

МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА В АППАРАТАХ ПИЩЕВОЙ ИНДУСТРИИ

Магеррамов М.А.

Азербайджанский государственный экономический университет

Новый век внес коррективы в теоретические и практические аспекты переработки пищевых продуктов с учетом демографических изменений в обществе, наличия продовольственных ресурсов, особенностей трудовой деятельности, резкого ухудшения экологической ситуации, новой информации о значении различных компонентов пищи в питании человека. Фрукты, ягоды, овощи являются основным и практически единственным источником таких биологически активных веществ как каротиноиды, фенольные соединения (в т.ч. антоцианы, флавонолы, бетанин), L-аскорбиновая кислота, микроэлементы. Эти вещества обладают иммуномоделирующими, радиопротекторными, антиокислительными свойствами и придают окраску сырью и продуктам его переработки. Биологически активные соединения плодов и овощей относятся к разряду незаменимых, которые должны поступать в организм человека регулярно вне зависимости от сезона. Поэтому особенно важным является вопрос сохранения биологически активных веществ плодов и овощей при их хранении и переработки [1-4].

Тепло- и массообменные аппараты, установки и процессы занимают особое место в перерабатывающих отраслях агропромышленного комплекса. При этом тепло- и массообменные процессы- это сложные технологические процессы, которые должны обеспечить не только сохранение качественных показателей материала, но в ряде случаев и улучшение этих показателей. Поэтому выбор метода и рациональных режимов должен базироваться на научных основах технологии: от изучения свойства продукта как объекта обработки к выбору метода и обоснованию режимов процесса и на этой основе к созданию рациональных конструкций аппаратов, агрегатов и установок.

Эффективная разработка и применение новых технологических линий по производству и переработки пищевых продуктов тесно связано с наличием информации о физико-химических и теплофизических свойствах исходных веществ. Возрастающие потребности пищевой промышленности в достоверных данных обуславливают необходимость проведения комплексных исследований этих свойств в широком диапазоне параметров состояния.

Теплофизические свойства пищевых продуктов оказывают большое влияние на тепло- и массообмен, в особенности такие, как плотность, вязкость, теплопроводность, теплоемкость продукта и др., зависящие от вида продукта, его температуры, концентрации и давления над продуктом [5,6].

В настоящее время одной из важных задач современного этапа развития пищевой индустрии является совершенствование технологии производства продуктов с разработкой новых методов обработки исходного сырья и материалов, обеспечивающих высокие качественные и технико-экономические показатели. При этом предполагается создание новых высокопроизводительных и высокотехнологичных машин и аппаратов с учетом использования данных по ряду физико-химических и теплофизических свойств пищевых продуктов, ценность которых во многом зависит от способов хранения и переработки сырья. Установлено, что теплофизические свойства продуктов, в том числе теплопроводность, на каждом этапе их производства могут служить индикатором их качества. Данные о различных термических, диффузионных и электрофизических свойствах продукта используются при создании новых высокопроизводительных и высокотехнологичных машин и аппаратов. Их разработка невоз-

можно без точного теплового чета основных элементов с учетом знания целого ряда теплофизических свойств пищевых продуктов. Надежные данные о теплопроводности фруктовых соков при различных температурах и концентрациях необходимы для ряда научных и технических приложений (развитие процессов обработки пищевых продуктов, совершенствование оборудования, расконтроль качества продуктов, понимание структуры пищевых продуктов и материалов) во многих отраслях пищевой индустрии.

Величина теплопроводности существенно меняется при изменении концентрации и температуры. В литературе имеются лишь весьма ограниченные сведения об этих изменениях. Поэтому выявление влияния различных параметров состояния на теплопроводность имеет важное значение. В аппаратах, используемых на различных технологических линиях в промышленности, и в частности, при производстве и переработке жидких пищевых продуктов, как правило, основное вещество находится в состоянии движения. Поскольку в литературе отсутствуют какие-либо данные для таких жидкостей, на практике приходится пользоваться данными для стационарной жидкости. Это приводит к существенным отклонениям расчетов теплообменных процессов от действительных цифр [7].

