

## Опыт использования влагомера в исследованиях кинетики сушки жидкого лигносульфоната

*А.Н. Пахомов, С.В. Васенина, И.А. Бирюкова, Е.Ю. Комбарова,  
И.Г. Позднышева*

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов*

**Аннотация:** В статье рассмотрены основные проблемы получения экспериментальных данных по сушке жидких дисперсных продуктов. Показаны основные сложности применения влагомера к получению кинетических кривых сушки трудносохнущих жидких материалов. На примере лигносульфоната получены кривые сушки проб жидкого продукта в различных условиях. Показано, что применение предлагаемой методики проведения эксперимента на влагомере, не приводит к досрочному завершению операции анализа процесса сушки.

**Ключевые слова:** кинетика, влагомер, сушка, влага, растворитель, испарение, лигносульфонат.

Получение экспериментальных данных по сушке жидких дисперсных продуктов, как правило, связано с рядом трудностей, которые обусловлены широким диапазоном теплофизических свойств высушиваемого продукта, способов теплоподвода и режимов сушки [1, 2]. Особый интерес вызывает необходимость получения кривых убыли веса и термограмм при сушке жидких дисперсных продуктов с использованием стандартных методик и приборов [3]. В частности, применение анализатора влажности обусловлено необходимостью быстрого и надёжного (в промышленных условиях) определения содержания влаги в жидких материалах, тестообразных и твёрдых веществах методом термогравиметрии [4, 5].

Однако применение влагомеров в исследованиях кинетики сушки, сопряжено, как правило, с определенными проблемами, которые, в стандартных условиях, не позволяют получить адекватные экспериментальные данные [6, 7]. Одной из проблем определения влажности материалов во влагомерах является присутствие в составе анализируемого продукта определенных летучих компонентов, которые выделяются при нагревании пробы, приводя к уменьшению его веса [8]. В случае применения

---

влажмера для получения кинетических кривых сушки высоковязких продуктов, которые очень медленно теряют свою влагу (например, жидкий лигносульфонат [9]), при анализе проб или при работе с холодными пробами, использование влажмера в автоматическом режиме, приводит к досрочному завершению операции сушки, т.к. прибор в стандартных условиях не обнаруживает какого-либо развития процесса [10]. В этом случае приходится прибегать к определенным искусственным способам работы с прибором [11].

Для проведения исследований кинетики сушки жидкого лигносульфоната (марки НФМ Экстра МА) нами использовался влажмер (влажмер) термогравиметрический инфракрасный [7].

Было предложено выделить следующие этапы исследования:

- 1) Сушка исходного продукта массой 0,73 г в течение 15 минут;
- 2) Сушка исходного продукта массой 0,765 г в течение 30 минут;
- 3) Сушка исходного продукта массой 1,023 г до полного испарения влаги.

Эксперимент по сушке жидкого лигносульфоната проводился при температуре 100°C с массовой долей сухого вещества 60,5%. Влажмер выводили на режимы сушки в течение 15 минут, 30 минут и до полного испарения влаги из материала. Замеры процентного содержания влаги, уходящей из материала, проводились с интервалом в одну минуту.

Для того чтобы исключить досрочное завершение операции анализа процесса сушки, связанного с тем, что прибор в стандартных условиях не обнаруживает какого-либо развития процесса в заданных условиях на заданном продукте, нами применялась следующая последовательность действий:

1. исходный продукт нагревался до температуры 20 °С
  2. влажмер предварительно прогревался в течение 2 - 3 минут до запуска анализатора процесса сушки.
-

Результаты первого этапа эксперимента (сушка в течение 15 минут) приведены на рис. 1.

