

**ПЕРАПРАЦОЎКА І ЗАХАВАННЕ СЕЛЬСКАГА СПАДАРЧАЙ ПРАДУКЦЫІ**  
**PROCESSING AND STORAGE OF AGRICULTURAL PRODUCTION**

УДК 664-9:621.22

Поступила в редакцию 12.01.2017

Received 12.01.2017

**З. В. Ловкис***Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию, Минск, Беларусь***ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Аннотация:** Развитие пищевой промышленности Республики Беларусь ориентировано на качественно новый организационный уровень производств и внедрение технологий, обеспечивающих конкурентоспособность отечественных пищевых продуктов. В качестве основных факторов инновационного развития пищевой промышленности следует считать создание и широкое распространение новых технологий, оборудования, современных способов организации производства, а также обеспечение соответствующего профессионального уровня и квалификации инженерно-технического персонала. Во всех отраслях пищевой промышленности используются гидродинамические процессы, в связи с чем вопросы по их изучению и совершенствованию являются актуальными и перспективными. В статье приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований различных гидродинамических процессов в пищевой промышленности с учетом влияния структурно-механических свойств обрабатываемых сред. Приведены расчетные зависимости для определения местных гидравлических сопротивлений в различных элементах трубопроводных систем, сопротивления по длине гидроудара и др. Полученные результаты могут быть применены при разработке энергоэффективных аппаратов пищевых производств, а также для оптимизации таких технологических процессов, как теплообмен, дозирование, транспортирование, перемешивание и т.д.

**Ключевые слова:** гидродинамика, потери давления, гидроудар, трубопровод, жидкотекучий продукт, процесс, аппарат

**Для цитирования:** Ловкис, З. В. Гидродинамические процессы в пищевой промышленности / З. В. Ловкис // Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2017. – №4. – С. 115–123.

**Z. V. Lovkis**

*The Scientific and practical center of the National academy of sciences of Belarus for Foodstuffs, Minsk, Belarus,  
e-mail: info@belproduct.com*

**HYDRODINAMIC PROCESSES IN FOOD INDUSTRY**

**Abstract:** Development of food industry in the Republic of Belarus is aimed at a whole new organizational level of production and implementation of technologies ensuring competitiveness of domestic food products. The following factors of innovative development of food industry shall be considered as the main one: creation and wide dissemination of new technologies, equipment, modern ways of production arrangement, as well as ensuring appropriate professional level and qualification of engineering and technical personnel. In all the branches of food industry hydrodynamic processes are used, and therefore issues relating study and improvement of such processes are relevant and perspective. The article presents results of theoretical and experimental researches of various hydrodynamic processes in food industry, taking into account the effect of structural and mechanical properties of the treated media. The calculated dependences for determination of local hydraulic resistances in various elements of pipeline systems, resistance along the hydraulic impact length, etc. are presented. The obtained results can be applied for development of energy efficient equipment for food production, and also for optimization of such technological processes as heat exchange, dosing, transportation, mixing, etc.

**Keywords:** hydrodynamics, pressure loss, hydraulic impact, pipeline, liquid product, process, apparatus

**For citation:** Lovkis, Z. V. Hydrodynamic processes in food industry / Z. V. Lovkis // *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2017, no 4, pp. 115–123.

На современном этапе экономического развития страны важнейшей задачей предприятий пищевой промышленности республики является наращивание экспортного потенциала через повышение качества и конкурентоспособности пищевой продукции.

Во всем мире основополагающим элементом любого современного производства является технология и способ (оборудование) для ее реализации. Производство однотипного продукта в разных регионах и странах по одной и той же технологии зачастую невозможно в связи с различием в свойствах сырья, которые зависят от климатических условий, температуры. На данный аспект накладывается различие в потребительских предпочтениях населения, нормативно-правовой базе и т.д. В итоге создание любого нового инновационного производства требует глубоких фундаментальных исследований.

За годы становления Научно-исследовательского института пищевой промышленности и Научно-практического центра Национальной академии наук Беларуси по продовольствию в области фундаментальных исследований специалистами проведены работы по следующим направлениям:

- процессы в пищевых производствах;
- комплексные технологии переработки сырья животного и растительного происхождения;
- технологии производства новых видов пищевых продуктов;
- создание новых видов продуктов питания, в том числе функционального и профилактического назначения для питания детей, спортсменов, пожилых людей, беременных женщин и кормящих матерей, людей, страдающих сахарным диабетом, фенилкетонурией, целиакией и другими заболеваниями;
- формирование и достижение качества и безопасности продовольственного сырья и продуктов питания.

Схематично направления проводимых исследований процессов, технологий и аппаратов в Центре по продовольствию представлены на рис. 1.