Хорошо известны методы измерения теплопроводности жидкостей [5,8]. К основным следует отнести метод плоского слоя, метод коаксиальных цилиндров и др. Однако все известные нам экспериментальные установки измеряют теплопроводность жидкостей находящихся в стационарном состоянии. Нами впервые предложен метод измерения теплопроводности жидкости в нестационарном состоянии и разработана конструкция установки. С помощью этой установки, впервые получены данные о теплопроводности сока в нестационарном состоянии, которые позволяют точнее проводить тепловой расчет аппаратов, что обеспечивает сокращение энергозатрат на производство готовой продукции.

Разработанная экспериментальная установка [7] основана на методе коаксиальных цилиндров (рис. 1). Измерительный прибор состоит из двух коаксиальных цилиндров: внутреннего (21) и внешнего (24). Внутренний цилиндр неподвижный. Наружный цилиндр вращается вокруг внутреннего. Вращение осуществляется специальным мотором (26) с регулировкой частоты вращения. Зазор между цилиндрами заполняется исследуемой жидкостью. Ячейка заполняется посредством сосуда (9) и трубопроводной системы (10) исследуемой жидкостью (23).

Система цилиндров помещена в воздушный термостат (3), защищенный кожухом (1) снабженный мешалкой (29), боковыми и донным нагревателем (2) большой мощности и регулировочным нагревателем (31) помещенным внутри термостата. Термостат закрыт крышкой (6), закрепленный с помощью болтов к приваренной к кожуху термостата шайбе (5). Термостат поддерживает постоянство температуры при измерении теплопроводности с точностью ± 0.05 °C.

Внутренний цилиндр имеет диаметр 35.1 мм, наружный цилиндр – 38.1 мм. Длина внутреннего цилиндра составляет 220 мм. Внутренний цилиндр содержит нагреватель (19), выполненный из нихромовой проволоки малого диаметра.

Температура внутреннего цилиндра задается с помощью микронагревателя (19) подключенного к источнику постоянного тока (13), измеряется тремя хромельалюмелевыми термопарами (8), подключенными к потенциометру (7), расположенными по высоте цилиндра, для контроля равномерности температурного поля. Цилиндры фиксируются при помощи фиксаторов (22). Перепад температуры измеряется также дифференциальной термопарой.

Измерения проводятся следующим образом. С помощью нагревателей в термостате устанавливается заданная температура. Выдерживается определенное время для установления температурного равновесия. Затем включается нагреватель, расположенный во внутреннем цилиндре. Измеряется напряжение и сила тока с помощью потенциометра. Напряжение подается с помощью источника постоянного тока (13). Измеряется перепад температуры в слое исследуемой жидкости при помощи термопар (8) и (20).