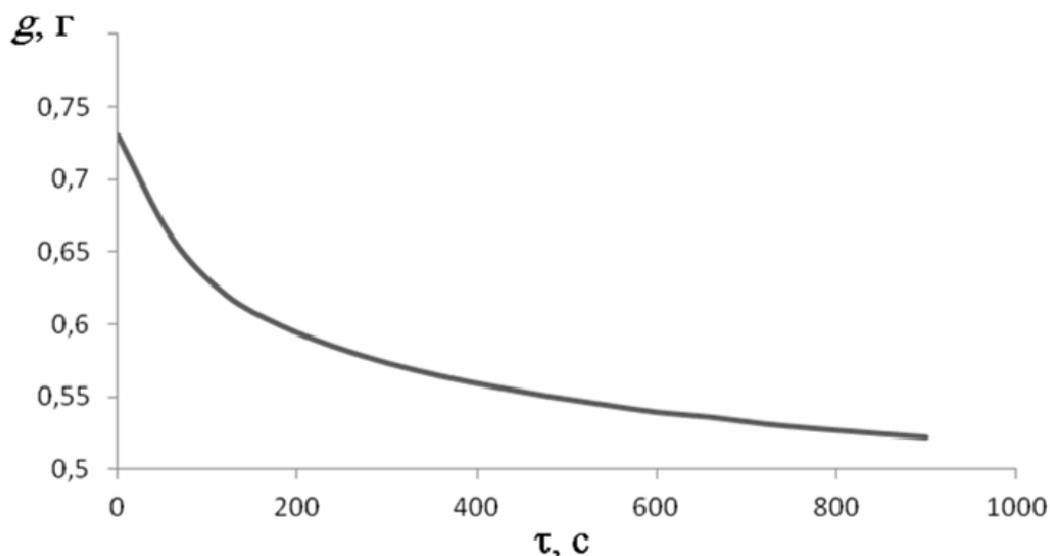


Рис. 1 Кривая сушки пробы жидкого лигносульфоната на первом этапе

После прогрева материала следует первый период сушки. В первом периоде сушки наблюдается испарение влаги с поверхности материала при постоянной скорости. Первый период продолжается с 60 с до 180 с. Масса исходного продукта при этом изменилась на 0,13 г, что составляет 17,86%.

Во втором периоде сушки наблюдается уменьшение скорости испарения влаги из материала. Второй период начинается со 180 с, при этом масса высушиваемого материала составляет 0,585 г. Так как сушка лигносульфоната проводилась в течение 15 минут, нельзя с точностью сказать, что продукт был полностью высушен. Однако конечные результаты эксперимента показывают, что изменения массы продукта практически не происходит, начиная с 780 с эксперимента. Масса исходного продукта с начала второго периода изменилась с 0,585 г до 0,522 г, что составляет 10,59%.

Результаты второго этапа эксперимента (сушка в течение 30 минут) приведены на рис. 2.

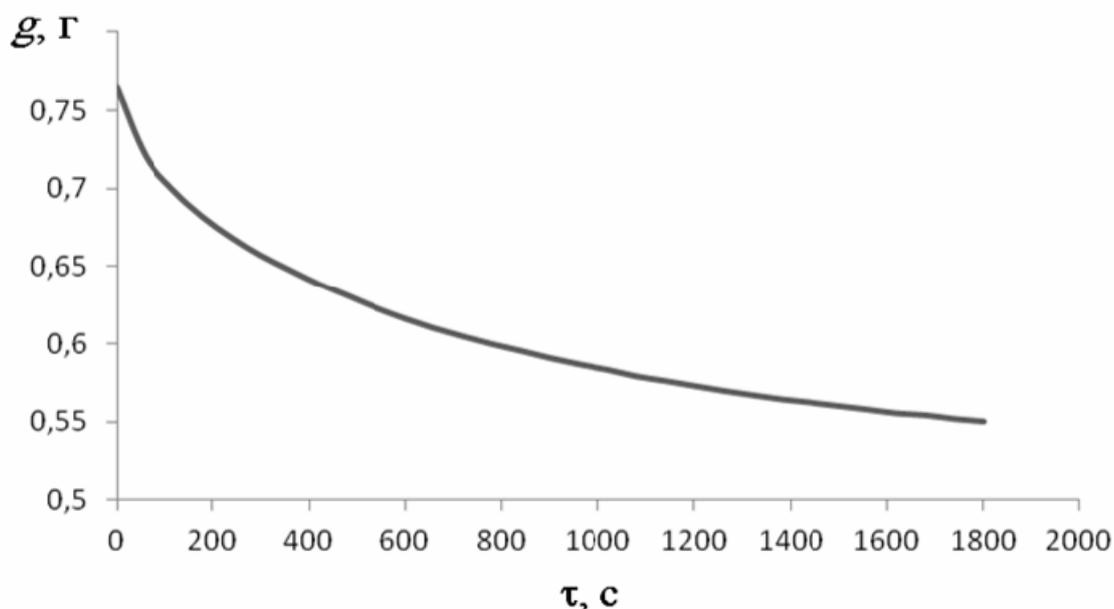


Рис. 2. Кривая сушки пробы жидкого лигносульфоната на втором этапе

После прогрева материала следует первый период сушки, в котором происходит испарение влаги с поверхности материала при постоянной скорости. Первый период продолжается с 60 с до 300 с. Масса исходного продукта при этом изменилась на 0,11 г, что составляет 14,10%.