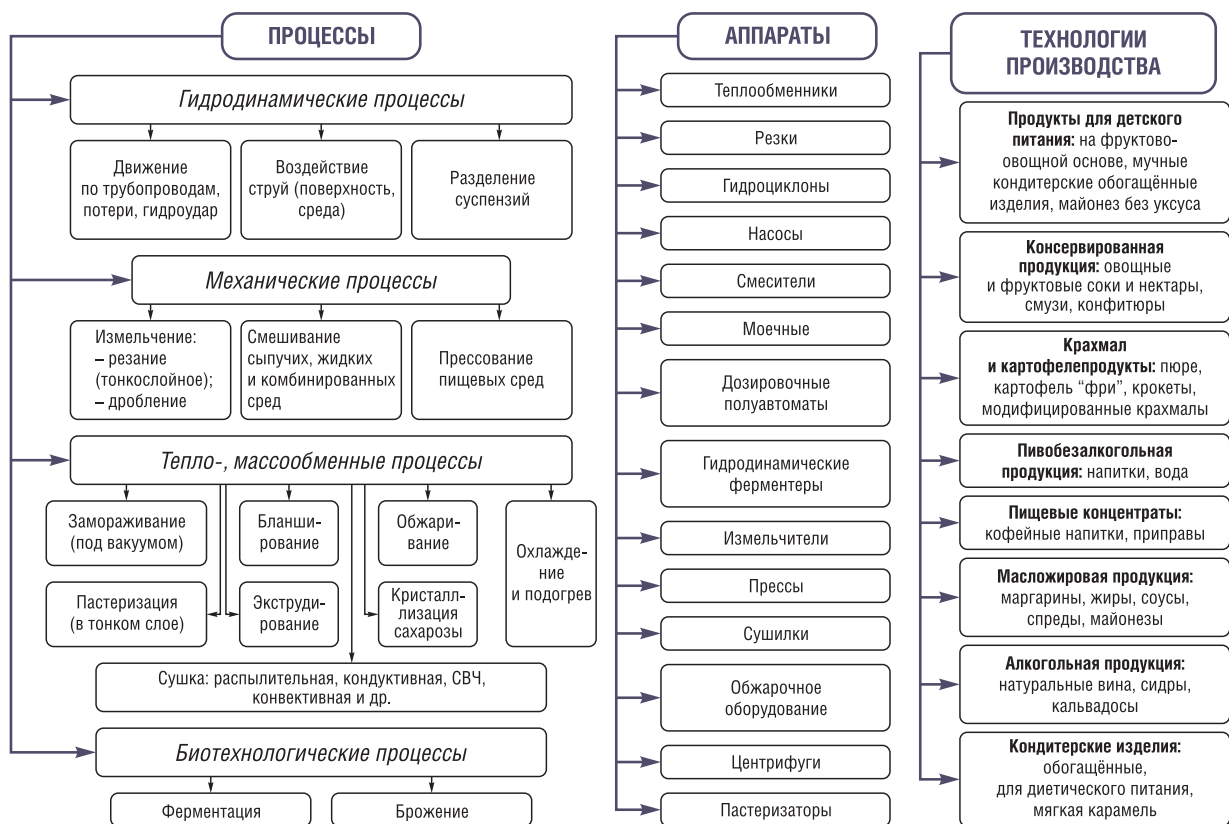


Рис. 1. Основные направления научных исследований: технологии производства продуктов питания из сырья растительного и животного происхождения, процессы и аппараты пищевых производств

Fig.1. Main directions of research: Food production technology from raw materials of vegetable and animal origin, processes and equipment for food production

Только глубокое изучение процессов, протекающих на различных технологических этапах, позволяет создавать новые энергоэффективные аппараты и технологии производства, новые виды качественных и безопасных продуктов питания.

В Научно-практическом центре Национальной академии наук Беларуси по продовольствию создан ряд экспериментальных установок для изучения процессов пищевых производств и влияния на них различных факторов.

Отдельное внимание уделено одним из наиболее распространенных в пищевой промышленности процессам – гидродинамическим. Они затрагивают такие важные операции, как мойка, транспортирование продуктов по трубопроводам, перемешивание, разделение, дозирование и др.

Молоко и молочная продукция, соки и овощные пюре, кетчупы и майонезы, напитки и другие жидкотекучие продукты транспортируются по трубопроводам, и на обеспечение режима течения затрачивается определенная энергия.