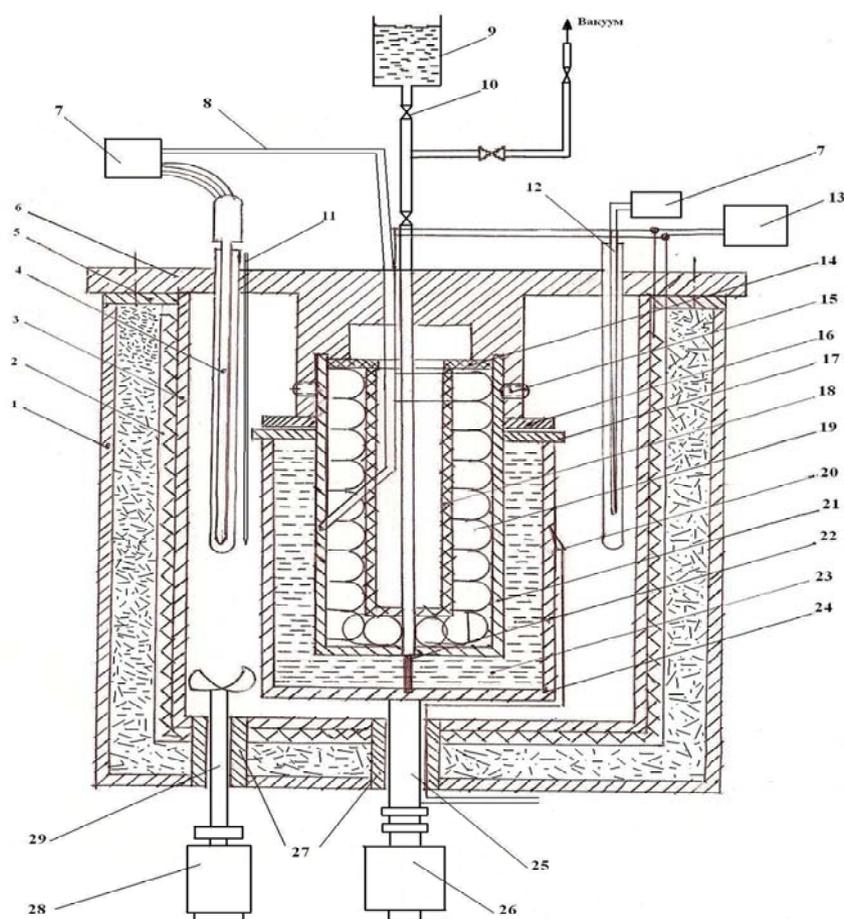


Рис. 1. Экспериментальная установка для измерения теплопроводности плодовоовощных соков при нестационарном режиме: 1 – кожух термостата с теплоизоляционным слоем, 2 – нагреватель термостата, 3 – термостат, 4 – платиновый термометр сопротивления, 5 – установочная шайба, 6 – крышка термостата, 7 – потенциометр, 8-термопара внутреннего цилиндра, 9– сосуд для жидкостей, 10 – трубопроводная система с вентилями, 11 – регулировочный нагреватель, 12 – термопара, 13 – источник постоянного тока, 14 – тефлоновая шайба, 15 – укрепляющие винты, 16 – крышка внутреннего цилиндра, 17 – защитная крышка внешнего цилиндра, 18 – фарфоровая трубка, 19 – микронагреватель, 20 – термопара внешнего цилиндра, 21 – внутренний цилиндр, 22 – фиксатор для цилиндра, 23 – исследуемая жидкость, 24 – внешний цилиндр, 25 – вал для вращения внешнего цилиндра, 26 – двигатель с устройством для фиксации скоростей, 27 – опорные втулки, 28 – двигатель, 29 – вентиляционная установка

В работе проведены экспериментальные измерения λ для соков апельсина, винограда, граната (двух сортов), и вишни. Опыты проведены при частотах от 50, 100, 150 и 200 с^{-1} , и для соков вишни и граната (Иридана) при 30 и 60 с^{-1} . Для апельсинового сока получено 40 опытных значений коэффициента теплопроводности при температурах 278, 293, 333 и 353 К. Для опытов использовали натуральный сок при концентрации 14%, а также концентрированный при 25%.

Виноградный сок изучался при температурах 12.7%, а также 20% - ти и 40% -е концентраты. Исследования проведены при температурах 293, 333 и 363 К; получено 45 величин λ .

Гранатовый сок при концентрациях 16%, 26% и 46% изучен при температурах 278, 293, 333 и 353 К; получено 60 опытных значений.

Сок вишни изучали при концентрации 15.0%, 20.5%, 31% и 42%, и температурах 283, 293, 313, 323, 343 и 363 К. При этих же температурах изучен сок граната сорта Иридана при концентрациях 14.5% и 21.5%, 29 и 40%.

На рис. 2-4 показан характер изменения коэффициента теплопроводности фруктовых соков с увеличением частоты вращения цилиндров. Анализ полученных значений λ показывает, что теплопроводность существенно зависит от скорости вращения цилиндра. С увеличением этого параметра λ повышается, причем эта зависимость более ярко проявляется при комнатных температурах.

