

УДК 664.951.3:001.4

Совершенствование процесса получения копильной жидкости с применением ультразвука в целях интенсификации абсорбционных и коагуляционных процессов

А.С. Никонова, nikonova5422@yandex.ru

Мурманский государственный технический университет

г. Мурманск, Спортивная ул., д.13

В данной работе рассматриваются вопросы получения высококачественной копильной жидкости с применением ультразвука. Приведены рекомендации по получению копильной жидкости AntonioSilver. Указаны особенности предлагаемого метода получения экспериментальной копильной жидкости. Приведен ряд показателей химического и физического состава экспериментальной копильной жидкости. Представлено описание конструкции экспериментальной установки для получения копильной жидкости. Основными элементами данной установки являются корпус абсорбера, излучатель ультразвуковых колебаний, концентратор ультразвуковых колебаний, генератор водного аэрозоля, охладитель. Представлены данные о влиянии ультразвуковых колебаний различного уровня звукового давления на интенсивность протекания коагуляционных и абсорбционных процессов в аэродисперсной системе «дымовые газы и акустически генерируемый водный аэрозоль». Экспериментальная жидкость для копчения содержит полный комплекс ключевых химических компонентов, обуславливающих проявление основных эффектов копчения в обрабатываемых продуктах. Статья сопровождается графическим материалом, иллюстрирующим конструктивные особенности экспериментальной установки и результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: жидкость для копчения, ультразвук, коагуляционные процессы, абсорбционные процессы, аэродисперсная система.

Improving the process of reception of liquid for smoking with the application of ultrasound in order to intensify the absorption and coagulation processes

A.S. Nikonova, nikonova5422@yandex.ru

Murmansk State Technical University,

Murmansk, Sportivnaya St., 13

In the given report questions of reception of a high-quality liquid for smoking with ultrasound application are considered. Recommendation about reception liquid for smoking «AntonioSilver» are presented. Features of the offered method of production the experimental liquid for smoking are specified. A row of indexes of chemical and physical composition of the experimental liquid for smoking «AntonioSilver» are given. The description of construction of the experimental installation for production liquid for smoking is provided. Basic elements of this installation are the casing of an absorber, a radiator of ultrasonic oscillations, the hub of ultrasonic oscillations, the generator of a water aerosol, a cooler. Data on influence ultrasonic oscillations of different sound pressure level on intensity of course of coagulation and absorption processes in aero disperse system «smoke gases and acoustically generated water aerosol are provided». The experimental liquid for smoking contains a full complex of the key chemical components causing appearing of the main effects of smoking in processed products. Article is followed by the graphic material illustrating design features of the experimental installation and results of the pilot studies.

Keywords: liquid for smoking, ultrasound, coagulation processes, absorption processes, aero disperse system.

В последние годы все чаще в качестве альтернативы традиционному копчению рассматривается копчение с использованием разнообразных коптильных сред (БКС), которые в настоящий момент времени представлены на мировом рынке в широком ассортименте. Однако на российском рынке ощущается дефицит БКС. Перспективным научно-техническим направлением в настоящее время является применение физических способов воздействия на аэродисперсные системы с целью интенсификации массообменных и гидромеханических процессов. Известны такие физические методы интенсификации процессов пищевых производств как акустические, электромагнитные, оптические, радиационные и др. (Е.П. Медников, Н.Л. Широкова, В.И. Тимошенко и др.) [1, 2]. На сегодняшний день доказана целесообразность применения ультразвука (УЗ) для интенсификации коагуляционных и абсорбционных процессов в аэрозольных системах (А.В. Кардашев, Н.А. Фукс, Л.Д. Розенберг, Г.А. Мартынов, Д.С. Лычников, В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов и др.) [3–5].

На основе исследований процессов абсорбции и коагуляции в аэродисперсной системе «дымовые газы и акустически генерируемый аэрозоль» разработан способ получения коптильной жидкости AntonioSilver («AS») и устройство для его осуществления [6, 7]. Впервые для улавливания коптильных компонентов дымовой среды предложено применять мелкодиспергированный аэрозоль, полученный акустическим способом. В рамках работ по исследованию влияния озвучивания системы «дымовые газы и акустически генерируемый аэрозоль» на интенсивность протекания абсорбционных и коагуляционных процессов разработано устройство для осуществления процесса получения коптильной жидкости «AS» с использованием ультразвука [8].

Эксперименты проводились на опытном образце абсорбционной установки (рис. 1), изготовленной на кафедре «Технологии пищевых производств» МГТУ, и размещенном в научно-производственной лаборатории «Современных технологических процессов переработки гидробионтов» (СТППГ) той же кафедры.

