

*Н.Ц. Гапанова, Д.В. Козлов, А.Н. Колиух,
А.Н. Пахомов, А.А. Фролов**

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПСИХРО-ЭВАПОРОМЕТР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССОВ СУШКИ И ИСПАРЕНИЯ РАСТВОРИТЕЛЕЙ*

Универсальный психро-эвапорометр (ПЭП), созданный на кафедре «Химическая инженерия» ТГТУ [1], предназначен для измерения скорости испарения и температуры испарения растворителей в широком диапазоне изменения температур и скоростей различных обдувающих сушильных агентов в процессах конвективной сушки.

Абсолютная скорость испарения [например, в $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$], а также легко вычисляемая отсюда относительная скорость испарения растворителей (относительная летучесть) является одной из основных технологических характеристик растворителей, применяемых во многих производствах, в том числе лакокрасочных и клеевых материалов, покрытий различного назначения, носителей информации, полимерных композиций [2 – 4].

Для более полной характеристики процесса и для расчета времени сушки необходимо также знать движущую силу процесса, так называемый температурный потенциал сушки [5], который представляет собой разность между температурой обдувающего сушильного агента и температурой поверхности испарения влажного материала (при воздушной сушке – так называемой температуры мокрого термометра). Измерение температуры мокрого термометра широко используется также в технике психрометрии, например, психрометром Ассмана [6]. Однако существующие психрометры предназначены только для измерения температуры мокрого термометра, а скорость испарения в них не измеряется.

Известны также устройства для измерения относительной скорости испарения растворителей, чаще всего по сравнению со скоростью испарения бутилацетата, например, эвапорометры фирмы «Шеврон», фирмы «Шелл» и др. [1, 3, 4, 7]. Недостатком таких устройств является проведение измерений в постоянных стандартных условиях, например, определяется время испарения 90 %-ной навески 1 г растворителя при температуре около 25 °С и при скорости обдувающего воздуха около 0,15 м/с [6]. В промышленных режимах сушки температуры и скорости сушильных агентов изменяются в широком диапазоне. Кроме того, измерения в существующих эвапорометрах производятся в неустановившемся режиме сушки, что снижает их точность и может приводить к несопоставимости результатов для разных растворителей.

Разработанный универсальный психро-эвапорометр позволяет: 1) одновременно измерять температуру поверхности испарения (в том числе мокрого термометра) и скорость испарения растворителей; 2) работать в среде различных сушильных агентов: воздух, перегретый водяной пар, инертные газы (углекислый газ, азот), топочные газы; 3) работать в широком диапазоне температур и скоростей обдувающего сушильного агента; 4) обеспечивать надежность благодаря измерениям в установившемся режиме; 5) обеспечивать сопоставимость результатов с любыми вариантами как психрометров, так и эвапорометров различных фирм.

ПЭП (рис. 1) включает систему измерения веса испаряющихся растворителей в единицу времени (скорость испарения) и систему измерения температуры поверхности испарения увлажненного материала в стационарном режиме.

ПЭП выполнен на базе наиболее надежного и проверенного психрометра типа Ассмана, установленного на сушильном шкафу и снабженного необходимыми устройствами. После многочисленных проб были приняты все меры для устранения посторонних источников-стоков тепла, для фиксации поверхности, равномерного смачивания фитиля, подачи и испарения растворителя и пр.

Узел смоченного термометра выполнен из полого текстолитового стержня 2, установленного в одной из психрометрических трубок 3, нижние концы которых заглублены в термостат 4 с подаваемым в него сушильным агентом. ПЭП включает также микровентилятор с регулируемым числом оборотов 5 для просасывания парогазовой смеси через трубки 3 и внешний напорный резервуар для подачи исследуемого растворителя 6 на смачиваемую поверхность испарения. Элементы 2 – 6 образуют систему измерения температуры поверхности испарения. Они подвешены на весоизмерительном устройстве 7, которое в совокупности с резервуаром для растворителя 6 и с образцом смоченного материала 8 образует также систему измерения количества испаряющегося растворителя во времени. Число оборотов микровентилятора 5 обеспечивает задаваемую скорость сушильного агента в трубках, которая предварительно тарируется по термоанемометру. Для исключения подсосов внешнего воздуха в устройстве используется второй микровентилятор с регулируемым числом оборотов 9, причем его производительность поддерживается несколько большей, чем количество просасываемого в ПЭП сушильного агента.