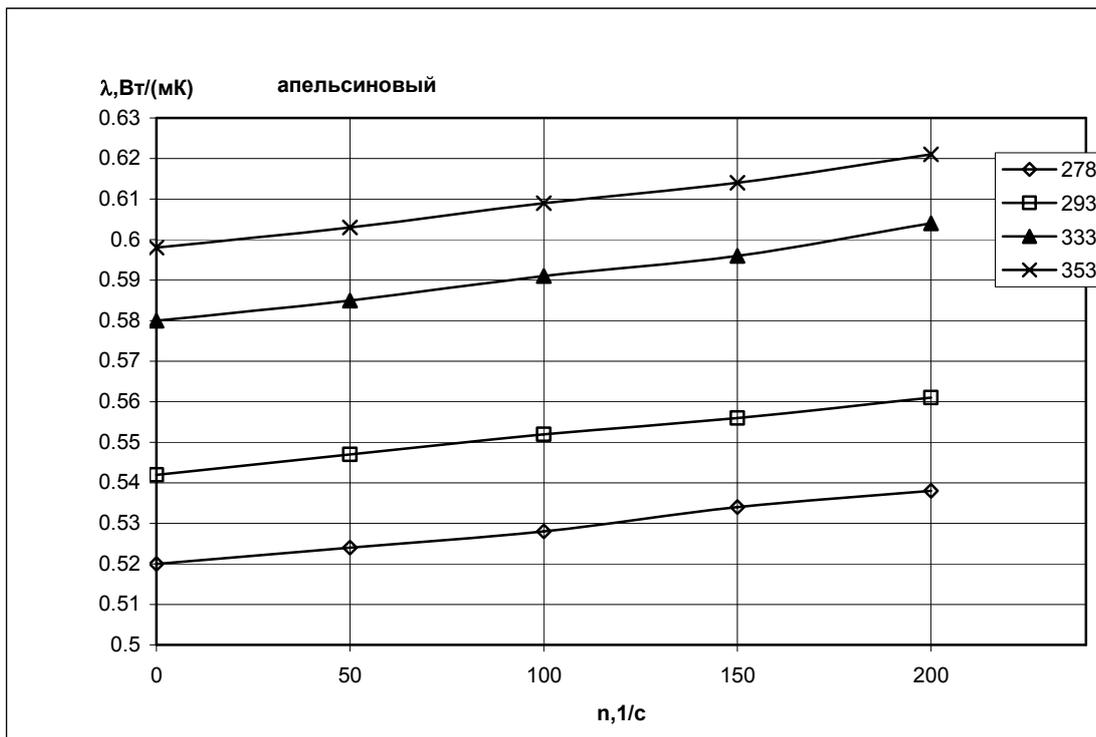


Рис. 2. Зависимость теплопроводности апельсинового сока от частоты вращения

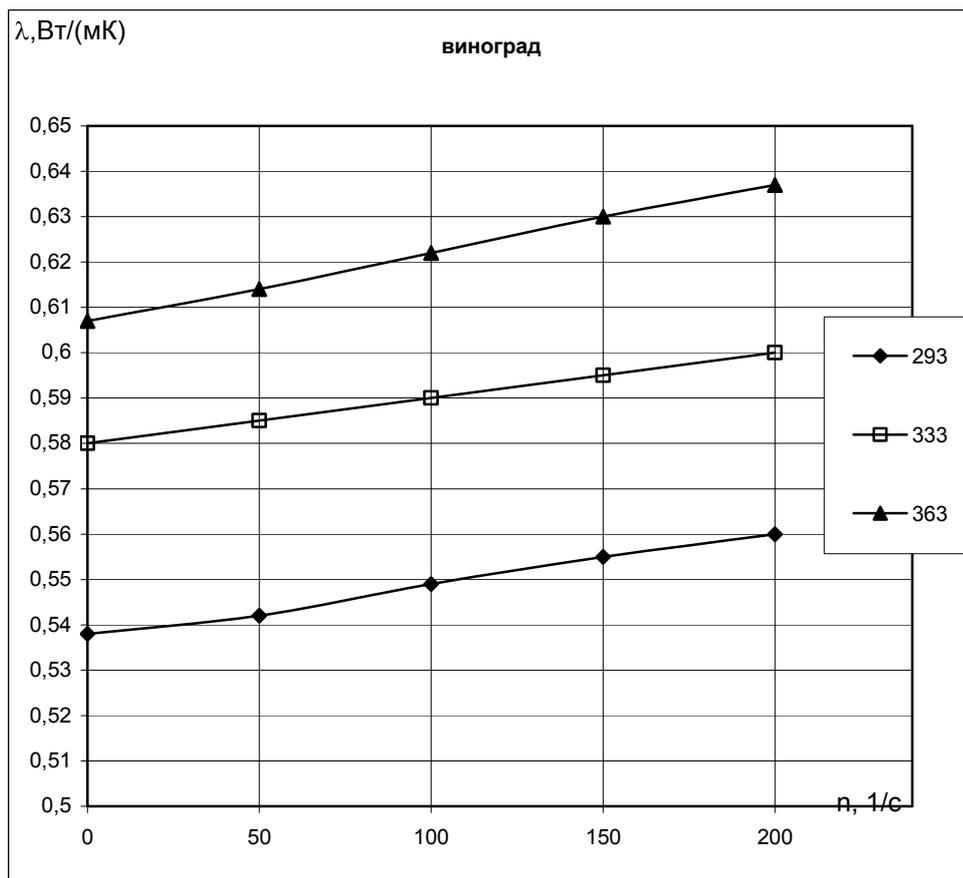


Рис. 3. Зависимость теплопроводности виноградного сока от частоты вращения

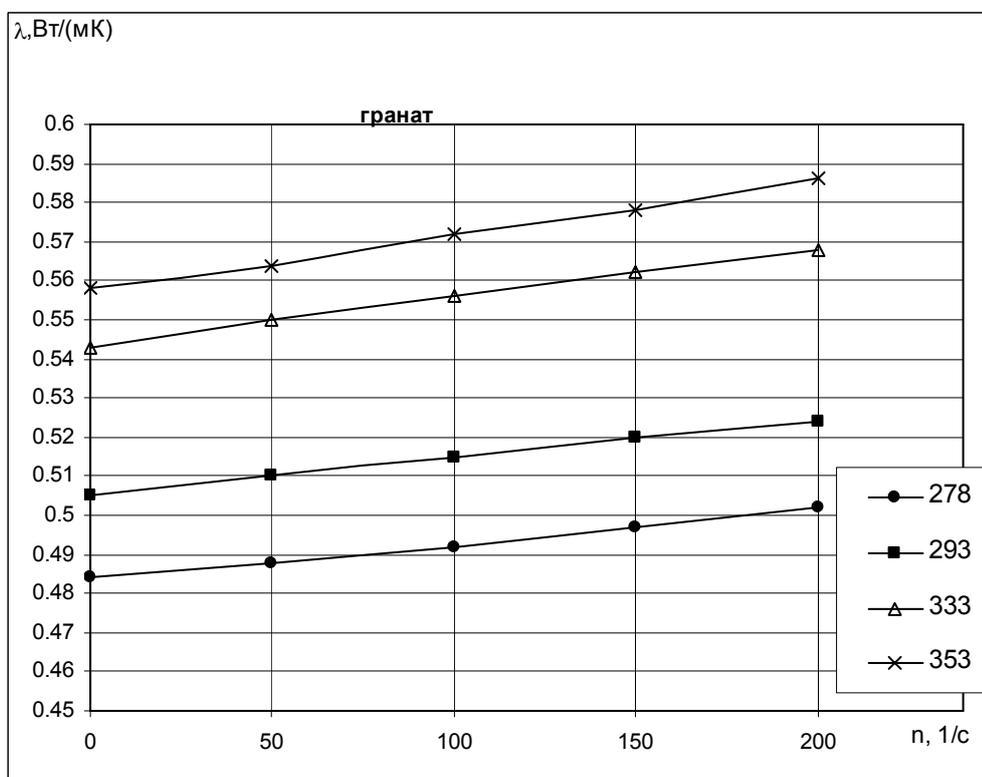


