

УДК 664.02

А.А. Дерябин, Д.Ю. Проскура, С.Д. Угрюмова

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОДВИЖЕНИЯ ВЯЗКИХ СРЕД ПО ТРУБОПРОВОДУ

Рассмотрено движение вязкопластических пищевых масс по трубам круглого сечения как одна из весьма сложных и практически важных проблем, связанных с необходимостью проведения различного рода расчетов. На величине численных значений свойств продукта основывается расчет кинематических и динамических параметров движения продукта, мощности электродвигателя, конструктивных размеров машины и условий прочности.

Применение трубопроводов гораздо перспективнее традиционных тележек и желобов для перемещения вязкопластических пищевых масс.

Методика эксперимента включает измерение геометрических факторов (длина, диаметр трубы, отверстия, щели), динамических (давление и реологические свойства), кинематических (средняя скорость по весовому или объемному расходу). Обработка методом анализа размерностей, когда их носителями приняты вместо динамических факторов предельное напряжение сдвига, кинематического – средняя скорость движения, геометрического – внутренний диаметр трубы, позволяет составить критериальное уравнение динамики движения вязкопластических пищевых масс.

Ключевые слова: исследования, методика, вязкопластические пищевые массы, трубопроводы, реология.

A.A. Derjabin, D.Y. Proskura, S.D. Ugryumova PHYSICAL CHARACTERISTICS OF PROMOTION VISCOUS ENVIRONMENTS IN PIPELINE

The issues related to the scientific substantiation of motion of visco-plastic food mass through round-sectioned pipes as one of the very complex and important practical problems related to the need for various types of calculations have been studied. The magnitude of the numerical values of the properties of the product creates foundation for calculation of kinematic and dynamic parameters of product movement, motor power, structural dimensions of machines and strength conditions.

The use of pipelines is much more promising as compared to traditional carts and gutters to move the visco-plastic food mass.

The experimental procedure involves the measurement of geometric (length, diameter, holes, slots), dynamic (pressure and flow properties) and kinematic factors (average speed by weight or volume flow). The processing method of dimensional analysis when instead of dynamic factors such kinematic and geometric factors as average speed and internal diameter of the tube, respectively are considered as the carriers, allows the formulation of criterion equation of dynamic movement of visco-plastic food masses.

Key words: studies, methods, visco-plastic food mass, pipelines, rheology.

Одним из важных направлений технического развития пищевой промышленности является совершенствование существующих и создание новых механизированных и поточно-автоматизированных линий по переработке пищевого сырья и производству полуфабрикатов и готовой продукции на основе использования новейших достижений науки и техники.

Создание поточно-механизированных, особенно автоматизированных линий невозможно без использования средств межоперационного транспорта и транспортных систем

по перемещению сырья и полуфабрикатов. Наиболее перспективным и рациональным межоперационным видом транспорта, включая различные транспортеры, элеваторы, нории, спуски и т.д., является трубопроводный транспорт.

Наиболее важным в практическом отношении вопросом при оценке относительных достоинств и недостатков различных форм, размеров и расположения насадочных устройств и конструкций каналов продвижения пластических масс является правильная оценка гидродинамического режима движения подобных вязких сред, которые имеют одну общую характерную особенность – большую вязкость. Вязкость, как установлено экспериментально, с повышением температуры уменьшается и одновременно резко уменьшается зависимость вязкости от температуры. При этом необходимо отметить, что изменение вязкости идет не по пропорциональной зависимости: в разных диапазонах температур и разных по химическому составу сред изменение вязкости различно. Для перекачки вязких сред необходимо затратить большие мощности, чем, например, для перекачки воды, кроме того, во многих случаях требуется предварительный подогрев таких сред. Увеличение потребляемой мощности происходит вследствие увеличения гидравлических потерь в транспортирующих механизмах. Гидродинамические условия движения определяются физическими свойствами и параметрами вязкопластических пищевых масс.

Изучение движения вязкопластической массы по трубам круглого сечения представляет одну из весьма сложных и в то же время практически важных проблем, связанных с необходимостью проведения различного рода расчетов.

Вопросы течения вязкопластических масс в каналах различного профиля представляют практический и теоретический интерес, так как знание закономерностей течения в каналах перерабатывающего оборудования необходимо для выбора наиболее рациональных его параметров.

Технологический трубопроводный транспорт представляет собой закрытую транспортную систему и предназначен для перемещения по трубам различных жидкостей, сырья и продуктов между отдельными технологическими операциями, отделениями и цехами предприятия.

