

ISSN 1561-8331 (Print)

ISSN 2524-2342 (Online)

УДК 665.948:661.862'027.73

<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2019-55-2-233-239>

Поступила в редакцию 25.09.2018

Received 25.09.2018

А. А. Сосновская, В. Л. Флейшер, Я. В. Боркина

*Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь*

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЖИДКОФАЗНОГО ОКИСЛЕНИЯ $\alpha$ -ПИНЕНА КИСЛОРОДОМ ВОЗДУХА В ПРИСУТСТВИИ СТЕАРАТА КОБАЛЬТА (II)

**Аннотация.** Оптимизацию процесса жидкофазного окисления  $\alpha$ -пинена проводили с использованием плана Бокса. Установлено, что повышение температуры процесса окисления в интервале 55–85 °С приводит к увеличению количества полимеров от 45 до 55 %, а снижение расхода воздуха с 1000 до 600 мл/мин к уменьшению терпеновых кислородсодержащих соединений (вербенон, вербенон, эпоксид  $\alpha$ -пинена) на 10 %. Увеличение продолжительности окисления от 5 до 15 ч ведет к уменьшению содержания  $\alpha$ -пинена от 70 до 48 %, что говорит о его высокой конверсии. Осуществлена обработка результатов плана эксперимента, рассчитаны и подтверждены на практике найденные оптимальные условия процесса, которые обеспечивают максимальный выход терпеновых кислородсодержащих соединений и высокую конверсию  $\alpha$ -пинена при минимальном содержании полимеров в продуктах окисления. Установлено, что при температуре 70–75 °С, расходе воздуха 1000 мл/мин и продолжительности окисления 5 ч количественное содержание основных продуктов составило: терпеновые кислородсодержащие соединения – 27,04 %, мономеры – 69,70 %, полимеры – 30,30 %.

**Ключевые слова:** жидкофазное окисление, сосновое масло,  $\alpha$ -пинен, живичный скипидар, вербоксид, стеарат кобальта (II), вербенон, вербенон, эпоксид  $\alpha$ -пинена, флотореагент

**Для цитирования.** Сосновская, А. А. Оптимизация процесса жидкофазного окисления  $\alpha$ -пинена кислородом воздуха в присутствии стеарата кобальта (II) / А. А. Сосновская, В. Л. Флейшер, Я. В. Боркина // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2019. – Т. 55, № 2. – С. 233–239. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2019-55-2-233-239>

A. A. Sosnovskaya, V. L. Fleisher, Y. V. Borkina

*Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus*

## OPTIMIZATION OF LIQUID-PHASE $\alpha$ -PINENE OXIDATION WITH OXYGEN IN PRESENCE OF COBALT (II) STEARATE

**Abstract.** Optimization of the liquid-phase oxidation of  $\alpha$ -pinene was carried out using the Box plan. It was found that an increase in the temperature of the oxidation process in the interval 55–85 °C leads to an increase in the amount of polymers from 45 to 55 %, and a decrease in the air flow rate from 1000 to 600 ml/min – to a 10 % decrease in terpenic oxygen-containing compounds (verbenol, verbenone, epoxy  $\alpha$ -pinene). Increasing the duration of oxidation from 5 to 15 h leads to a reduction in the content of  $\alpha$ -pinene from 70 to 48 %, which indicates its high conversion. The results of the experimental plan have been processed, the optimum process conditions found, which ensure the maximum yield terpenic oxygen-containing compounds and a high conversion  $\alpha$ -pinene with the minimum content of polymers in the oxidation products, have been calculated and confirmed in practice. It was established that at a temperature of 70–75 °C, an air flow rate of 1000 ml/min and an oxidation time of 5 h, the quantitative content of the main products was: terpenic oxygen-containing compounds – 27.04 %, monomers – 69.70 %, polymers – 30.30 %.