Т а б л и ц а 1. Характеристики продуктов, транспортируемых по закрытым трубопроводам  
T a b l e 1. Specifications of products transported by closed pipeline

Продукт	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент динамической вязкости, МПа·с
Молоко	1000–1030	1,8–3,0
Кефир	1030	4,5–13,9
Сыворотка	1030	1,7
Сливки	960	1,5–8,0
Мед	1010–1340	30–60 000
Тесто	1250–1320	100–1200
Сироп	1200–1520	250–7000
Спирты и его растворы	789–980	1,19–2,86
Жиры	915–961	1,7–4,7
Растительные масла	920–970	47–98
Вина	990–1090	1,51–3,18
Осветленные моки, Напитки	1011–1054	1,7–1,9
Пиво, квас	1016–1067	1,45–2,41
Пюре для детского питания	1040–1200	250–400
Концентрированные соки	1040–1300	50–90
Кетчупы и соусы	1100–1400	56–15 000
Коньяк	910–950	2,0–6,7

В табл. 1 приведены данные параметров плотности и коэффициента динамической вязкости исследуемых жидких и жидкотекучих продуктов, транспортируемых по закрытым трубопроводам. Как видно, плотность транспортируемых продуктов может изменяться от 780 до 1400 кг/м<sup>3</sup>, а коэффициент динамической вязкости для различных жидких продуктов может находиться в диапазоне от 1,5 до 60 000 МПа·с. От данных показателей зависит предельное напряжение сдвига и затраты энергии.

Немаловажное значение в гидродинамических процессах играют реологические свойства используемых сред, в связи с чем нами проведены исследования влияния структурно-механических свойств на энергоёмкость процесса, температурного воздействия на свойства сред, влияния различных режимов перемешивания вязких сред на их качественные параметры и др.

Изучены основные характеристики моделей жидкотекучих сред, транспортируемых по трубопроводам, установлены параметры плотности, изучены зависимости напряжений сдвига для разнообразных консистенций. Установлены закономерности изменения параметров модели Гершеля-Балкли в зависимости от ее вида, концентрации, температуры.

$$\sigma(T, \dot{\gamma}) = \sigma_0(T) + K(T)\dot{\gamma}^{n(T)}, \quad (1)$$

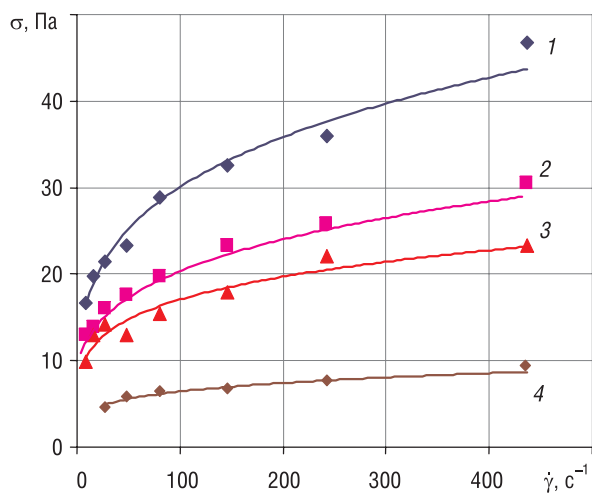


Рис. 2. Зависимость напряжения сдвига ( $\sigma$ ) от скорости сдвига ( $\dot{\gamma}$ ) образцов послеспиртовой зерновой барды из ржи различных концентраций при 20 °С: 1 – 27 %, 2 – 22 %, 3 – 20 %, 4 – 18 % (точки – эксперимент, кривые – расчет по модели (1))

Fig.2. Dependence of the shear stress ( $\sigma$ ) on the shear speed ( $\dot{\gamma}$ ) of samples of distillery grain wastes of rye of various concentrations at 20 °С: 1 – 27 %, 2 – 22 %, 3 – 20 %, 4 – 18 % (points – experiment, curves – calculation under mode (1))

где  $\sigma_0(T)$  – функциональная зависимость предельного напряжения сдвига от температуры;  $K(T)$  – функциональная зависимость коэффициента консистенции от температуры;  $\dot{\gamma}$  – скорость сдвига;  $n(T)$  – функциональная зависимость показателя степени от температуры.

Для примера на рис. 2 приведена зависимость напряжения сдвига послеспиртовой зерновой барды из ржи при концентрациях в диапазоне 18–27 % и температуре 20 °С от скорости ее транспортировки, сдвига.

