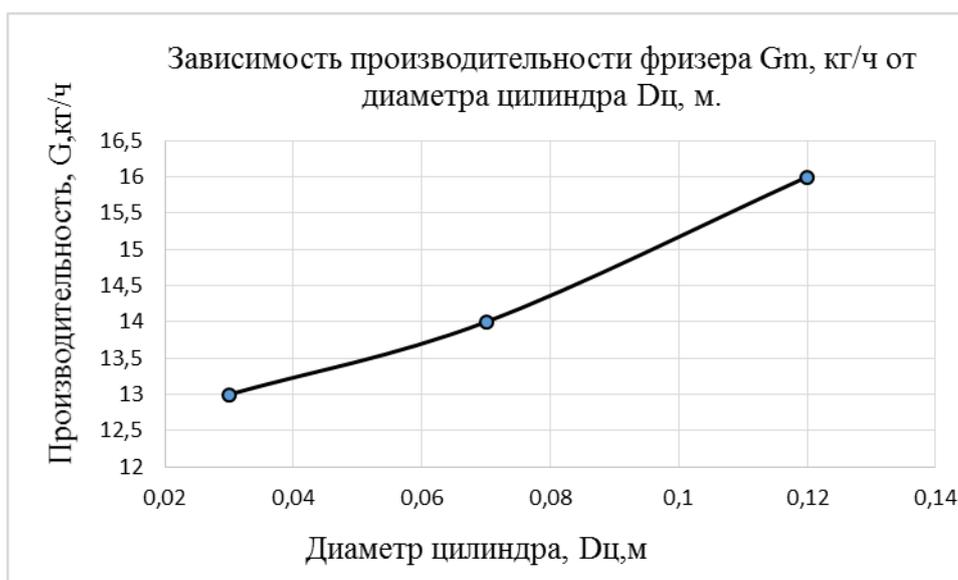


Рис. 5. График зависимости производительности фризера G_m , кг/ч. от диаметра цилиндра $D_{ц}$, м.

Выводы

1. Выбор рабочих параметров фризера определяется комплексом свойств, реализуемых в условиях конкретной технической конструкции.

2. Наибольшее влияние на изменение производительности фризера оказывает величина зазора между поверхностью цилиндра и скребком-мешалкой.

3. Частота вращения вала фризера имеет оптимум, который зависит от соотношения затрат на привод скребка-мешалки и холодильной мощности агрегата.

Литература

1. Кириевский Б.Н., Тимофеевский А.Л., Цуранов О.А. Методика расчета испарителя фризера мягкого мороженого периодического действия // Сб. трудов «Повышение качества и надежности технологического оборудования в торговле и общественном питании». СПб.: СПбТЭИ, 1994. 117 с.
2. Вильке А., Винрих В. Фризеры. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. 136 с.
3. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. Л.: Химия, 1975. 383 с.
4. Маслов А.М. Аппараты для термообработки высоковязких жидкостей. Л.: Машиностроение, 1980. 206 с.
5. Гуляев В.А., Вороненко Б.А., Цуранов О.А., Пеленко В.В. и др. Теплотехника: учебник для вузов. СПб.: РАПП, 2008. 352 с.
6. Вороненко Б.А., Поляков С.В., Пеленко В.В., Бараненко А.В. Аналитическое решение краевой задачи теплопроводности в связи с процессом охлаждения крема кондитерского в холодильной камере // Процессы и аппараты пищевых производств. 2008. № 2.
7. Эрлихман В.Н., Фатыхов Ю.А. Консервирование и переработка пищевых продуктов при отрицательных температурах. Калининград: КГТУ, 2004. 248 с.
8. Холодильные машины. Учебник / под ред. И.А. Сакуна. Л.: Машиностроение, 1985. 510 с.
9. Арет В. А., Верболоз Е.И., Пеленко Ф.В., Пеленко В.В. Внешнее трение в моделировании работы червячного экструдера // Процессы и аппараты пищевых производств. 2012. № 1.
10. Цветков О.Б. Холодильные агенты. СПб.: СПбГУНиПТ, 2002. 216 с.
11. Шаргут Я., Петела Р. Эксергия. М.: Энергия, 1968. 280 с.
12. Вороненко Б.А., Пеленко В.В., Поляков С.В. Тепломассоперенос в креме кондитерском при его охлаждении в холодильной камере // Процессы и аппараты пищевых производств. 2012. № 1.
13. Беляев Н.М., Рядно А.А. Методы теории теплопроводности: учеб. пособие для вузов. В 2-х частях. Ч.2. М.: Высшая школа, 1982. 301 с.

References

1. Kirievskii B.N., Timofeevskii A.L., Tsuranov O.A. Metodika rascheta isparitelya frizera myagkogo morozhenogo periodicheskogo deistviya. *Sb. trudov «Povyshenie kachestva i nadezhnosti tekhnologicheskogo oborudovaniya v trgovle i obshchestvennom pitanii»*. St. Petersburg, SPbTEI, 1994, 117 p.
2. Vil'ke A., Vinrikh V. *Frizery*. Moscow, Legkaya i pishchevaya promyshlennost' Publ., 1984, 136 p.
3. Strenk F. *Peremeshivanie i apparaty s meshalkami*. Leningrad, Khimiya, 1975, 383 p.
4. Maslov A.M. *Apparaty dlya termoobrabotki vysokovyazkikh zhidkosti*. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1980, 206 p.
5. Gulyaev V.A., Voronenko B.A., Tsuranov O.A., Pelenko V.V. i dr. *Teplotekhnika: uchebnik dlya vuzov*. St. Petersburg, RAPP, 2008, 352 p.
6. Voronenko B.A., Polyakov S.V., Pelenko V.V., Baranenko A.V. Analiticheskoe reshenie kraevoi zadachi teploprovodnosti v svyazi s protsessom okhlazhdeniya krema konditerskogo v kholodil'noi kamere. *Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv*, 2008, № 2.
7. Erlikhman V.N., Fatykhov Yu.A. *Konservirovanie i pererabotka pishchevykh produktov pri otritsatel'nykh temperaturakh*. Kaliningrad, KGTU, 2004, 248 p.
8. *Kholodil'nye mashiny*. Uchebnik. In ed. I.A. Sakuna. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1985, 510 p.

9. Aret V. A., Verboloz E.I., Pelenko F.V., Pelenko V.V. Vneshnee trenie v modelirovanii raboty chervyachnogo ekstrudera. *Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv.* 2012, № 1.
10. Tsvetkov O.B. *Kholodil'nye agenty.* St. Petersburg, SPbGUNiPT, 2002, 216 p.
11. Shargut Ya., Petela R. *Eksergiya.* Moscow, Energiya Publ., 1968, 280 p.
12. Voronenko B.A., Pelenko V.V., Polyakov S.V. Teplomassoperenos v kreme konditerskom pri ego okhlazhdenii v kholodil'noi kamere. *Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv.* 2012, no. 1.
13. Belyaev N.M., Ryadno A.A. *Metody teorii teploprovodnosti: ucheb. posobie dlya vuzov.* V 2-kh chastyakh. Ch.2. Moscow. Vysshaya shkola Publ., 1982, 301 p.