**Keywords:** liquid phase oxidation, pine oil,  $\alpha$ -pinene, turpentine, verboxide, cobalt (II) stearate, verbenone, verbenol,  $\alpha$ -pinene epoxide, flotation agent

**For citation.** Sosnovskaya A. A., Fleisher V. L., Borkina Y. V. Optimization of liquid-phase  $\alpha$ -pinene oxidation with oxygen in presence of cobalt (II) stearate. *Vesti Natsyyanal'nai akademii nauk Belarusi. Seriya khimichnykh nauk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2019, vol. 55, no. 2, pp. 233–239 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2019-55-2-233-239>

**Введение.** Большая часть территории Республики Беларусь покрыта хвойными лесами, являющимися основным источником сосновой живицы, из которой после ее переработки получают канифоль и живичный скипидар. В настоящее время существует несколько перспективных и актуальных направлений в области глубокой переработки живичного скипидара во вторичные продукты: получение жидких и твердых политерпеновых, терпеномалеиновых и окситерпеновых смол, производство соснового флотационного масла и ценных синтетических душистых веществ [1–8].

Для получения политерпеновых смол используется скипидар, обогащенный  $\beta$ -пиненом [3]. В настоящее время актуальным направлением для Республики Беларусь является производство политерпеновых смол из  $\alpha$ -пинена, поскольку его содержание в отечественном живичном скипидаре составляет более 60 %, а содержание  $\beta$ -пинена находится в пределах от 5,0 до 6,5 %.

Жидкие политерпеновые смолы применяются в качестве замасливателя для стекловолокна, входят в составы для жирования изделий из натуральной кожи, используются в качестве антикомкующей добавки при изготовлении абразивного инструмента и входят в составы различных пленкообразующих композиций [9]. Производство твердых политерпеновых смол представляют наибольший интерес, поскольку они находят широкий спектр применения в лакокрасочных, электроизоляционных и герметизирующих материалах, а также в качестве термопластичных адгезионных добавок при производстве клеев-расплавов и клеев чувствительных к давлению.

Флотация – широко применяемый метод во всем мире, позволяющая обогатить такие полезные ископаемые, как медные, молибденовые, серебряные, титановые, оловянные руды, а также барит, известняк, магнезит и т. п. Флотацию используют не только в горнодобывающих отраслях, ее также можно найти в пищевой и химической промышленности, в очистке сточных вод, где необходимо ускорить процессы отстаивания, разделения, выделения твердых взвесей. Поскольку данный метод нашел широкое применение, которое привело к возникновению пенной флотации, то для его осуществления необходимы вещества, позволяющие селективно разделять минералы. В качестве таких веществ могут выступать флотореагенты, способные не только эффективно разделять полезные ископаемые, но и способствовать их обогащению [13]. К их числу относится сосновое флотационное масло, представляющее собой смесь терпеновых кислородсодержащих соединений (терпеновые спирты, кетоны, эпоксиды и др.), которое с успехом может применяться на горно-обогатительных комбинатах.

Ранее нами было изучено два основных способа получения терпеновых кислородсодержащих соединений (далее ТКС): кислотно-каталитическая гидратация живичного скипидара и жидкофазное окисление  $\alpha$ -пинена кислородом воздуха в присутствии катализаторов металлов переменной валентности [10–12, 14]. Основными продуктами при жидкофазном окислении  $\alpha$ -пинена являются: вербенон (1), вербенон (2), пинен-3-ол-2 (3), эпоксид  $\alpha$ -пинена (4); при кислотно-каталитической гидратации –  $\alpha$ -терпинеол (5),  $\beta$ -терпинеол (6), терпинен-1-ол-4 (7) (рис. 1).

В настоящей работе представлены результаты исследований по оптимизации процесса жидкофазного окисления  $\alpha$ -пинена, поскольку данный процесс представляет наибольший интерес с точки зрения получения и применения синтезируемых продуктов.

Цель работы – оптимизация процесса жидкофазного окисления  $\alpha$ -пинена кислородом воздуха в присутствии стеарата кобальта (II).

