

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ РАСПЛАВЛЕННОГО ПЧЕЛИНОГО ВОСКА

Лузгин Н.Е., Утолин В.В., Коченов В.В., Чекайкин С.В.

Переработка различных пищевых материалов сопровождается сложными физико-химическими, биологическими и механическими процессами, детальное изучение которых позволяет организовать объективный контроль и управление технологическим циклом производства. Особенности протекания этих процессов, конструктивные параметры рабочих органов соответствующих машин и аппаратов, а также качество получаемых продуктов питания в значительной степени зависят от реологических свойств перерабатываемых материалов. Основными процессами, в которых следует наиболее полно учитывать реологические свойства перерабатываемых материалов, являются формование, перемешивание и транспортирование. При изучении указанных процессов устанавливается взаимосвязь между реологическими характеристиками материала и технологическими параметрами его переработки. Одним из наиболее значимых свойств вязких сред является вязкость. В статье рассмотрено явление вязкости физических сред и приведены оригинальные результаты опытов по определению динамической вязкости расплавленного пчелиного воска. Воск – продукт, вырабатываемый восковыми железами пчел. При комнатной температуре он представляет собой твердое, мелкозернистое в изломе вещество, окраска которого колеблется от почти бесцветной до темно-желтой, светло-коричневой и коричневой. Однако данное вещество с увеличением температуры в среднем для разных сортов свыше 62–64 °С имеет свойство менять агрегатное состояние с твердого на жидкое. В настоящее время в справочных материалах можно найти значение динамической вязкости пчелиного воска в твердом состоянии, однако отсутствуют точные численные значения данного показателя в физических величинах для жидкого агрегатного состояния воска. Вопрос зависимости динамической вязкости расплавленного воска от температуры остается малоизученным и требует проведения дальнейших исследований. Данные численные значения имеют практическую ценность при расчетах и конструировании машин и механизмов, взаимодействующих с вязкой восковой средой.

Ключевые слова: воск, вязкость, температура, вискозиметр, реологические свойства.

Введение

Вязкость – свойство жидкостей противостоять силе, которая вызывает их текучесть. Вязкость подразделяют на два типа – динамическую и кинематическую. В отличие от кинематической вязкости, динамическая или абсолютная вязкость – независима от плотности жидкости, так как она определяет внутреннее трение в жидкости. Абсолютная вязкость часто связана с напряжением сдвига, то есть напряжением, которое вызвано силой, действующей параллельно поперечному сечению тела, или, в нашем случае, жидкости. Для примера, представим жидкость настолько вязкую, что на протяжении нескольких минут она может держать форму, например куба, практически без изменений. Это может быть, например, густое фруктовое повидло. Положим этот куб на тарелку, и проведем по его верхней стороне рукой параллельно этой стороне. Сила, с которой рука действует на повидло, вызывает напряжение сдвига. Так как повидло очень вязкое, то оно потянется за рукой и куб изменит свою

форму. То есть вязкость – это свойство повидла не растекаться, а, наоборот, следовать движению руки.

В основном вязкость – это свойство жидкостей и газов, хотя иногда твердые тела также описывают с помощью вязкости. Особенно это свойство присуще телам, если они подвергаются малому, но постоянному напряжению, и их форма постепенно искажается. Высокая вязкость вещества характеризуется высоким сопротивлением напряжению сдвига.

Когда говорят о вязкости вещества, то обязательно указывают температуру, при которой тело имеет данный показатель, так как он зависит от температуры. Например, гораздо легче размешать теплый мед, чем холодный, так как он менее вязок. То же происходит и со многими маслами. К примеру, оливковое масло при комнатной температуре совсем не вязкое, но в холодильнике его вязкость заметно увеличивается. С вязкостью воска связана и эффективность его отделения от воскового сырья. Так, при повышении температуры от 70 до 100 °С такое отделение ускоряется в 3–4 раза. Поэтому переработку воскового сырья в воскотопках необ-

ходимо проводить при температуре теплоносителя, близкой к 100 °С.