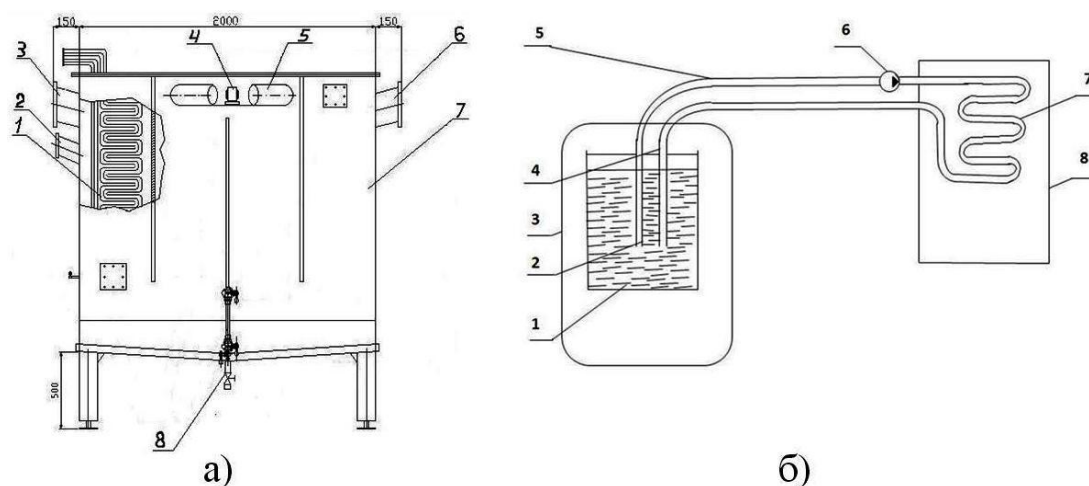


Рис. 1. Общий вид абсорбционной установки (а) и схема циркуляции хладоносителя в системе охлаждения (б)

- а) 1 – теплообменник, 2 – патрубок подачи аэрозоля, 3 – трубопровод подачи дымовой среды от дымогенератора, 4 – излучатель УЗ-колебаний, 5 – концентратор УЗ-колебаний, 6 – трубопровод отвода отработанных дымовых газов, 7 – камера смешения (абсорбер), 8 – патрубок отвода коптильной жидкости; б) 1 – резервуар с хладоносителем, 2, 4, 5 – трубопровод для циркуляции хладоносителя, 3 – холодильная камера, 6 – циркуляционный насос, 7 – теплообменник, 8 – камера смешения

Конструктивно установка для получения коптильной жидкости состоит из следующих блоков:

- абсорбер (камера смешения) полезным объемом 400 дм³;
- теплообменник, смонтированный из отождённой медной трубки, общая площадь теплообменной поверхности 2 м²;

- холодильная камера, внутри которой установлен резервуар объемом 110 литров, заполненный хладоносителем (ХН);
- циркуляционный насос, производительность которого регулируется посредством векторного преобразователя частоты вращения асинхронного двигателя;
- генератор водного аэрозоля, среднее значение масс-медианного аэродинамического диаметра частиц которого составляет 4 мкм;
- излучатель ультразвуковых колебаний в диапазоне частот от 25 до 65 кГц при уровне звукового давления 120, 130, 135, 140 и 155 дБ;

Для интенсификации процессов абсорбции и коагуляции в изучаемой аэродисперсной системе «дымовые газы и акустически генерируемый аэрозоль» во внутреннее пространство камеры 7 осуществлялось распространение УЗ-колебаний. Техническое решение, обеспечивающее реализацию указанного процесса, было достигнуто посредством монтажа двух цилиндрических концентраторов УЗ-колебаний 5 в верхней части фронтальной поверхности камеры и установки между ними излучателя 4.

Производилось исследование процессов абсорбции и коагуляции в аэродисперсной системе «дымовые газы и акустически генерируемый водный аэрозоль» при получении копильной жидкости «AS» с применением ультразвука при разных условиях эксперимента.

В ходе опытов варьировалась плотность дымового потока (данный параметр учитывался путем регистрации изменения количества сжигаемого топлива в единицу времени), площадь рабочей поверхности теплообменника, а также температура ХН на входе в теплообменник, уровни звукового давления УЗ-колебаний, распространяемых во внутреннее пространство камеры смешения, производительность генератора водного мелкодисперсного аэрозоля.

При проведении экспериментальных исследований были задействованы дымогенераторы с инфракрасным энергоподводом различных модификаций [9, 10]. В качестве топлива применялось древесное сырье лиственных пород с относительной влажностью 70%, в ходе процесса дымогенерации добавлялась избыточная вода в количестве 120% от массы сухого топлива. В это же время изменяли рабочую поверхность теплообменников, установленных внутри абсорбера, путем подключения модулей охлаждения различной площади, а также начальную температуру ХН.

В зависимости от выбранных условий абсорбции образцы копильной жидкости (рис. 2) характеризовались разной интенсивностью окраски и степенью выраженности дымного аромата, что, как показывают результаты анализов на физико-химические параметры копильной жидкости, коррелирует со степенью ее насыщенности копильными компонентами дымовой среды.