Изменение параметров модели Гершеля–Балкли для послеспиртовой зерновой барды из ржи в зависимости от концентрации в этих условиях можно аппроксимировать полиномами 2-й степени:

$$\begin{aligned} \tau_0 &= -445,05C^2 + 220,02C - 24,07 \text{ (Па)}, \\ K &= -752,26C^2 + 397,41C - 45,22 \text{ (Па} \cdot \text{с}^n), \\ n &= -1,5946C^2 + 1,1994C + 0,0779 \end{aligned} \quad (2)$$

Диапазоны параметров коэффициентов модели Гершеля–Балкли для послеспиртовой зерновой барды из ржи при температуре 20 °С в диапазоне концентраций 18–27 % составляют

$$\tau_0 = 0,96 - 2,92 \text{ (Па)}, \quad K = 1,77 - 7,27 \text{ (Па} \cdot \text{с}^n), \quad n = 0,24 - 0,29.$$

С учетом уравнения (1) все жидкотекучие пищевые продукты можно разделить на следующие группы:

– по значению предельного напряжения сдвига ( $\sigma_0$ ): от 0 до 10 Па; от 10 до 50 Па; от 50 Па и более;

– по значению показателя степени ( $n$ ):  $0 < n < 1$ ;  $n = 1$ ;  $n > 1$ .

Т а б л и ц а 2. Значение предельного напряжения сдвига, коэффициента консистенции и показателя степени для различных продуктов

Т а б л и ц а 2. Limit shear stress value, consistency coefficient and power index for different products

Вид продукта	Предельное напряжение сдвига, $\sigma$	Коэффициент консистенции, $K$ , Па $\cdot$ с <sup><math>n</math></sup>	Показатель степени, $n$
Детское питание	0	307–561	0,68–0,76
Кетчуп с содержанием сухих веществ 25,5 %	6,88–15,8	1186–6000	0,28
Майонез	0	24–6327	0,49–0,73
Соус	20–50	99–2026	0,31–0,35
Послеспиртовая барда с содержанием с/в 27 %	0,04–2,92	0,58–7,27	0,29–0,57
Масло растительное рапсовое	0	0,09–2,53	1
Майонез	0	4,2–6,4	0,5–0,6
Сок томатный, содержание с/в 16 %	0	3,16–3,27	0,38–0,45

По результатам исследований установлено, что существенное влияние на напряжение сдвига (энергоёмкость процесса транспортирования продукта) оказывает изменение температуры в диапазоне 20–50 °С, при более высоких температурах влияние незначительно. Нелинейность реологического поведения исследованных продуктов обусловлена в большей степени показателем степени и в меньшей предельным напряжением сдвига.

Нами проведены теоретические и лабораторные исследования сопротивлений по длине трубопроводов, изготовленных из различных материалов, и местных сопротивлений при течении жидкотекучих продуктов различной консистенции в зависимости от температуры среды и давления нагнетания.

Суммарное гидравлическое сопротивление сложного трубопровода составляет [1]:

$$K_{\Sigma T} = \sum_i \left( \frac{\lambda_i l_i}{d_i} + \frac{\sum \xi_{im}}{d_i} \right) \frac{V^2}{2g}, \quad (3)$$

где  $V$  – скорость течения среды, м/с;  $\lambda_i$  – коэффициент гидравлического трения;  $l_i$  – длина трубопровода, м;  $d_i$  – диаметр трубопровода, м;  $\xi_{im}$  – коэффициент местных потерь.

По результатам исследований получены конкретные значения потерь для продуктов, транспортируемых по трубопроводам различных диаметров, изготовленных из нержавеющей стали и пластмасс. На рис. 3, 4 показаны фрагменты удельных потерь давления ( $\Delta P$ ) при подаче ( $Q$ ) сока и значение коэффициента потерь  $\lambda$  по длине трубопровода из нержавеющей стали от скорости  $V$  при перемещении кетчупа.

К местным гидравлическим сопротивлениям относятся различные устройства и элементы, устанавливаемые на трубопроводах, в которых происходит нарушение установившегося движения продукта в результате его деформации с изменением направления и значения средней скорости и возникновением вихреобразования. В результате деформации турбулентного и ламинарного потока происходит интенсивное перемешивание частиц и обмен количеством движения между частицами жидкости.

К элементам и устройствам относятся фасонная и трубопроводная арматура: отводы (колена), переходники, тройники, крестовины, диафрагмы, сетки, запорные регулирующие вентили (краны), задвижки, затворы, предохранительные и регулирующие клапаны, всасывающие накопники, устанавливаемые на входе в трубу насосов, и т.д.