Трубопроводы перспективнее тележек, так как уменьшают затраты ручного труда, позволяют более компактно установить оборудование и создать поточность производства.

Трубопроводы, состоящие из труб, изготовленных из нержавеющей стали или пластмасс (например, полиэтилена), почти полностью устраняют недостатки, присущие тележкам и желобам: позволяют механизировать процесс транспортировки, исключают прикосновение рук рабочего к продукции; создают условия для внедрения в промышленность автоматизированных поточных линий; резко сокращают производственные площади (так как трубопровод может быть установлен под потолком цеха). Применение трубопроводов способствует дальнейшей механизации и автоматизации производства. Перспективы их использования расширяются в связи с увеличением в мясной промышленности предприятий одноэтажного и малоэтажного типов.

Преимущества трубопроводного транспорта:

- позволяет создавать закрытые поточно-механизированные и автоматизированные линии, системы;
- обеспечивает возможность транспортирования сырья, продукции на малые и большие расстояния от 1 до 50 м и более без нарушения их структуры;
- исключает возможность распыления и окисления перемещаемой продукции;
- исключает загрязнения производственного воздуха неприятными запахами и другими веществами;

- повышает санитарно-гигиенические условия и культуру производства;
- возможность визуального наблюдения и контроля за ходом движения продукции в случае изготовления трубопроводов из прозрачного материала, в частности из пищевого органического стекла и др.;
- снижает стоимость транспортирования продукции в 4-5 раз по сравнению с напольным транспортом;
- исключает загромождение производственных цехов, так как технологические трубопроводы могут быть проложены (смонтированы) в любом удобном месте и на любом уровне;
- отличается простотой конструкции, легкостью разборки, сборки и монтажа.

Технологический трубопроводный транспорт (технологическая трубопроводная система) состоит из следующих основных элементов: накопительной емкости (резервуара), устройств для создания напора и вытеснения транспортируемой массы, комплекта труб, соединительных и фасонных частей, запорной, регулирующей, дросселирующей, предохранительной и контрольной арматуры, а в отдельных случаях приборов для измерения структурно-механических характеристик перемещаемой массы (среды) и приемной емкости (приемника) в конечной точке перемещения.

Преимущества трубопроводного транспорта перед другими видами транспорта обуславливают его широкое использование в будущем. Сегодня в качестве основных направлений развития трубопроводного транспорта на перспективу являются следующие.

Применение новых, обладающих антиадгезионными, антикоррозионными и другими свойствами материалов, а также безынертными по отношению к пищевым продуктам для изготовления магистральных трубопроводов. Решение этого вопроса сделает трубопроводный транспорт самым экономичным, экологически чистым и исключаящим какое-либо воздействие на продукт во время транспортировки.

Создание трубопроводного транспорта (систем), совмещающего транспортирование с выполнением технологических операций, является наиболее перспективным и важным для предприятий мясной и других отраслей пищевой промышленности.

На реальный процесс течения налагаются следующие основные ограничения: рассматривается только ламинарный поток; процесс считается изотермическим; скорость прилегающих к стенкам частиц материала равна нулю; материал принимается практически несжимаемым; реологические свойства материала не зависят от времени, т. е. на течение не оказывают влияния процессы релаксации, тиксотропии и реопексин.

Течение вязкопластических масс (колбасные и мясные фарши, жиры при температуре, близкой к плавлению, и др.) отличается от течения жидкообразных тем, что кинетическая энергия потока меньше по сравнению с аналогичным потоком жидкообразной системы, т.е. число Рейнольдса, имеет небольшую величину. Это обусловлено высокой вязкостью и наличием предельного напряжения сдвига.

При транспортировании застывающих вязкопластических масс существенное значение имеет температурный режим. Температура стенки трубы или самой жидкости должна быть на 10-20 °С выше точки плавления во избежание застывания жидкости или коркообразования на внутренней поверхности трубы.

Твердообразные, вязкопластические массы имеют структурный режим движения, при котором скорость движения в тонком слое около стенки (градиентный слой) резко возрастает, в следующем, промежуточном, слое увеличивается незначительно, а центральная часть потока (ядро) движется, испытывая незначительные деформации за счет ползучести или пластичности продукта. Движение «степенных» жидкостей аналогично, но в ядре потока в зависимости от индекса течения в большей или меньшей мере существует градиент скорости.