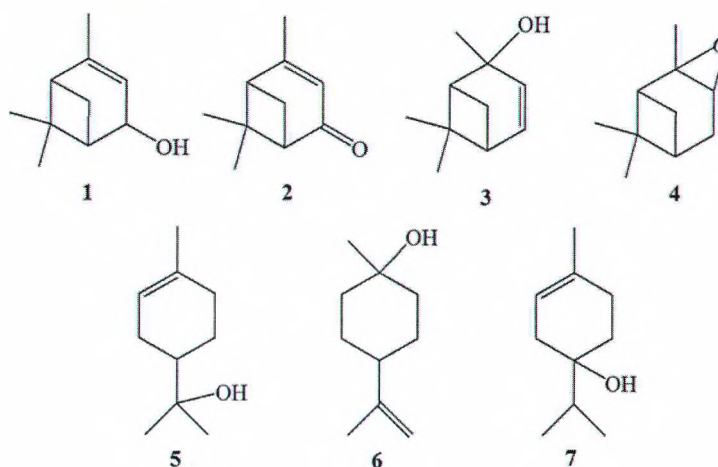


Рис. 1. Структурные формулы терпеновых кислородсодержащих соединений

Fig. 1. Structural formulas of terpenic oxygen-containing compounds

**Экспериментальная часть.** Исходным сырьем являлся  $\alpha$ -пинен (98 мас.%), выделенный методом вакуумной ректификации из живичного скипидара. В качестве катализатора использовали стеарат кобальта (II), полученный в результате обменной реакции между хлоридом кобальта и натриевой солью стеариновой кислоты. Процесс осуществляли в стеклянном реакторе, оснащенном барботажным устройством для подачи воздуха, термометром и обратным холодильником. Для улавливания легколетучих компонентов реакционной смеси использовали каплеотбойник. Нагрев осуществляли в масляной бане, снабженной контактным термометром с автоматическим терморегулятором. Качественный и количественный составы исходного живичного скипидара, выделенного  $\alpha$ -пинена и продуктов окисления, определяли методом газожидкостной хроматографии. Условия хроматографического анализа: газовый хроматограф «Цвет-800» с пламенно-ионизационным детектором; колонка капиллярная кварцевая длиной 25 м, внутренний диаметр – 0,25 мм; неподвижная фаза – VB-5 – 0,25 мкм; температура термостата колонки – 90–220 °С (90 °С – 15 мин; подъем температуры – 2 °С /мин, до 120 °С; 120 °С – 20 мин), испарителя – 220 °С; детектора – 220 °С; скорость газа-носителя (азот) – 50 мл/мин, водорода – 22,2 мл/мин, воздуха – 220 мл/мин. Избыточное давление азота на входе в колонку – 0,045 МПа.

Оптимизацию процесса получения ТКС проводили с использованием плана 2-го порядка (план Бокса). Как известно [15], в наибольшей степени на выход ТКС влияют температура процесса, продолжительность окисления и расход кислорода воздуха. Поэтому в качестве независимых переменных были выбраны следующие факторы:  $X_1$  – температура окисления, °С;  $X_2$  – расход воздуха, мл/мин;  $X_3$  – продолжительность окисления, ч. Выходные параметры:  $Y_1$  – содержание полимеров в смеси, %;  $Y_2$  – содержание окисленных веществ в оксидате, %;  $Y_3$  – содержание мономеров, %. Жидкофазное окисление проводили при постоянной массе катализатора 0,4 мас.% [14]. Основные факторы, а также уровни их варьирования представлены в табл. 1.