Говоря о вязкости, различают два типа жидкостей: ньютоновские и неньютоновские. Вязкость первых не зависит от силы, на них действующей. Со вторыми дело обстоит сложнее, так как в зависимости от величины этой силы и от того, как она приложена, они становятся более или менее вязкими. Хороший пример неньютоновской жидкости – сливки. В обычных условиях они имеют низкую вязкость, которая не изменяется, даже если приложить к ним небольшую силу, например, медленно мешать их ложкой. Однако с увеличением этой силы, например при перемешивании их миксером, вязкость начнет постепенно увеличиваться, пока не станет настолько велика, что сливки смогут держать форму (взбитые сливки). Также ведут себя и сырые яичные белки. Какое же применение может иметь вязкость жидкостей в сельском хозяйстве? Рассмотрим на примере отрасли пчеловодства.

Постановка проблемы

В пчеловодстве по сей день складывается такая ситуация, что производственные процессы выполняются большей частью вручную, либо с применением простейших приспособлений. Это одна из самых низкомеханизированных отраслей сельского хозяйства, развитие ее остановилось на уровне середины 20 века. При этом нельзя не отметить, что

попытки улучшить ситуацию не предпринимались и не предпринимаются.

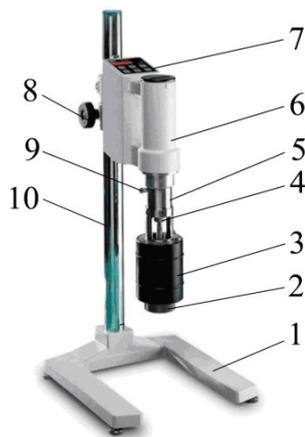
Так, в НИИ Пчеловодства (г. Рыбное Рязанской области) функционировал отдел механизации. В настоящее время в Рязанском ГАТУ имеется авторский коллектив, объединенный той же идеей – облегчить труд пчеловода и повысить эффективность отрасли. На данный момент разработаны конструкции машин, устройств и механизмов для механизации процессов вытопки воска, извлечения перги из сотов, сушки пыльцы и перги, очистки и прессования прополиса, приготовления капсулированных тестообразных подкормок для пчел.

В процессе разработки, теоретического исследования, проведения конструкторских расчетов машин для извлечения воска из воскового сырья, устройств для нанесения защитных оболочек на пищевые продукты и подкормки для пчел, большую роль играет такой показатель, как вязкость пчелиного воска. При работе машин подобного рода воск в них находится в жидком агрегатном состоянии. От изменения вязкости воска в зависимости от температуры во многом зависят технологические режимы работы машин, материалы для их изготовления, требования к условиям внешней окружающей среды.

В твердом агрегатном состоянии при температуре до 15–20 °С воск – хрупкое, упруго-пластичное тело. При дальнейшем повышении температуры его упругость снижается, а пластичность увеличи-



а)



б)

Рис. 1. Установка (а) для исследования реологических характеристик пищевых сред с компьютером, принтером, циркуляционным охлаждающим термостатом SC100-A10 и вискозиметром «Вискотестер VT 550» (б).

1 – основание штатива; 2 – крепежная гайка измерительных систем; 3 – термостатирующая рубашка; 4 – резьбовая муфта соединения ротора измерительной системы с измерительным валом привода; 5 – фланцевое устройство для крепления термостатирующей рубашки; 6 – привод; 7 – панель ручного управления прибором с клавиатурой; 8 – устройство подъема и опускания привода с измерительной системой; 9 – винт фиксации фланцевого устройства; 10 – вертикальная штанга.

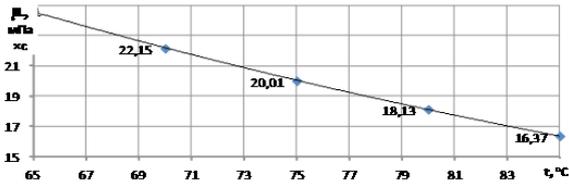


Рис. 2. Графическая зависимость динамической вязкости пчелиного воска μ от температуры t его нагрева