В результате проведенных экспериментов по получению копильной жидкости при изменении площади охлаждения (0,68, 1,34 и 2 м²) было выявлено, что с увеличением поверхности охлаждения концентрация копильных веществ в жидкости растет, так как увеличение площади охлаждающей поверхности в указанных пределах способствует более полному улавливанию частиц аэродисперсной системы «дымовые газы и акустически генерируемый водный аэрозоль».

Оптимальной была признана максимальная поверхность охлаждения в изучаемом диапазоне (2 м²). Принимая во внимание незначительную производительность генератора аэрозоля (до 2550 г/ч), было принято решение не расширять ряд площадей охлаждения в большую сторону и в дальнейших исследованиях зафиксировать площадь охлаждающей поверхности на уровне 2 м².

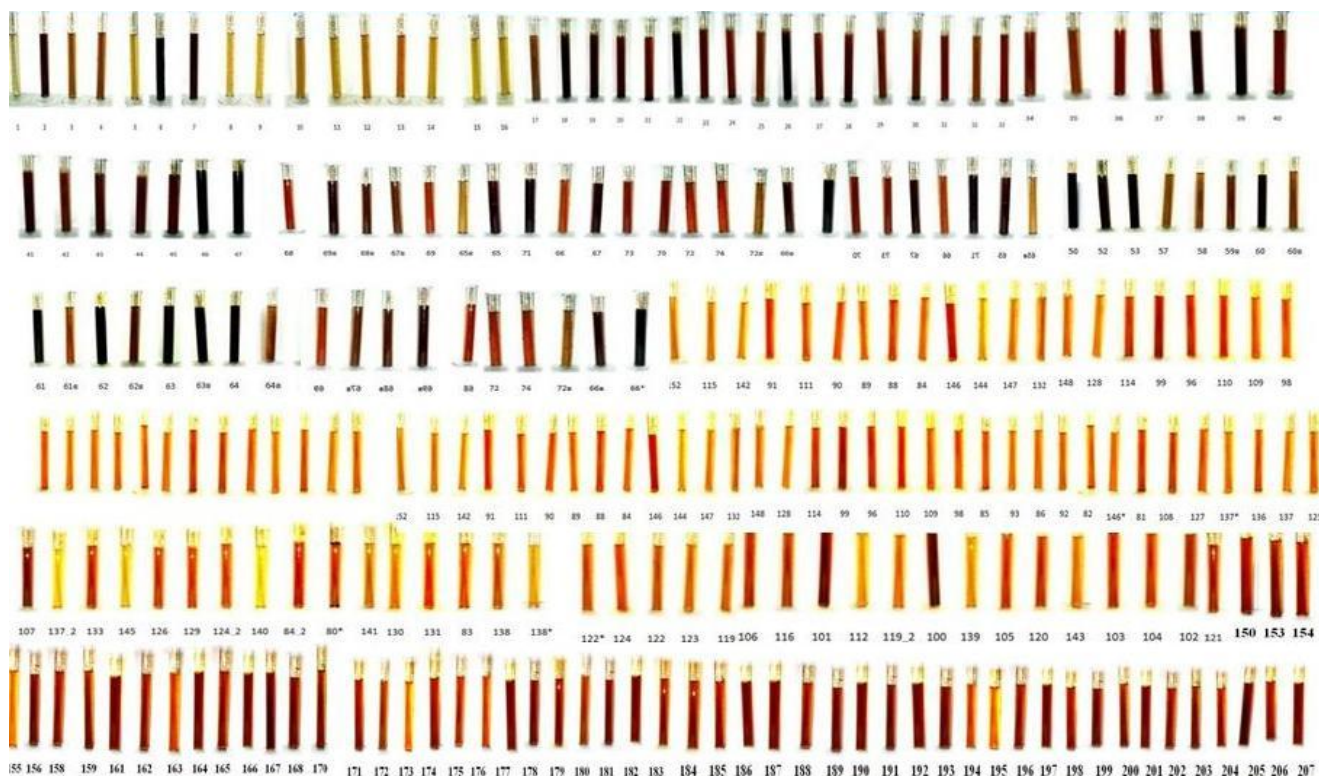


Рис. 2. Внешний вид образцов копильной жидкости

Температуру ХН, циркулирующего по контуру охлаждения экспериментальной установки, в ходе работ варьировали в диапазоне от плюс 4°С до минус 26°С с шагом 7,5°С. Графические зависимости, иллюстрирующие изменение физико-химических показателей экспериментальной копильной жидкости при одновременном изменении площади охлаждающей поверхности и температуры ХН приведены на рис. 3–4.