Рис. 4. . Зависимость теплопроводности гранатового сока от частоты вращения

Диаграмма зависимости теплопроводности от температуры и частоты вращения показана на рис. 5.

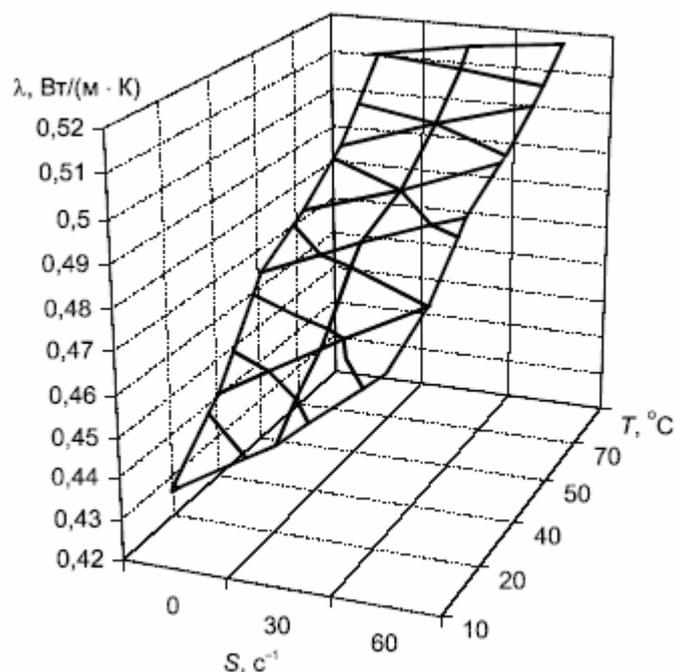


Рис. 5. Диаграмма зависимости теплопроводности гранатового сока от температуры и частоты вращения