ваеся, особенно при температуре выше 35–38 °С. При температуре на 7 ± 2 °С ниже точки застывания начинается размягчение воска. Примерно в точке его застывания размягчение переходит в плавление. При размягчении и плавлении проявляются структурно вязкие свойства воска. При температуре на $1,5 \pm 1$ °С выше максимальной температуры плавления воск ведет себя как истинно вязкая (ньютоновская) жидкость. Динамическая вязкость здесь является константой воска, зависящей только от температуры. В расплавленном состоянии воск, как и многие жидкости, состоит из неупорядоченных в пространстве молекул. В интервале застывания начинает формироваться определенная пространственная его структура. При этом в твердое состояние переходят сначала высокоплавкие компоненты воска, а затем низкоплавкие. Кроме того, его высокомолекулярные компоненты в твердом состоянии не являются типично кристаллическими в отличие от низкомолекулярных. Поэтому вскоре после застывания из расплавленного состояния воск характеризуется своеобразной структурой, промежуточной между кристаллической и аморфной. Вязкость размягченного, а тем более твердого воска сильно возрастает, отчего кристаллизация компонентов и упорядочение его структуры замедляются. Тем не менее, указанные процессы совершаются, причем скорость их зависит от температуры воска и содержания загрязняющих примесей [1].

Цель и задачи исследования

При разработке конструкций машин для механизации пчеловодства, обоснования выбора материалов для изготовления узлов и механизмов этих машин, требуется знание свойств материалов – физико-механических, реологических, теплофизических, адгезионных и т.д. Однако не все свойства в полной мере изучены. В частности, при разработке новой конструкции агрегата для вытопки воска [2,3], а так же установки для нанесения защитного покрытия на тестообразные подкормки для пчел [4,5,6,7,8,9] возникла необходимость более тщательного изучения динамической вязкости такого материала, как пчелиный воск. При работе подобных машин важно учитывать изменение вязкости пчелиного воска от температуры, так как это влияет на конструктивно-технологические параметры, ка-

чественные и количественные показатели готовой продукции.

Для достижения поставленной цели необходимо провести исследования по определению численных значений динамической вязкости расплавленного пчелиного воска при изменении его температуры. Исследования проводились в научной лаборатории Института механики и энергетики Национального исследовательского Мордовского Государственного Университета имени Н.П. Огарева.

Объекты и методы исследований

Для экспериментов был использован воск из различных районов Рязанской области [10].

Испытания проводились на ротационном вискозиметре «Вискотестер VT 550» (фирма HAAKE, Германия) (рис. 1). Он предназначен для исследования реологических характеристик полимеров и сложных пищевых (биологических) сред (гели, эмульсии, суспензии и дисперсии).

Принцип действия вискозиметра заключается в следующем. Измеряемое вещество (воск) находится в зазоре измерительной системы. Ротор вращается с постоянной заранее определенной скоростью, и измеряемая жидкость вследствие присущей ей вязкости оказывает сопротивление вращению. Измеряется крутящий момент сопротивления вращению ротора. Встроенный микропроцессор на основе регистрируемых значений скорости вращения, крутящего момента и известной геометрии измерительной системы (системный фактор) рассчитывает вязкость в мПа·с, скорость сдвига в с⁻¹ и касательное напряжение в Па. При подключенном термометре сопротивление измеряется также температура в °С. Результаты выводятся на табло VT550 и через последовательный интерфейс RS232 на ПЭВМ.

Исходя из характеристик прибора и методики исследований длительность каждого измерения составляла 1800 с, скорость сдвига 1000 с⁻¹, количество измерительных точек – 100, температуру среды меняли от 65 °С до 85 °С с шагом в 5 °С.

Измерения вязкости воска в диапазоне температур от 65 до 85 °С производили из следующих соображений. Нижний предел 65 °С обусловлен условием нахождения воска в расплавленном состоянии, т.е. чуть выше температуры плавления 62...64 °С. Нагрев воска свыше 85 °С производить нецелесообразно, так как из него начинают сильно испаряться легкие соединения, при этом он меняет цвет на более темный [11]. В воскотопках же нагрев производят и до более высоких температур, однако речь идет не о температуре нагрева воска, а о температуре теплоносителя (как правило, водяного пара).

Результаты и их обсуждение

В результате лабораторных испытаний была

Таблица 1 – Значения вязкости пчелиного воска в диапазоне температур 65-85 °С

Температура воска, °С	Динамическая вязкость воска, мПа·с
65	24,61
70	22,15
75	20,01
80	18,13
85	16,37

получена графическая зависимость динамической вязкости пчелиного воска от температуры его нагрева. Анализируя графическую зависимость можно сделать вывод, что при повышении температуры

от 65 до 85°С вязкость воска уменьшается с 25,61 до 16,37 мПа·с.