Местные простые гидравлические сопротивления можно разделить по направлению вектора средней скорости: скорость переменна при неизменном направлении движения потока жидкости (плавное или внезапное расширение или сужение трубопровода), скорость постоянна при изменении направления движения потока (плавный или резкий поворот трубопровода). К более сложным местным сопротивлениям относятся сопротивления, в которых вектор скорости

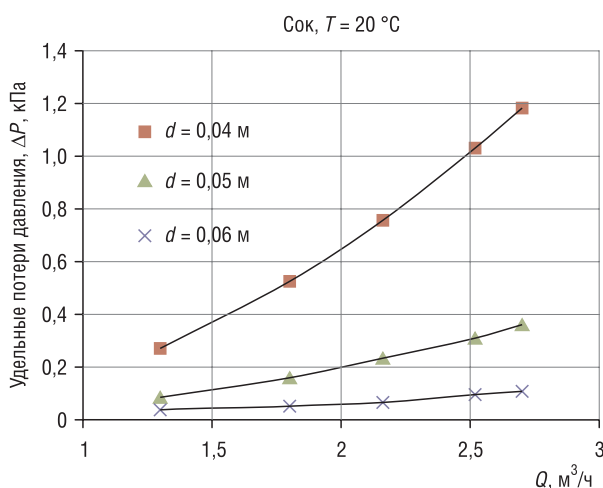


Рис. 3. Зависимость удельных потерь давления от расхода для сока

Fig. 3. Dependence of pressure loss on the flow rate for juice

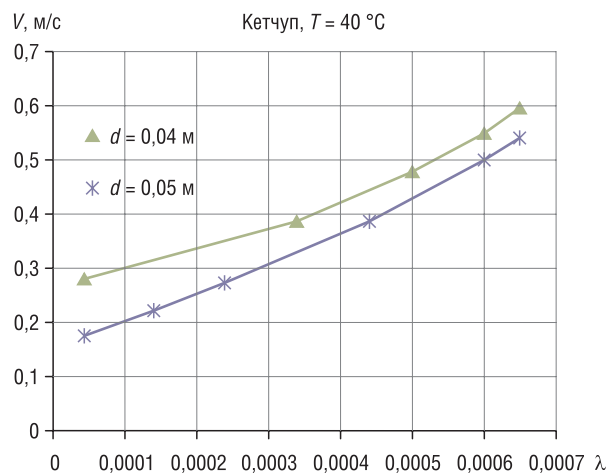


Рис. 4. Влияние скорости перемещения кетчупа при температуре  $T = 40$  °C на коэффициент потерь давления по длине трубопровода

Fig. 4. Effect of ketchup movement speed at temperature  $T = 40$  °C on pressure loss ratio along the pipeline length

изменяется по значению и направлению (слияние или разделение потоков, а также в тройниках, крестовинах, задвижках, клапанах, вентилях, и т.д.).

В таких сопротивлениях в результате резких изменений направления и скорости происходит весьма значительная деформация потока с возникновением интенсивного вихреобразования.

Затраты удельной механической энергии, обусловленной работой сил трения и вихреобразованием на преодоление потоком жидкости местного сопротивления в виде местных потерь напора, определяются по формуле Вейсбаха:

$$h_m = \zeta_M \frac{V^2}{2g}, \quad (4)$$

где  $\zeta_M$  – коэффициент местного сопротивления,  $V$  – скорость продукта перед местным сопротивлением, м/с.

Полученные данные зависимостей коэффициентов местных сопротивлений при резком повороте трубопровода и соотношении сопрягаемых диаметров при закруглении на  $90^\circ$ , представлены на рис. 5. При внезапном расширении коэффициент местного сопротивления  $\zeta_p = 0,8-0,9$ , при внезапном сужении или для Т-образных тройников  $\zeta_c = 0,5-0,7$ , а для штуцеров и переходников  $\zeta_{II} = 0,1-0,15$ .

Таким образом, нами получены новые данные значения коэффициентов потерь и удельных потерь при транспортировке жидкотекучих продуктов, которые легли в основу методик расчета конструктивных и технологических параметров трубопроводных систем, машин и аппаратов.