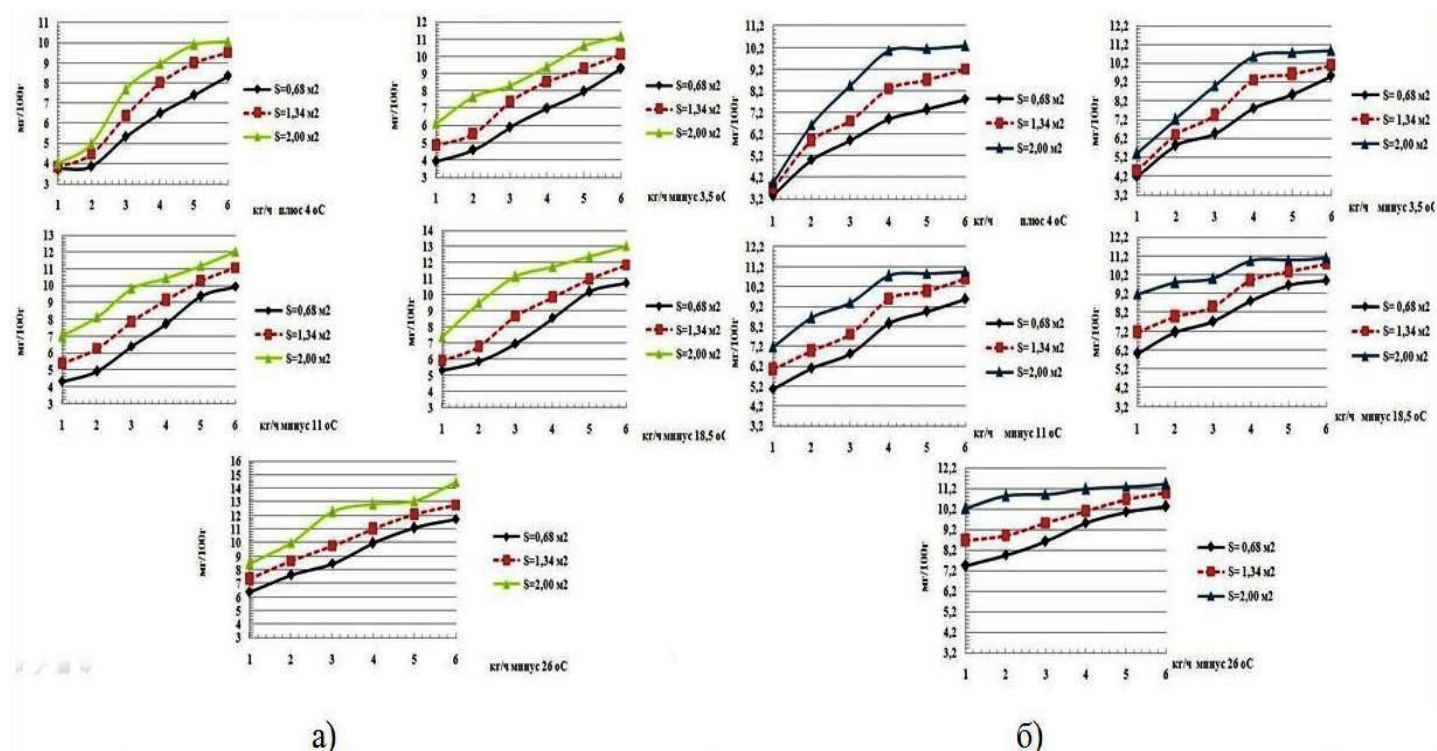


Рис. 3. Зависимость содержания фенольных (а) и карбонильных (б) соединений в образцах копильной жидкости от количества сжигаемого топлива при разных температурах ХН и площади теплообменной поверхности охладителя