По мере роста температуры наклон кривых $\lambda(n)$ уменьшается. Представляет интерес установление корреляции изменения теплопроводности от температуры с ростом содержания сухих веществ. Анализ показывает, что в более концентрированном соке влияние S сказывается в большей мере.

Для практических целей необходимо располагать уравнением, описывающим экспериментальные данные в зависимости от параметров состояния. Анализ полученных данных позволил определить в аналитическом виде зависимость теплопроводности соков, находящихся в нестационарном состоянии, от частоты вращения.

Предлагаемая модель имеет вид:

$$\lambda = A + Bn \quad (1)$$

Значения коэффициентов A и B приведены в табл.

Таблица. Значения коэффициентов модели (1).

T, К	A	B	T, К	A	B
	Апельсиновый, 14%			Виноградный, 12.7%	
278	0.520	0.000092	293	0.537	0.000114
293	0.542	0.000094	333	0.580	0.00010
333	0.579	0.00018	363	0.607	0.00015
353	0.578	0.00011		Виноградный, 20%	
	Апельсиновый, 25%		293	0.515	0.000090
278	0.485	0.000088	333	0.550	0.000114
293	0.503	0.000098	363	0.575	0.00015
333	0.539	0.00011		Виноградный, 40%	
353	0.557	0.00015	293	0.445	0.000086
			333	0.474	0.000102
			363	0.497	0.000146

Обобщенное описание зависимости теплопроводности от температуры, концентрации сухих веществ и частоты вращения позволило разработать модель, математическое выражение которой имеет вид:

$$\lambda = 0.572 + 9.4 \cdot 10^{-4} T - 3.37 \cdot 10^{-3} C + 3.5 \cdot 10^{-4} n \quad (2)$$

$$\lambda = 0.548 + 1.01 \cdot 10^{-3} T - 3.24 \cdot 10^{-3} C + 3.5 \cdot 10^{-4} n \quad (3)$$

Уравнения описывают экспериментальные данные с погрешностью 1.5-2%.

Таким образом, рассмотренная методика и экспериментальная установка для измерения теплопроводности жидких пищевых продуктов, в том числе плодоовощных соков находящейся в нестационарном состоянии позволили разработать математическую модель, описывающую зависимость теплопроводности от температуры, содержания сухих веществ и частоты вращения цилиндров.

Литература

- [1] Уголев А. М. Теория адекватного питания и трофология.- Л.: Наука, 1991,-- 272 с.
- [2] Воробьев Р. И. Питание: мифы и реальность.- М.: «Грэгори», 1996. -256с.
- [3] Магеррамов М.А. Теплофизические свойства плодоовощных соков. Баку, 2006, 210 с.
- [4] Пища и пищевые добавки. Роль БАД в профилактике заболеваний: Пер.с англ./Под ред. Дж. Режли, Дж. Донелли, Н. Рида.-М.: Мир, 2004.-312с.
- [5] Гинзбург А.С., Громов М.А., Красовская Г.И. Теплофизические характеристики пищевых продуктов. М., Пищевая промышленность. 1980. 288 с.
- [6] Магеррамов М.А. Математическое описание расчетов теплофизических величин жидких пищевых продуктов Производство и ремонт машин: Сборник материалов международной научно-технической конференции- таврополь: Издательство Ст ГАУ «АГРУС», 2005. с. 191-197.
- [7] Магеррамов М.А. Теплопроводность фруктовых соков при вынужденном движении // Известия вузов. Пищевая технология. Краснодар, 2006, №5, с 46-50.
- [8] Теория тепломассообмена: Учебник для технических университетов и вузов / С.И.Исаев, И.А. Кожин, В.И.Кофанов и др.; Пед ред. А.И.Леонтьева. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1997. – 683с.