Таблица 1. Основные факторы и уровни их варьирования

Table 1. The main factors and levels of their variation

| Уровни варьирования         | Факторы                |                               |                                      |
|-----------------------------|------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
|                             | температура $X_1$ , °С | расход воздуха $X_2$ , мл/мин | продолжительность процесса $X_3$ , ч |
| Шаг варьирования, $\lambda$ | 15                     | 200                           | 5                                    |
| Нижний уровень, (-1)        | 55                     | 600                           | 5                                    |
| Основной уровень, (0)       | 70                     | 800                           | 10                                   |
| Верхний уровень, (+1)       | 85                     | 1000                          | 15                                   |

**Результаты и их обсуждение.** Снижение количества полимеров ( $Y_1$ ) и компонентов, не вступивших в реакцию ( $Y_3$ ), а также максимизирование выхода вербоксида ( $Y_2$ ) являлось основной задачей оптимизации, решение которой основывалось на нахождении оптимальных режимов проведения процесса. Для реализации плана Бокса составлена матрица планирования эксперимента (табл. 2).

Таблица 2. Реализация матрицы планирования эксперимента

Table 2. Implementation of the experiment planning matrix

| Номер опыта | Кодированный вид |       |       | Натуральный вид |                |           | Выходные параметры, % |           |           |
|-------------|------------------|-------|-------|-----------------|----------------|-----------|-----------------------|-----------|-----------|
|             | $X_1$            | $X_2$ | $X_3$ | $X_1$ , °С      | $X_2$ , мл/мин | $X_3$ , ч | $Y_1$ , %             | $Y_2$ , % | $Y_3$ , % |
| 1           | -1               | +1    | -1    | 55              | 1000           | 5         | 30,46                 | 20,33     | 69,36     |
| 2           | -1               | -1    | -1    | 55              | 600            | 5         | 18,33                 | 13,65     | 81,67     |
| 3           | -1               | -1    | +1    | 55              | 600            | 15        | 42,19                 | 37,86     | 37,86     |
| 4           | -1               | +1    | +1    | 55              | 1000           | 15        | 39,82                 | 52,39     | 60,18     |
| 5           | +1               | +1    | -1    | 85              | 1000           | 5         | 30,15                 | 31,62     | 69,85     |
| 6           | +1               | -1    | -1    | 85              | 600            | 5         | 28,84                 | 23,97     | 71,16     |
| 7           | +1               | -1    | +1    | 85              | 600            | 15        | 54,41                 | 40,01     | 45,59     |
| 8           | +1               | +1    | +1    | 85              | 1000           | 15        | 67,84                 | 27,41     | 32,16     |

Окончание табл. 2

| Номер опыта | Кодированный вид |       |       | Натуральный вид       |                      |                 | Выходные параметры, % |           |           |
|-------------|------------------|-------|-------|-----------------------|----------------------|-----------------|-----------------------|-----------|-----------|
|             | $X_1$            | $X_2$ | $X_3$ | $X_1, ^\circ\text{C}$ | $X_2, \text{мл/мин}$ | $X_3, \text{ч}$ | $Y_1, \%$             | $Y_2, \%$ | $Y_3, \%$ |
| 9           | 0                | 0     | -1    | 70                    | 800                  | 5               | 37,59                 | 20,92     | 62,41     |
| 10          | 0                | -1    | 0     | 70                    | 600                  | 10              | 31,60                 | 29,12     | 68,40     |
| 11          | 0                | 0     | +1    | 70                    | 800                  | 15              | 45,99                 | 39,13     | 54,01     |
| 12          | 0                | +1    | 0     | 70                    | 1000                 | 10              | 40,67                 | 35,33     | 59,33     |
| 13          | +1               | 0     | 0     | 85                    | 800                  | 10              | 49,71                 | 30,52     | 50,29     |
| 14          | -1               | 0     | 0     | 55                    | 800                  | 10              | 49,76                 | 25,10     | 50,24     |

В результате обработки экспериментальных данных (табл. 2) получены уравнения регрессии для следующих критериев оптимизации:

содержание полимеров,  $Y_1$ :

$$Y_1 = 44,33 + 5,04X_1 + 3,36X_2 + 10,49X_3 + 0,62X_1X_2 - 0,30X_1X_3 + 3,76X_2X_3 + 5,41X_1^2 - 8,19X_2^2 - 2,54X_3^2;$$