Во втором периоде сушки наблюдается уменьшение скорости испарения влаги из материала. Второй период начинается с 300 с, при этом масса высушиваемого материала составляет 0,657 г. Так как сушка лигносульфоната проводилась в течение 30 минут, также нельзя с точностью сказать, что продукт был полностью высушен. Однако конечные результаты эксперимента показывают, что изменения массы продукта практически не происходит с 1200 с эксперимента. Масса исходного продукта с начала второго периода изменилась с 0,657 г до 0,550 г, что составляет 13,95%.

Результаты третьего этапа эксперимента (сушка до полного испарения влаги) приведены на рис. 3.

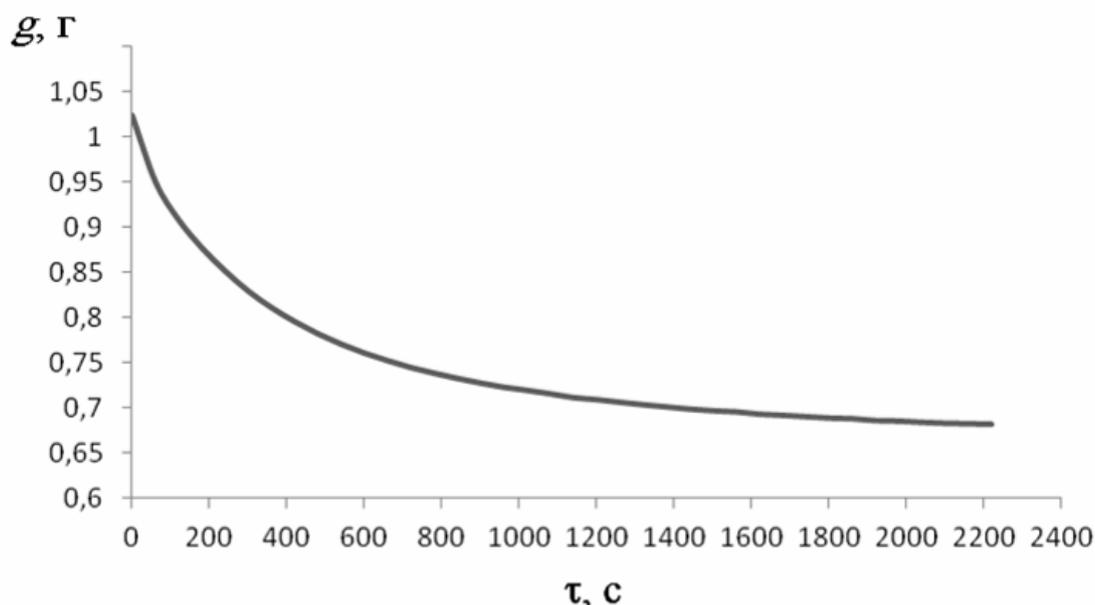


Рис. 3. Кривая сушки пробы жидкого лигносульфоната на третьем этапе

После прогрева материала следует первый период сушки, в котором происходит испарение влаги с поверхности материала при постоянной скорости сушки. Первый период продолжается в течение 480 с. Масса пробы исходного продукта при этом изменилась на 0,228 г, что составляет 23,56%.

Во втором периоде сушки наблюдается уменьшение скорости испарения влаги из материала. Второй период начинается с 540 с, при этом масса высушиваемого материала составляет 0,771 г. В данном эксперименте влага была полностью удалена из материала. Масса исходного продукта с начала второго периода изменилась с 0,771 г до 0,682 г, что составляет 9,77%.

Как показывают результаты проведенных исследований, применение предлагаемой последовательности действий перед проведением процесса сушки жидкого продукта на влагомере, не приводит к досрочному завершению операции анализа процесса сушки, связанного с тем, что прибор

в стандартных условиях не обнаруживает какого-либо развития процесса в заданных условиях на заданном продукте.