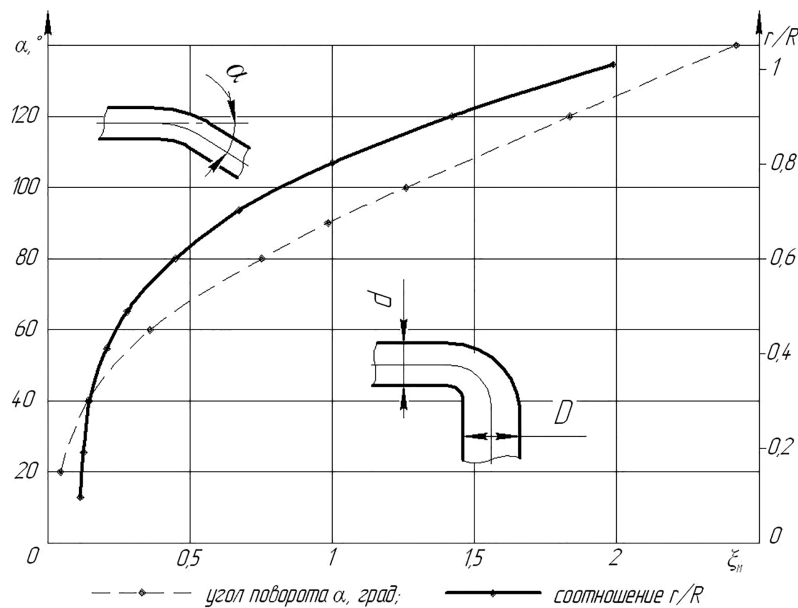


Рис. 5. Зависимость коэффициентов местных сопротивлений от резкого поворота трубопровода ( $\alpha$ ), от соотношения сопрягаемых диаметров  $r/R$  при закруглении на  $90^\circ$

Fig. 5. Dependence of local resistance coefficients on the sharp turn of the pipeline ( $\alpha$ ), on the ratio of the mating diameters  $r/R$  at rounding of  $90^\circ$

При открытии и закрытии задвижек наблюдается повышение давления (гидроудар  $\Delta P$ ), которое также необходимо учитывать при расчете трубопроводов (рис. 6):

$$\Delta P = -\rho C \Delta V, \quad (5)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости;  $C$  – скорость распространения гидравлического удара;  $\Delta V$  – изменение скорости, в результате которой возникает гидравлический удар.

$$C = \frac{C_0}{\sqrt{1 + \frac{E_{ж} d}{A \delta}}}, \quad (6)$$

где  $C_0 = \sqrt{\frac{E_{ж}}{\rho}}$  – скорость распространения звука в жидкости, м/с;  $E_{ж}$  – модуль упругости жидкости, Па;  $E$  – модуль упругости материала трубопровода, Па;  $d$  – диаметр трубопровода, м;  $\delta$  – толщина стенок трубопровода, м.

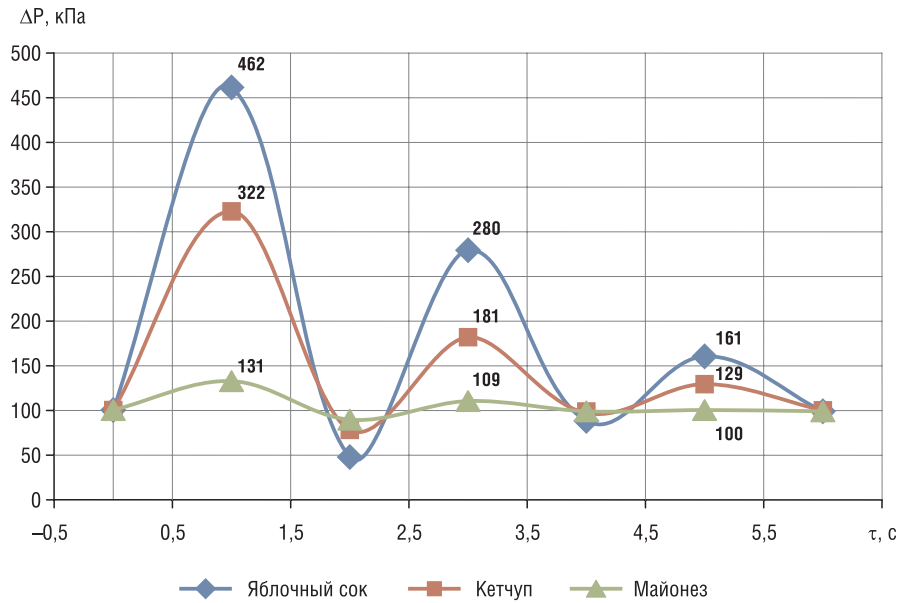


Рис. 6. Зависимость перепада давления ( $\Delta P$ ) в трубопроводе от времени закрытия задвижки ( $\tau$ ) при гидроударе для рабочего давления 100 кПа при температуре продукта  $T_{тр} = 20$  °С и диаметре трубопровода  $d_{тр} = 0,04$  м

Fig. 6. Dependence of pressure drop ( $\Delta P$ ) in pipeline on the time of valve closing ( $\tau$ ) at hydroimpact for operating pressure of 100 kPa at product temperature of  $T_{тр} = 20$  °C and pipe diameter of  $d_{тр} = 0.04$  m

Анализ полученных данных показал, что с увеличением диаметра трубопровода величина гидроудара для ньютоновских жидкостей (сок) снижается. Для неньютоновских (майонез и кетчуп) из-за повышенной вязкости и внутреннего трения при уменьшении диаметра возрастают потери при длине, что приводит к торможению потока, уменьшению перепада давления при гидравлическом ударе и гашению волн.