содержание окисленных веществ,  $Y_2$ :

$$Y_2 = 29,58 + 0,42X_1 + 2,25X_2 + 8,63X_3 - 3,27X_1X_2 - 1,55X_1X_3 - 5,56X_2X_3 - 1,77X_1^2 + 2,65X_2^2 + 0,45X_3^2;$$

содержание мономеров,  $Y_3$ :

$$Y_3 = 55,68 - 5,02X_1 - 3,38X_2 - 10,47X_3 - 0,60X_1X_2 + 0,32X_1X_3 - 3,78X_2X_3 - 5,42X_1^2 + 8,18X_2^2 + 2,53X_3^2.$$

На основании полученных уравнений регрессий для трех критериев оптимизации построены графики одномерных сечений, которые представлены на рис. 2.

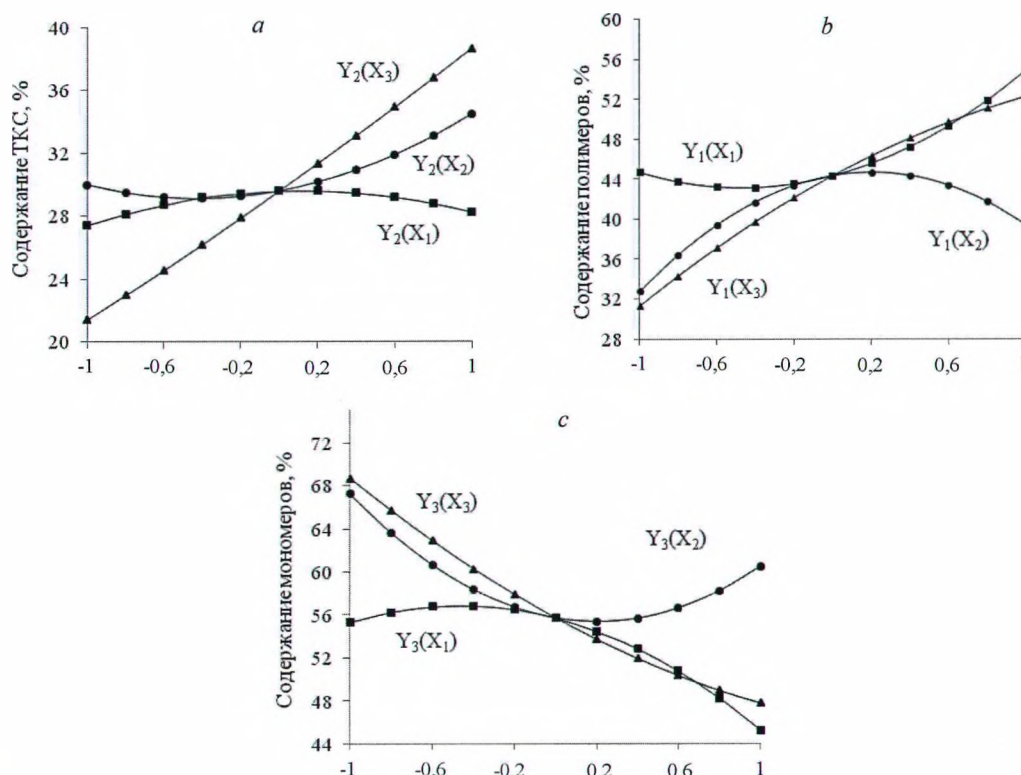


Рис. 2. Зависимости содержания ТКС (а), полимеров (b) и мономеров (с) в оксидате от температуры, расхода воздуха и продолжительности процесса

Fig. 2. Dependences of the content of TOC (a), polymers (b) and monomers (c) in the oxidate on the temperature, air flow and duration of the process

Анализ графиков одномерных сечений (рис. 2) показал, что рост температуры процесса приводит к низкому содержанию ТКС и мономеров (в частности,  $\alpha$ -пинена) в оксидате, однако при этом содержание полимеров увеличивается. Максимальное значение ТКС (29–30 %) и минимальное содержание мономеров (56–46 %) наблюдается при температуре 67–70 °С, что соответствует диапазону  $X_1 = \{-0,2 ; 1\}$  на рис. 2, а, с. Снижение содержания полимеров (56–45 %) наблюдается при  $X_1 = \{0 ; 1\}$ , что соответствует значению температуры 75–85 °С (рис. 2, b).