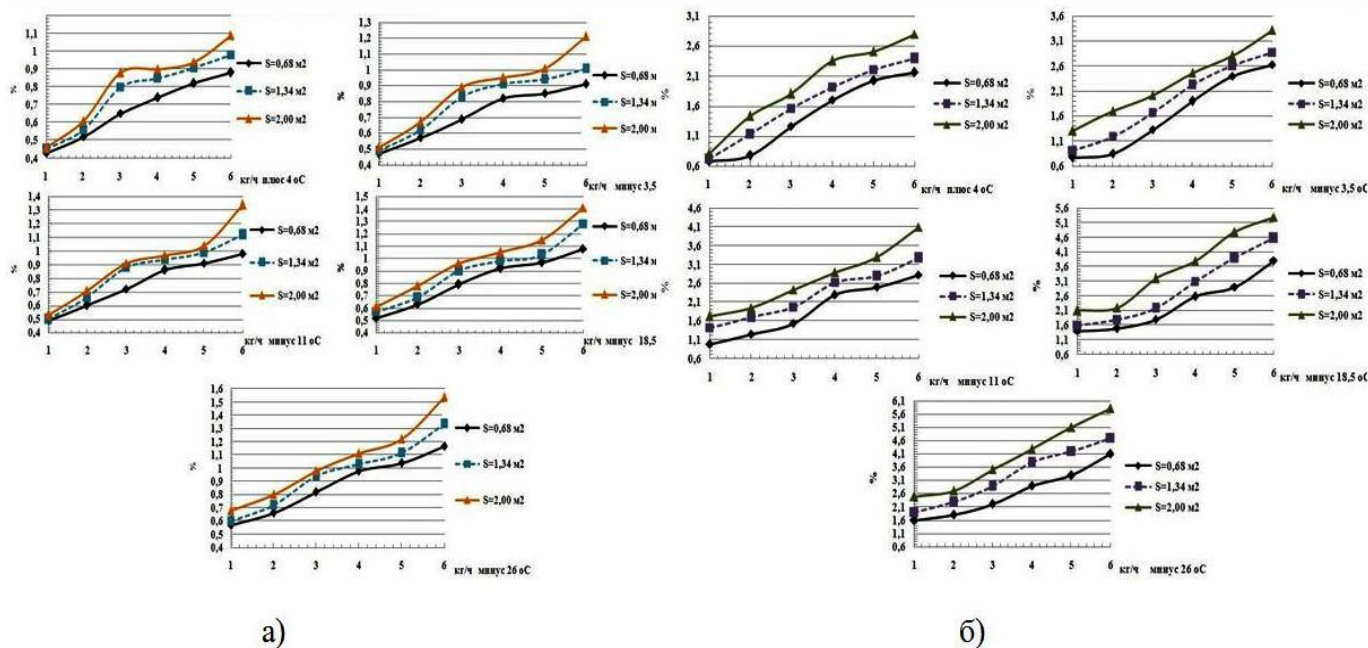


Рис. 4. Зависимость содержания кислот (а) и сухих веществ (б) в образцах копильной жидкости от количества сжигаемого топлива при разных температурах ХН и площади теплообменной поверхности охладителя

Физико-химические показатели копильной жидкости, полученной в ситуации фиксированной поверхности охлаждения 2 м^2 , в случае варьирования температуры ХН от плюс 4°C до минус 26°C с шагом $7,5^\circ\text{C}$ иллюстрируются графическими зависимостями, представленными на рис. 5.