Основными параметрами при расчете и подбору трубопроводов являются прочностные характеристики и конечная стоимость, которые определяются материалом изготовления и конструкцией. Толщина стенки трубопровода определяет допустимые перепады давления во время его эксплуатации. При расчете толщины стенок трубопровода принято руководствоваться такой зависимостью:

$$\delta_0 = \frac{1,15\Delta P_0 d_0}{2\sigma_{тр}} \tag{7}$$

где  $\Delta P_0$  – перепад давления в трубопроводе, Па;  $d_0$  – внутренний диаметр трубопровода, м;  $\sigma_{тр}$  – прочность материала, Па.

Значения  $\Delta P_0$  для различных продуктов, температур и параметров трубопровода приведены в трудах Центра.

Действительную толщину необходимо принимать на 15 % больше расчетной, увеличение обусловлено возможными колебаниями размеров толщины стенки по длине.

Необходимое давление нагнетания с учетом скоростного напора в начале  $\frac{V_{нач}^2}{2g}$  и в конце  $\frac{V_{кон}^2}{2g}$  трубопровода из-за разных диаметров трубопроводов, должно составлять:

$$\Delta P = K_{\Sigma T} Q^2 + P_{нагр} + \frac{V_{нач}^2 - V_{кон}^2}{2g}, \tag{8}$$

где  $Q$  – расход жидкотекучей среды, м<sup>3</sup>/с;  $P_{нагр}$  – давление на выходе трубопровода, Па.

Важнейшими видами технологического оборудования для реализации гидродинамических процессов являются гидравлические емкости, трубопроводы, мешалки и насосы. Вопросам усовершенствования конструкционных, эксплуатационных и энергетических характеристик данного оборудования на основании детального и всестороннего изучения гидродинамических процессов, происходящих в них, уделяется значительное внимание.

Таким образом, получены новые данные и значения коэффициентов потерь по длине и местных сопротивлений, удельных потерь энергии для жидкотекучих продуктов транспортируемых по трубопроводам, изготовленным из нержавеющей стали и пластмасс, и применяемых в пищевой промышленности, новые значения и зависимости для описания процессов при гидроударе, на основании которых разработаны методики инженерного расчета конструктивных и технологических параметров трубопроводов, машин и аппаратов.

### Список использованных источников

1. Изучение процесса изменения физико-химических показателей продукции за счет применения кавитационной обработки / Л. К. Пацюк [и др.] // Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука : материалы науч. конф., Москва, 11–12 апр. 2017 г. / Моск. гос. ун-т пищевых производств. – М., 2017. – С. 69–71.
2. Ловкис, З. В. Исследование процесса перемешивания жидкотекучих пищевых сред / З. В. Ловкис, А. А. Садовский // Пищевая пром-сть: наука и технологии. – 2015. – № 2. – С. 22–28.
3. Ловкис, З. В. Гидравлика : учеб. пособие / З. В. Ловкис. – Минск : Беларус. навука, 2012. – 439 с.
4. Ловкис, З. В. Обоснование конструктивных параметров насадок струйного смесителя для аппарата гидродинамической обработки сред / З. В. Ловкис, А. А. Садовский, А. А. Шепшелев // Пищевая пром-сть: наука и технологии. – 2011. – № 3. – С. 81–88.
5. Максимов, А. С. Реология пищевых продуктов : лаб. практикум / А. С. Максимов, В. Я. Черник. – СПб. : ГИОРД, 2006. – 176 с.
6. Реологические свойства послеспиртовой барды в условиях непрерывной деформации сдвига / З. В. Ловкис [и др.] // 26-й симпозиум по реологии : программа и материалы, Тверь, 10–15 сент. 2012 г. / Ин-т нефтехим. синтеза им. А. В. Топчиева РАН ; редкол.: В. Г. Куличихин (отв. ред.) [и др.]. – Тверь, 2012. – С. 107–108.
7. Углеводы в пищевых продуктах / М. О. Полумбрик [и др.] ; Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по продовольствию, Нац. ун-т пищевых технологий. – Минск : ИВЦ Минфина, 2016. – 592 с.
8. Хониг, П. Принципы технологии сахара / П. Хониг ; пер. с англ. Ю. Д. Головняка, Н. А. Максимовой, Р. Г. Жижижной ; под ред. Г. С. Бенина. – М. : Пищепромиздат, 1961. – 616 с.
9. Janson, L.-E. Plastics pipes for water supply and sewage disposal / L.-E. Janson. – 4<sup>th</sup> ed. – Stockholm : Borealis, 2003. – 404 p.
10. Harlet, R. W. Phase/State transitions of confectionery sweeteners: thermodynamic and kinetic aspects / R. W. Hartel, R. Ergun, S. Vogel // Comprehensive Rev. in Food Science a. Food Safety. – 2011. – Vol. 10, N 1. – P. 17–32. doi: 10.1111/j.1541-4337.2010.00136.x.
11. Rezzolla, L. Relativistic hydrodynamics / L. Rezzolla, O. Zanotti. – Oxford : Univ. Press, 2013. – 735 p. doi: 10.1093/acprof:oso/9780198528906.003.0012.