Для подготовки сушильного агента с заданной температурой и влажностью на входе в термостат может быть установлен осушитель или брызгоуловитель 10, а внутри – увлажнители сушильного агента 11.

* Работа выполняется под руководством проф. В.И. Коновалова.

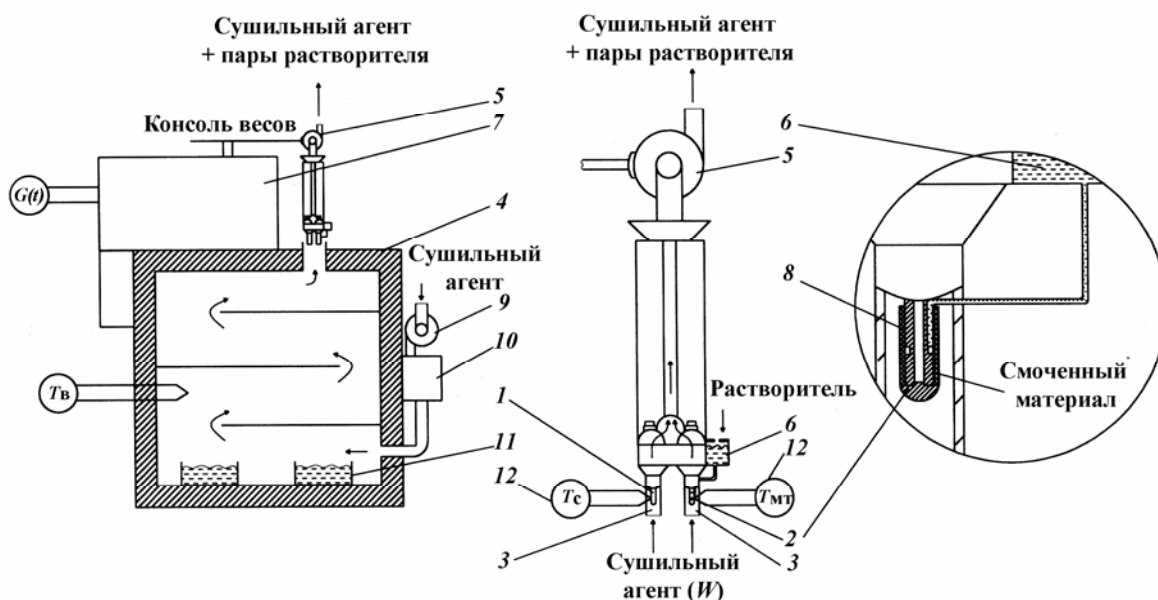


Рис. 1 Устройство психро-эвапорметрической установки:

а – психро-эвапорметрическая установка; *б* – психрометр с внешним увлажняющим устройством;
в – узел смоченного термометра

При использовании в качестве сушильного агента водяного пара применяется парогенератор-кипятильник, а детали психрометра, соприкасающиеся с паром, обогреваются во избежание конденсации на них пара. Осушитель при этом служит для улавливания брызг. При использовании инертных газов подача их осуществляется из баллона, при использовании топочных газов – из миниатюрного газогенератора (с газовой или керосиновой горелкой). Осушитель в этих случаях не используется.