Для более удобного практического применения полученных результатов приведем значения вязкости пчелиного воска в диапазоне температур 65–85°С в табличном виде (таблица 1).

Выводы

При увеличении температуры пчелиного воска от 65 до 85°С значение его динамической вязкости снижается с 25,61 до 16,37 мПа·с. Минимальное значение динамической вязкости пчелиного воска достигается при температуре 85°С и составляет 16,37 мПа·с.

Список литературы

- [1] Чудаков В. Г. Технология продуктов пчеловодства. М.: Колос, 1979.
- [2] Некрашевич В. Ф., Торженнова Т. В., Лузгин Н. Е., Нагаев Н. Б., Грунин Н. А. Исследование процесса вытопки воска // Пчеловодство. 2014. № 3. С. 50–51.
- [3] Некрашевич В. Ф., Лузгин Н. Е., Нагаев Н. Б. Агрегат для вытопки воска / Научные приоритеты в АПК: инновационные достижения, проблемы, перспективы развития: материалы международной научно-практической конференции. Рязань, 2013. С. 554–557.
- [4] Патент на изобретение RUS2174748 С1. Способ нанесения защитного покрытия на подкормку для пчел и устройство для его осуществления / Некрашевич В. Ф., Бронников В. И., Лузгин Н. Е., Корнилов С. В. // 20.10.2001.
- [5] Патент на изобретение RUS2265327 С2. Линия приготовления подкормки для пчел / Некрашевич В. Ф., Лузгин Н. Е., Панфилов И. А. // Бюл. № 34, 10.12.2005.
- [6] Патент на изобретение RUS2363239 С1. Способ нанесения защитного покрытия на подкормку для пчел / Некрашевич В. Ф., Лузгин Н. Е., Корнилов С. В., Чагин М. И. // Бюл. № 22, 10.08.2009.
- [7] Утолин В. В., Лузгин Н. Е., Лузгина Е. С. Способы и средства механизации приготовления тестообразных подкормок для пчел и их компонентов. // Современные энерго- и ресурсосберегающие экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства: Материалы научных чтений «Современные энерго- и ресурсосберегающие экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства», посвященных памяти члена-корреспондента РАСХН и НАНКСР, академика МАЭП и РАВН Якова Васильевича Бочкарева. Рязань: Издательство ФГБОУ ВО РГАТУ, 2016. С. 233–237.
- [8] Анализ способов подкормки пчел / С. В. Корнилов, Н. Е. Лузгин, Н. А. Грунин, А. Е. Исаев // Актуальные проблемы агроинженерии и их инновационные решения: Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции, посвященной юбилею специальных кафедр инженерного факультета (60 лет кафедрам «Эксплуатация машинно-тракторного парка», «Технология металлов и ремонт машин», «Сельскохозяйственные, дорожные и специальные машины, 50 лет кафедре «Механизация животноводства»). Рязань, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева, 2013.– С. 153–157.
- [9] Патент на изобретение RUS2557431 С1. Способ получения подкормки для пчел / Некрашевич В. Ф., Лузгин Н. Е., Грунин Н. А., Липин В. Д., Нагаев Н. Б., Исаев А. Е. // Бюл. № 20, 20.07.2015.
- [10] ГОСТ 21179–2000 Воск пчелиный. Технические условия.
- [11] Лузгин Н. Е. Технология и агрегат для капсулирования подкормок пчелам: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Рязань, 2004.

RESEARCH OF DYNAMIC VISCOSITY OF THE MOLTEN BEESWAX

Luzgin N.E., Utolin V.V., Kochenov V.V., Chekaykin S.V.