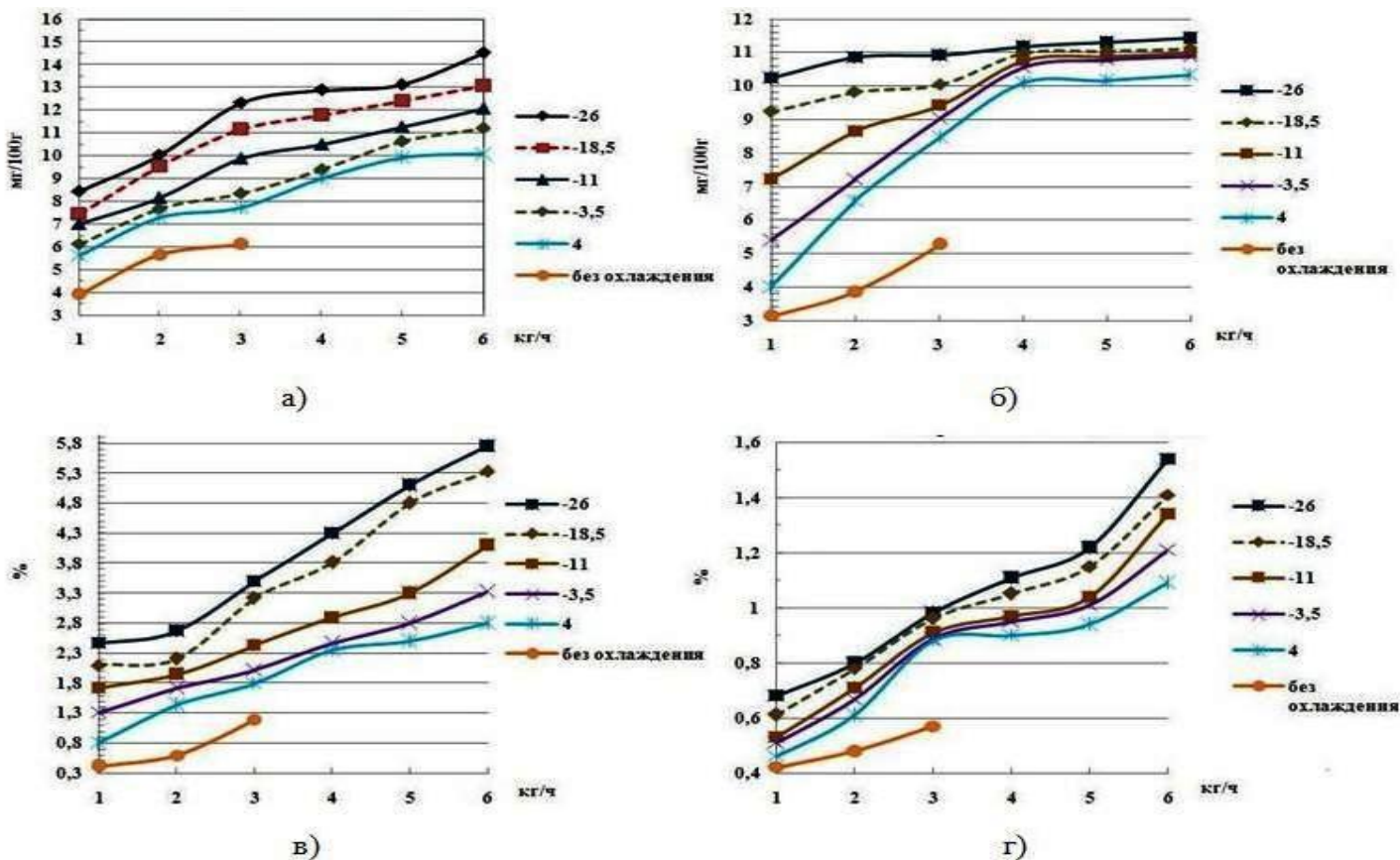


Рис. 5. Зависимость содержания фенольных (а), карбонильных (б) соединений, сухих веществ (в), кислот (г) в образцах копильной жидкости от количества сжигаемого топлива при разных температурах ХН и фиксированной площади охлаждающей поверхности 2 м^2

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что отбор тепла от аэродисперсной системы «дымовые газы и акустически генерируемый аэрозоль» способствует эффективному улавливанию частиц аэрозоля с абсорбированными на их поверхности копильными компонентами и капель, образующихся при пересыщении паров продуктов пиролиза древесного сырья, тем более, чем ниже температура циркулирующего в системе хладоносителя. При отсутствии отвода тепла процесс каплеобразования прекращается уже при количестве сжигаемого топлива, превышающем 3 кг/ч, т. к. по причине повышенной температуры аэродисперсной системы в абсорбере в этом случае, ее недостаточной относительной влажности и малой объемной доле акустически генерируемого водного аэрозоля без применения дополнительного охлаждения, стимулирующего процесс каплеобразования, частицы аэродисперсной системы «дымовые газы и акустически генерируемый водный аэрозоль» не успевают сконденсироваться и скоагулировать и частью испаряются, а частью уносятся с газами, отводимыми из установки через систему вытяжки.

Физико-химические показатели копильной жидкости, полученной в ситуации фиксированной поверхности охлаждения 2 м², температуры хладоносителя минус 26°С, количества сжигаемого топлива 3 кг/ч в случае варьирования уровня звукового давления УЗ-колебаний, воздействующих на аэродисперсную систему «дымовые газы и акустически генерируемый аэрозоль» в камере смешения, при изменении производительности аэрозоля иллюстрируются графическими зависимостями, представленными на рис. 6.