### References

1. Patsyuk L. K., Alabina N. M., Borchenkova L. A., Medvedeva E. A. Nariniyants TV. *Izuchenie protsesssa izmeneniya fiziko-khimicheskikh pokazateley produktsii za schet primeneniya kavitatsionnoy obrabotki* [Study of the process of changing physical and chemical indicators of products using cavitation treatment]. *Razvitie pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti Rossii: kadry i nauka: materialy nauchnoy konferentsii, Moskva, 11–12 aprelya 2017 g.* [Development of food and processing industry in Russia: personnel and science: materials of the scientific conference, Moscow, April 11–12, 2017]. Moscow, 2017, pp. 69–71. (In Russian).
2. Lovkis Z. V., Sadovskiy A. A. *Issledovanie protsesssa peremeshivaniya zhidkotekekuchikh pishchevykh sred* [Researches of mixing of liquid food medium]. *Pishchevaya promyshlennost': nauka i tekhnologii* [Food Industry: Science and Technology], 2015, no. 2, pp. 22–28. (In Russian).
3. Lovkis Z. V. *Gidravlika* [Hydraulics]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2012. 439 p. (In Russian).
4. Lovkis Z. V., Sadovskiy A. A., Shepsheliev A. A. *Obosnovanie konstruktivnykh parametrov nasadok struyynogo smesitelya dlya apparata gidrodinamicheskoy obrabotki sred* [Substantiation of the design parameters of jet mixer nozzles for the apparatus for hydrodynamic media treatment]. *Pishchevaya promyshlennost': nauka i tekhnologii* [Food Industry: Science and Technology], 2011, no. 3, pp. 81–88. (In Russian).
5. Maksimov A. S., Chernik V. Ya. *Reologiya pishchevykh produktov* [Rheology of food products]. St. Petersburg, GIORД Publ., 2006. 176 p. (In Russian).
6. Lovkis Z. V., Shepsheliev A. A., Arnaut S. A., Korobko E. V., Vilanskaya S. V., Zhuravskiy N. A. *Reologicheskie svoystva poslespirtovoy bardy v usloviyakh nepreryvnoy deformatsii sдвига* [Rheological properties of distillery dreg under conditions of continuous shear deformation]. *26 simpozium po reologii: programma i materialy, Tver', 10–15 sentyabr' 2012 g.* [26 Rheology symposium: program and materials, Tver, September 10–15, 2012]. Tver, 2012, pp. 107–108. (In Russian).



7. Polumbrik M. O., Litvyak V. V., Lovkis Z. V., Kovbasa V. N. *Uglevody v pishchevykh produktakh* [Carbohydrates in food products]. Minsk, IVTs Minfina Publ., 2016. 592 p. (In Russian).
8. Honig P. *Principles of sugar technology*. Amsterdam, Elsevier Pub. Co., 1953. 767 p. (Russ. ed.: Khonig P. *Printsipy tekhnologii sakhara*. Moscow, Pishchepromizdat Publ., 1961. 616 p.)
9. Janson L.-E. *Plastics pipes for water supply and sewage disposal*. 4th ed. – Stockholm, Borealis, 2003. 404 p.
10. Harlet R. W., Ergun R., Vogel S. Phase/State transitions of confectionery sweeteners: thermodynamic and kinetic aspects. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2011, vol. 10, no. 1, pp. 17–32. doi: 10.1111/j.1541-4337.2010.00136.x.
11. Rezzolla L., Zanotti O. *Relativistic hydrodynamics*. Oxford, University Press, 2013. 735 p. doi: 10.1093/acprof:oso/9780198528906.001.0001.

### Информация об авторе

*Ловкис Зенон Валентинович* – член-корреспондент, доктор технических наук, профессор, генеральный директор, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию (ул. Козлова, 29, 220037 Минск, Республика Беларусь). E-mail: info@belproduct.com.

### Information about author

*Lovkis Zenon V.* – Corresponding Member, Ph.D. (Engineering), Professor. The Scientific-Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus (29 Kozlov Str., Minsk 220037, Republic of Belarus). E-mail: info@belproduct.com