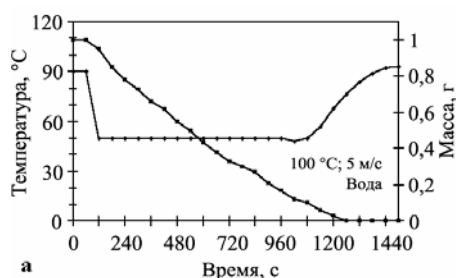
Стержень 2 обернут фильтровальной бумагой с известной площадью поверхности и смачивается растворителем, непрерывно поступающим из внешнего напорного резервуара 6 (в отличие от обычных психрометров с внутренним резервуаром для воды, не позволяющим фиксировать поверхность испарения). В резервуар шприцем заливается навеска растворителя, необходимая для обеспечения достаточной продолжительности стационарного режима испарения. Выбрано крайнее нижнее размещение резервуара во избежание избыточного напора растворителя.

Использование стандартных термометров психрометра Ассмана не обеспечивало полного увлажнения и фиксации поверхности смачиваемого материала без избытка жидкости, приводило к образованию капель. Для устранения этого на стержне 2 была сделана кольцевая проточка, а трубка для подачи растворителя заделана внутрь стержня. На конце стержня установлен обтекатель.

После выхода устройства на выбранный температурный и скоростной режим (в диапазоне 20...150 °С и 0,1...5 м/с) в напорный резервуар шприцем заливается навеска растворителя, который проходит через капиллярную трубку и смачивает поверхность испарения. В процессе опыта одновременно снимаются показания весоизмерительной системы, а также температуры смоченного и сухого термометров с помощью термопар 12, с записью их потенциометрами или компьютером.

В начале происходит резкое падение температуры поверхности до постоянной, хорошо выраженной площадки, соответствующей температуре мокрого термометра $T_{\text{мт}}$. Скорость испарения при этом примерно постоянна и надежно измеряется по наклону влажностной кривой. В конце опыта может наблюдаться некоторое местное понижение температуры в результате стекания на фильтровальную бумагу остатка растворителя из резервуара.

Примеры экспериментальных температурных и влажностных кривых испарения для воды и для этилового спирта показаны на рис. 2.



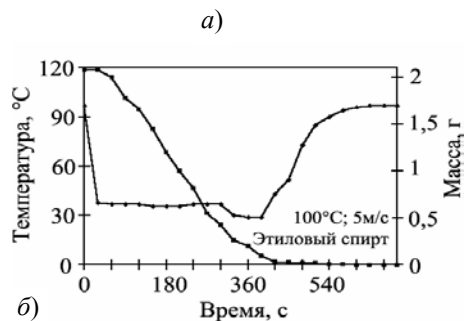


Рис. 2 Экспериментальные температурные и влажностные кривые испарения для воды (а) и для этилового спирта (б)

Физическое описание, математическое моделирование и разработка инженерных методов учета особенностей кинетики процессов сушки и испарения растворителей является задачей наших дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Коновалов В.И., Гатапова Н.Ц., Козлов Д.А., Утробин А.Н., Фролов А.А. Устройство для измерения скорости испарения и температуры испарения растворителей («психро-эвалпорометр») // Приоритет. справка ФИПС по Заявке на выдачу патента РФ № 20031125681 от 20.08.2003 г.
 - 2 Коновалов В.И., Коваль А.М. Пропиточно-сушильное и клеепромасочное оборудование. М.: Химия, 1989. 224 с.
 - 3 Дринберг С.А., Ицко Э.Ф. Растворители для лакокрасочных материалов. Л.: Химия, 1986. 208 с.
 - 4 Archer W.E. Industrial Solvents Handbook. New York: Dekker, 1996. 328 p.
 - 5 Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М: Химия, 1971, 623 с.
 - 6 Воронец Д., Козич Д. Влажный воздух. М.: Энергоатомиздат, 1984. 79 с.
 - 7 Saary Z., Goff P.L. New Instrument to Measure Solvent Evaporation // Journal of Paint Technology. 1975. Vol. 45. N. 583. P. 45
- 55.

Кафедра «Химическая инженерия»