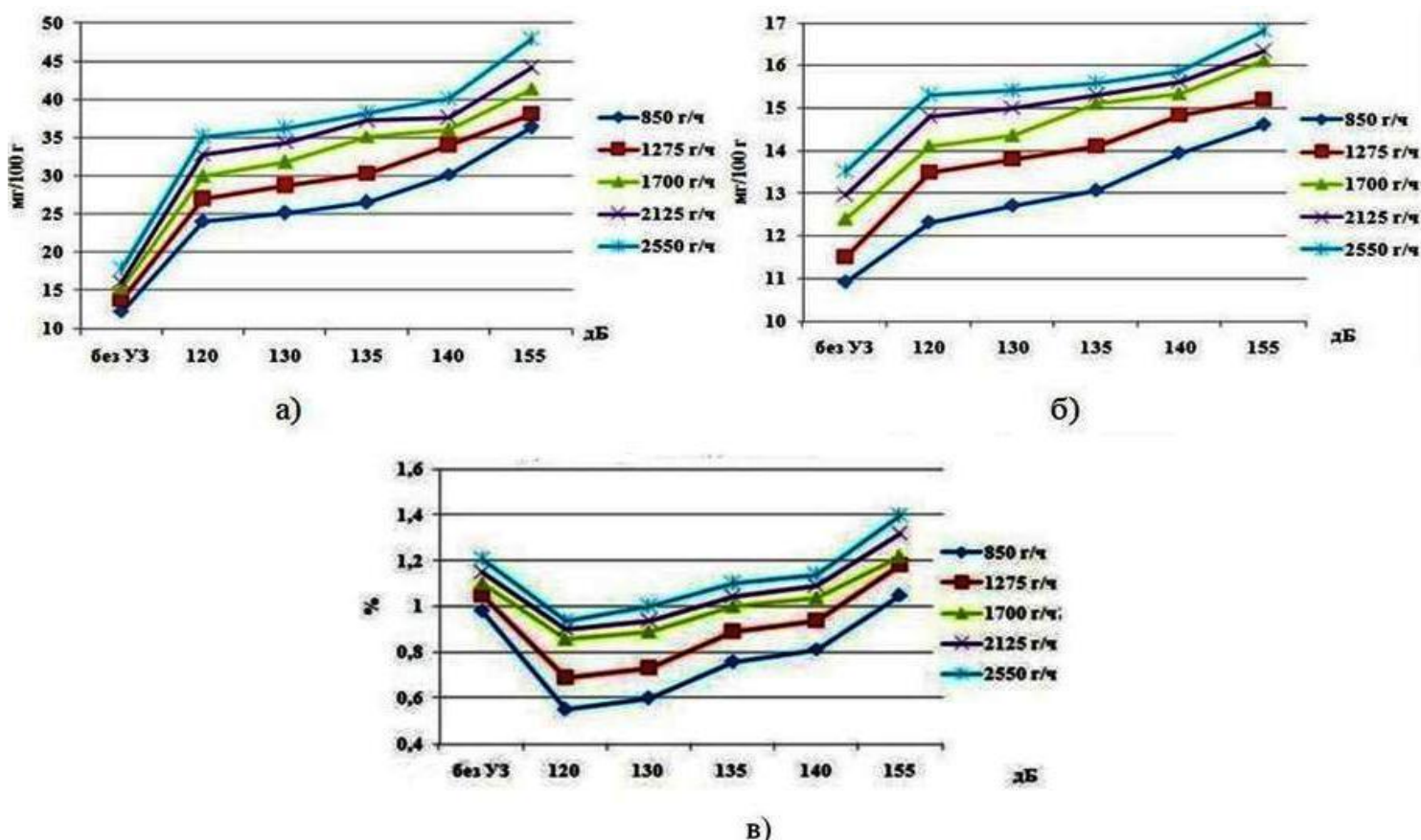


Рис. 6. Зависимость содержания фенольных (а), карбонильных (б) соединений, кислот (в) в образцах копильной жидкости от уровня звукового давления УЗ-колебаний

Осмысление графических зависимостей рис. 6 позволяет сделать вывод о том, что повышение уровня звукового давления УЗ-колебаний, которым подвергается аэродисперсная система «дымовые газы и акустически генерируемый аэрозоль» в камере смешения, способствует более интенсивному протеканию абсорбционных процессов. Меньшее содержание кислот в случае озвучивания на уровне звукового давления УЗ-колебаний 120, 130, 135 и 140 дБ по сравнению с ситуацией отсутствия

озвучивания объясняется значительным (в 20–23 раза) увеличением производительности установки по коптильной жидкости (рис. 7).

Факт интенсификации коагуляционных процессов при внешнем озвучивании аэродисперсной системы «дымовые газы и акустически генерируемый аэрозоль» иллюстрируется прямой зависимостью между производительностью экспериментальной установки по коптильной жидкости и уровнем звукового давления УЗ-колебаний, распространяемых во внутреннее пространство камеры смешения (рис. 7) при разной производительности генератора водного аэрозоля в г/ч.

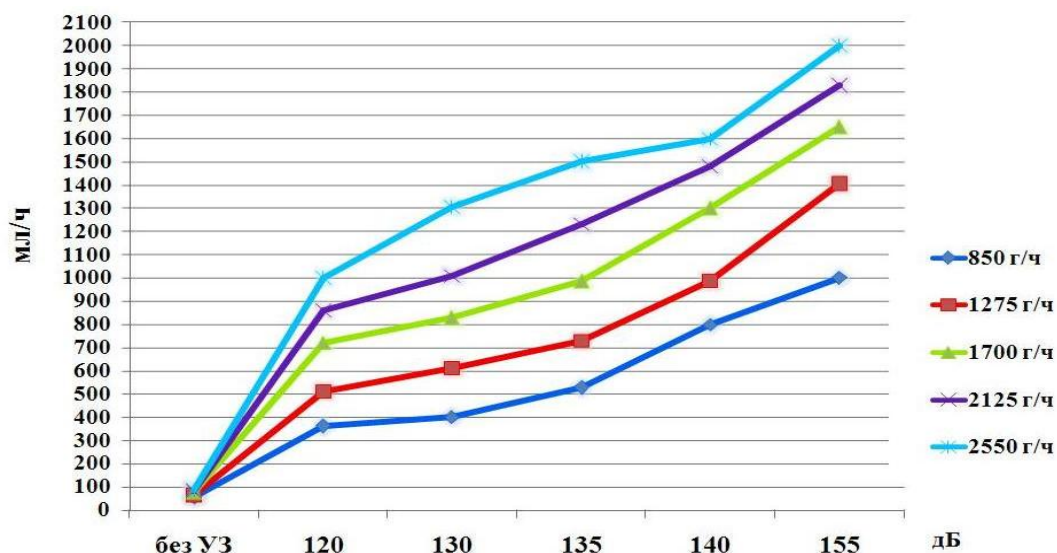


Рис. 7. Производительность установки по коптильной жидкости в зависимости от уровня звукового давления при варьировании производительности генератора аэрозоля и следующих фиксированных факторах: поверхность охлаждения на 2 м², количество сжигаемого топлива 3 кг/ч, температура хладагента, циркулирующего в системе охлаждения минус 26 °С