В природе имеется много материалов, которые не подчиняются закону Ньютона: вязкость их при заданных температуре и давлении не остается постоянной, а зависит от скорости деформации, от предыстории материала – поэтому зависимость напряжения от скорости сдвига имеет нелинейный характер. Такие материалы относятся к неньютоновским.

Расчет кинематических и динамических параметров движения продукта, мощности электродвигателя, конструктивных размеров машины по условиям прочности основывается на величине численных значений свойств продукта. Изучение движения модельного материала, обладающего одинаковыми с натурным важнейшими свойствами, дает возможность получить расчетные зависимости, пригодные для натуральных материалов. Одновременно работа с модельным материалом существенно повышает надежность результатов, так как он по сравнению с натурным хорошо воспроизводит свойства.

Применение метода моделирования рассмотрено нами на примере движения по трубам обводненного фарша. Полученные результаты можно обобщить для различных материалов, если эпюры их скоростей и деформаций подобны. Учет реологических свойств при этом будет верным, если поле скоростей при их исследовании в приборе подобно полю скоростей в аппаратах, в расчете которых учитываются реологические свойства. Полное подобие для рассматриваемых случаев установлено экспериментально.

При расчете транспортирующих устройств необходимо знать плотность перерабатываемой массы. Поскольку в процессе переработки происходит уплотнение продукта, нужно учитывать не только абсолютное значение плотности при атмосферном давлении, но также и ее изменение в зависимости от давления.

Таким образом, модельные объекты в динамике достаточно точно воспроизводят наиболее существенные черты реальных объектов и позволяют установить не только качественные, но и количественные соотношения между натурными и модельными системами.

Диаметр трубопровода и скорость движения потока определяются технологией изготовления и транспортирующих устройств.

Обработка методом анализа размерностей, когда их носителями приняты вместо динамического фактора предельное напряжение сдвига, кинематического – средняя скорость движения, геометрического – внутренний диаметр трубы, позволяет составить критериальное уравнение динамики движения вязкопластических масс.

При переработке пищевых материалов в различных отраслях пищевой промышленности, таких как рыбная, молочная, хлебопекарная, кондитерская и макаронная в качестве межоперационного транспорта применяется трубопроводный транспорт.

Производительность трубопровода может быть определена, кг/с:

$$П = f(m, \tau, V, d, l, \omega, \rho, \nu, \mu, t, c_p, \dots)$$

где m – масса фарша, кг; τ – время прохождения, с; V – объемный расход, м³/с; d – диаметр трубопровода, м; l – длина трубопровода, м; ω – скорость движения масс, м/с; ρ – плотность, кг/м³; ν – кинематическая вязкость, м²/с; μ – динамическая вязкость, Па·с; t – температура, °С; c_p – теплоемкость продукта, кДж/(кг·°С).

Нами разработан лабораторный экспериментальный стенд, моделирующий транспортирование вязкопластических масс по магистральным трубопроводам, который позволяет рассчитать скорость продвижения фарша с разной плотностью.

Объектами исследования являлись фарш рыбный, мясной. В образцы фарша добавлялась вода от 10 до 20 % (т.е. получали разную плотность).

Список литературы

1. Проскура Д.Ю., Дерябин А.А., Угрюмова С.Д. Особенности теплового и вибрационного воздействия при обработке вязких сред // Инновационные и современные технологии пищевых производств: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2013.
2. Дерябин А.А., Проскура Д.Ю., Угрюмова С.Д. Особенности перемещения вязких сред с использованием виброподогревателей. – Владивосток: ТОВМИ, 2013.
3. Дерябин А.А., Проскура Д.Ю., Угрюмова С.Д. Методика экспериментального исследования влияния геометрических и динамических параметров на скорость продвижения вязкой среды: материалы конф. магистрантов и молодых ученых. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2013.
4. Косой В.Д. Инженерная реология биотехнологических сред: учеб. пособие / В.Д. Косой, Я.И. Виноградов, А.Д. Малышев. – СПб.: Гиорд, 2005. – 648 с.
5. Мачихин Ю.А., Мачихин С.А. Инженерная реология пищевых материалов. – М.: Легк. и пищ. пром-сть, 1981. – 216 с.

Сведения об авторах: Дерябин Андрей Анатольевич, старший преподаватель,

e-mail: reolog@mail.ru;

Проскура Дмитрий Юрьевич, старший преподаватель,

e-mail: dim.proscura@mail.ru;

Угрюмова Светлана Дмитриевна, доктор технических наук, профессор.