### Литература

1. Пахомов, А.Н., Васенина С.В., Бирюкова И.А., Комбарова Е.Ю., Позднышева И.Г. Некоторые проблемы моделирования процессов сушки от органических растворителей // Инженерный вестник Дона, 2017, № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4486](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4486)
2. Пахомов, А.Н., Пахомова Ю.В. Сушка капель жидких дисперсных продуктов. – М.: Издательство «Перо», 2013. – 122с.
3. Гатапова, Н.Ц., Коновалов В.И., Шикунов А.Н., Пахомов А.Н., Козлов Д.В. Теплофизические и кинетические особенности сушки дисперсий и кристаллообразующих растворов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2003. Т. 9. № 2. С. 210-229.
4. Коновалов, В.И., Кудра Т., Пахомов А.Н., Орлов А.Ю. Современные аналитические подходы к энергосбережению, интегрированный подход. Пинч-анализ, луковичная модель // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2008. Т. 14. № 3. С. 560-578.
5. Богомягких, В.А., Климович А.Л., Ляшенко А.С. К определению условного диаметра реальной частицы дискретного сыпучего тела // Инженерный вестник Дона, 2014, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2468](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2468)
6. Савушкин, А.В., Лекомцев П.Л., Дресвянникова Е.В., Ниязов А.М. Электроаэрозольное увлажнение воздуха. Особенности подбора параметров работы генератора / А.В. Савушкин, // Инженерный вестник Дона, 2012, № 2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/857](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/857)
7. Пахомов, А.Н., Васенина С.В., Бирюкова И.А., Комбарова Е.Ю., Позднышева И.Г. Некоторые кинетические особенности сушки жидких

дисперсных продуктов на твердых подложках // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 11-4 (65). С. 63-66.

8. Pakhomov A.N., Banin R.Y., Chernikh E.A., Loviagina E.Y., Sorokina N.S. Method of determination of adhesion of the film dries distillery grains on the substrate // Applied and Fundamental Studies: Proceedings of the 5th International Academic Conference. - St. Louis, USA: Publishing House Science and Innovation Center, 2014. - pp. 71-72.

9. Pakhomova Yu.V., Mamedova M.A., Krivopalova D.A., Kochetov V.V. Product supply and monitoring of fluidized bed/ Yu.V. Pakhomova, // European Applied Sciences: challenges and solutions 2nd International Scientific Conference. Stuttgart, Germany, 2015. - pp. 121-122.

10. Pakhomova Yu.V., Sirotkin A., Skripnikova S., Zagrebnev R. Modeling the kinetics of drying of liquids on the substrate // Science and practice: a new level of integration in the modern world. Sheffield, UK, 2016. - pp. 168-169

11. Pakhomova Yu., Biryukova I., Vasenina S., Kombarova H., Pozdnisheva I. To calculate the shape of a drop lying on a horizontal surface / Science and practice: a new level of integration in the modern world. Sheffield, UK, 2016. - pp. 170-171.

### References

1. Pahomov, A.N., Vasenina S.V., Birjukova I.A., Kombarova E.Ju., Pozdnysheva I.G. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, № 4(47), URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4486](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4486)

2. Pahomov, A.N., Pahomova Ju.V. Sushka kapel' zhidkikh dispersnykh produktov [Drying drops of liquid dispersed products]. M.: Izdatel'stvo «Pero», 2013. 122p.



3. Gatapova, N.C., Konovalov V.I., Shikunov A.N., Pahomov A.N., Kozlov D.V. Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2003. V. 9, №2. pp. 210 – 229.

4. Konovalov, V.I., Kudra T., Pahomov A.N., Orlov A.Ju. Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2008. V. 14, №3. pp.560 – 578.

5. Bogomyagkikh V.A., Klimovich A.L., Lyashenko A.S. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №3, URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2468](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2468)

6. Savushkin A.V., Lekomtsev P.L., Dresvyannikova E.V., Niyazov A.M. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, № 2, URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/857](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/857)

7. Pahomov, A.N., Vasenina S.V., Birjukova I.A., Kombarova E.Ju., Pozdnysheva I.G. Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2017. V. 1-4 (65). pp. 63-66.

8. Pakhomov A.N., Banin R.Y., Chernikh E.A., Loviagina E.Y., Sorokina N.S Applied and Fundamental Studies: Proceedings of the 5th International Academic Conference. St. Louis, USA: Publishing House Science and Innovation Center, 2014. pp. 71-72.

9. Pakhomova Yu.V., Mamedova M.A., Krivopalova D.A., Kochetov V.V. European Applied Sciences: challenges and solutions. 2nd International Scientific Conference. Stuttgart, Germany, 2015. pp. 121-122.

10. Pakhomova Yu.V., Sirotkin A., Skripnikova S., Zagrebnev R. Science and practice: a new level of integration in the modern world. Sheffield, UK, 2016. - pp. 168-169

11. Pakhomova Yu., Biryukova I., Vasenina S., Kombarova H., Pozdnisheva I. Science and practice: a new level of integration in the modern world. Sheffield, UK, 2016. - pp. 170-171.

---