Из графика на рис. 7 видно, что с увеличением уровня звукового давления в диапазоне от 120 до 155 дБ возрастает производительность установки по коптильной жидкости. При совместном рассмотрении графических зависимостей рис. 6 и 7 становится очевидно, что, хотя и процентное содержание кислот в образцах коптильной жидкости без озвучивания несколько (максимум в 1,8 раза) превышает соответствующие показатели в случае применения озвучивания рассматриваемой аэродисперсной системы на уровне звукового давления до 155 дБ, по сравнению с величинами, в которые увеличивается производительность в означенных условиях (в 20–23 раза), это незначительное разбавление коптильной жидкости можно считать несущественным, т. к. оно идет вкуче с громадным (учитывая масштаб цифр производительности экспериментальной установки) ростом выхода коптильной жидкости.

Работы по исследованию влияния воздействия УЗ-колебаний различного уровня звукового давления на интенсивность течения процессов абсорбции и коагуляции в аэродисперсной системе «дымовые газы и акустически генерируемый аэрозоль» продолжаются.

Литература

1. Медников Е.П. Акустическая коагуляция и осаждение аэрозолей. М.: АН СССР, 1963. 266 с.
2. Тимошенко В.И., Чернов Н.Н. Взаимодействие и диффузия частиц в звуковом поле. Ростов-на-Дону: Росиздат, 2003. 304 с.
3. Кардашев Г.А. Физические методы интенсификации процессов химической технологии. М.: Химия, 1990. 208 с.
4. Физические основы ультразвуковой технологии. Т. 3 / под. ред. Л. Д. Розенберга. М.: Наука, 1970. 689 с.

5. Хмелев В.Н., Славин А.Н., Барсуков Р.В., Цыганюк С.Н., Шалунов А.В. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности. Бийск: Алт. гос. техн. ун-та, 2010. 203 с.
6. Голубева О.А., Никонова А.С. Применение ультразвука при производстве копильного препарата // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2010: сборник научных трудов по материалам междунар. науч.-практ. конф. Одесса: Черноморье, 2010. Т.6. С. 76-79.
7. Иваней А.А., Голубева О.А., Никонова А.С. Устройство получения копильной жидкости: пат. 101617 Российская Федерация, 2011. Бюл. № 3. 3 с.
8. Иваней А.А., Никонова А.С. Устройство для получения копильного препарата с использованием ультразвука: пат. 142505 Российская Федерация, 2014. 3 с.
9. Ершов А. М., Шокина Ю. В., Обухов А. Ю. Устройство для получения копильного дыма с использованием энергии ИК-излучения: пат. 2280367 Российская Федерация. 2006. 3 с.
10. Ершов А.М., Похольченко В.А., Иваней А.А., Ильин А.Ю. Устройство для получения дыма: пат. 145702 Российская Федерация. 2014. 3 с.

References

1. Mednikov E.P. *Acoustic coagulation and precipitation of aerosols*. Moscow, AN SSSR, 1963, 266 p.
2. Timoshenko V.I., Chernov N.N. *The interaction and diffusion of particles in a sound field*. Rostov-na-Donu, Rosizdat Publ., 2003, 304 p.
3. Kardashev G.A. *Physical methods of an intensification of processes of chemical technology*. Moscow, Khimiya Publ., 1990, 208 p.
4. *Physical bases of ultrasonic technology* In ed. L. D. Rozenberga. Moscow, Nauka Publ., 1970, V. 3, 689 p.
5. Khmelev V.N., Slavin A.N., Barsukov R.V., Tsyganyuk S.N., Shalunov A.V. *The application of high-intensity ultrasound in industry*. Bijsk, Alt. gos. tekhn. un-t Publ., 2010, 203 p.
6. Golubeva O.A., Nikonova A.S. The application of ultrasound in the production of smoke preparation. *Sovremennye problemy i puti ikh resheniya v nauke, transporte, proizvodstve i obrazovanii 2010: sbornik nauchnykh trudov po materialam mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* Odessa, CHernomor'e Publ., 2010, V.6, pp. 76-79.
7. Ivanei A.A., Golubeva O.A., Nikonova A.S. *Device of receiving koptilny liquid*. Patent RF no. 101617. 2011.
8. Ivanei A.A., Nikonova A.S. *Device of receiving of smoke preparation with the application of ultrasound*. Patent RF no. 142505 2014.
9. Ershov A.M., Shokina YU.V., Obukhov A.YU. *Device of receiving of smoke using the energy of infrared radiation*. Patent RF no. 2280367. 2006.
10. Ershov A.M., Pokhol'chenko V.A., Ivanei A.A., П'ин А.YU. *Device of receiving of smoke*. Patent RF no. 145702. 2014.