Processing of various food materials is accompanied by complex physical and chemical, biological and mechanical processes, a detailed study of which allows you to organize an objective monitoring and control of production cycle. Features of these processes, the design

parameters of the working bodies of the machines and devices, as well as the quality of the food is largely dependent on the rheological properties of recyclable materials. The main processes in which the rheological properties of recycled materials should be more fully taken into account are shaping, mixing and transportation. In the study of these processes is established the relationship between the rheological properties of the material and technological parameters of its processing. One of the most important properties of viscous fluids is viscosity. The article deals with the phenomenon of viscosity physical environments and provides original results of experiments to determine the dynamic viscosity of molten beeswax. Wax - a product produced by bees wax glands. At room temperature it is a solid, fine-grained material in the fracture, the color of which varies from nearly colorless to dark yellow, light brown and brown. However, the substance is the temperature increases on average for the different grades of over 62-64oS has the ability to change the aggregate state from solid to liquid. Currently, the reference material can be found the value of dynamic viscosity of beeswax in the solid state, but there are no exact numerical value of this indicator in physical quantities for the liquid state of aggregation of the wax. Q dependence of the dynamic viscosity of the molten wax temperature remains little known and requires further research. These numerical values are of practical value in the calculation and design of machines and mechanisms, interacting with a viscous wax medium.

Keywords: wax, viscosity, temperature, viscometer, rheological properties.

References

- [1] Chudakov V.G. Tekhnologiya produktov pchelovodstva. M.: Kolos, 1979.
- [2] Nekrashevich V.F., Torzhenova T.V., Luzgin N.E., Nagaev N.B., Grunin N.A. Issledovanie protsessa vytopki voska // Pchelovodstvo. 2014. № 3. P. 50–51.
- [3] Nekrashevich V.F., Luzgin N.E., Nagaev N.B. Agregat dlya vytopki voska / Nauchnye priority v APK: innovatsionnye dostizheniya, problemy, perspektivy razvitiya: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Ryazan', 2013. P. 554–557.
- [4] Patent na izobretenie RUS2174748 S1. Sposob naneseniya zashchitnogo pokrytiya na podkormku dlya pchel i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya / Nekrashevich V.F., Bronnikov V.I., Luzgin N.E., Kornilov S.V. // 20.10.2001.
- [5] Patent na izobretenie RUS2265327 S2. Liniya prigotovleniya podkormki dlya pchel / Nekrashevich V.F., Luzgin N.E., Panfilov I.A. // Byul. № 34, 10.12.2005.
- [6] Patent na izobretenie RUS2363239 S1. Sposob naneseniya zashchitnogo pokrytiya na podkormku dlya pchel / Nekrashevich V.F., Luzgin N.E., Kornilov S.V., Chagin M.I. // Byul. № 22, 10.08.2009.
- [7] Utolin V.V., Luzgin N.E., Luzgina E.S. Sposoby i sredstva mekhanizatsii prigotovleniya testoobraznykh podkormok dlya pchel i ikh komponentov. // Sovremennye energo- i resursosberegayushchie ekologicheski ustoychivye tekhnologii i sistemy sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva: Materialy nauchnykh chtenii «Sovremennye energo- i resursosberegayushchie ekologicheski ustoychivye tekhnologii i sistemy sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva», posvyashchennykh pamyati chlena-korrespondenta RASKhN i NANKR, akademika MAEP i RAVN Yakova Vasil'evicha Bochkareva. Ryazan': Izdatel'stvo FGBOU VO RGATU, 2016. P. 233–237.
- [8] Analiz sposobov podkormki pchel / S.V. Kornilov, N.E. Luzgin, N.A. Grunin, A.E. Isaev // Aktual'nye problemy agroinzhenerii i ikh innovatsionnye resheniya: Sbornik nauchnykh trudov po materialam mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi yubileyu spetsial'nykh kafedr inzhenernogo fakul'teta (60 let kafedram «Ekspluatatsiya mashinno-traktornogo parka», «Tekhnologiya metallov i remont mashin», «Sel'skokhozyaistvennyye, dorozhnye i spetsial'nye mashiny, 50 let kafedre «Mekhanizatsiya zhivotnovodstva»). Ryazan', Ryazanskii gosudarstvennyi agrotekhnologicheskii universitet imeni P.A. Kostycheva, 2013.– P. 153–157.
- [9] Patent na izobretenie RUS2557431 S1. Sposob polucheniya podkormki dlya pchel / Nekrashevich V.F., Luzgin N.E., Grunin N.A., Lipin V.D., Nagaev N.B., Isaev A.E. // Byul. № 20, 20.07.2015.
- [10] GOST 21179–2000 Vosk pchelinyi. Tekhnicheskie usloviya.
- [11] Luzgin N.E. Tekhnologiya i agregat dlya kapsulirovaniya podkormok pchelam: avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Ryazan', 2004.