Повышение расхода воздуха приводит к увеличению выхода мономеров, при 800 мл/мин ( $X_2 = 0$ ) составляет 45 % и далее уменьшается до 40 % при расходе воздуха 800–1000 мл/мин ( $X_2 = \{0 ; 1\}$ ). Выход ТКС с повышением расхода воздуха от 600 до 1000 мл/мин увеличивается от 30 до 36 %. Поскольку одно из задач исследований являлось снижение количества полимеров в процессе жидкофазного окисления  $\alpha$ -пинена, то увеличение расхода воздуха привело к уменьшению их содержания от 45 до 39 % при  $X_2 = \{0 ; 1\}$ .

Повышение содержания продуктов реакции позволяет сделать вывод, что с ростом продолжительности процесса окисления увеличивается выход ТКС (22–40 %) и полимеров (30–56 %), а также уменьшается выход мономеров (70–48 %). Поэтому оптимальная продолжительность, при которой наблюдается максимальный выход ТКС при минимальном содержании полимеров и мономеров находится в пределах  $X_3 = \{-0,4 ; -0,2\}$ , что соответствует 8–9 ч продолжительности окисления. Стоит отметить, что образующиеся полимеры являются нежелательными продуктами реакции жидкофазного окисления, поскольку препятствуют образованию ТКС.

Решением задачи оптимизации являлся поиск таких значений факторов, которым соответствует оптимальное сочетание значений выходных параметров. Поиск осуществляли с использованием глобального критерия оптимизации  $W_i$  с последующим определением такого сочетания факторов, которые обеспечат его максимум. Нахождение глобального критерия оптимизации  $W_i$  сводится к нахождению частных функций полезности  $d_j$  и коэффициентов уравнения регрессии. Уравнение регрессии для глобального критерия оптимизации имеет следующий вид:

$$W_i = 0,641 - 0,034X_1 + 0,002X_2 - 0,009X_3 - 0,066X_1X_2 - 0,184X_1X_3 - 0,078X_2X_3 - 0,136X_1^2 + 0,095X_2^2 - 0,04X_3^2.$$

Полученные значения частных функций полезности  $d_j$  и глобального критерия оптимизации  $W_i$  представлены в табл. 3.

Таблица 3. Значения частных функций полезности и глобального критерия оптимизации

Table 3. The values of private utility functions and global optimization criterion

| Номер опыта | Выходные параметры |       |       | Частные функции полезности |          |          | Глобальный критерий оптимизации |
|-------------|--------------------|-------|-------|----------------------------|----------|----------|---------------------------------|
|             | $Y_1$              | $Y_2$ | $Y_3$ | $d_{1i}$                   | $d_{2i}$ | $d_{3i}$ |                                 |
| 1           | 2                  | 3     | 4     | 5                          | 6        | 7        | 8                               |
| 1           | 30,46              | 20,33 | 69,36 | 0,87                       | 0,23     | 0,87     | 0,56                            |
| 2           | 18,33              | 13,65 | 81,67 | 0,95                       | 0,05     | 0,95     | 0,36                            |
| 3           | 42,19              | 37,86 | 57,81 | 0,69                       | 0,79     | 0,69     | 0,73                            |
| 4           | 39,82              | 52,39 | 60,18 | 0,74                       | 0,95     | 0,74     | 0,80                            |
| 5           | 30,15              | 31,62 | 69,85 | 0,87                       | 0,64     | 0,87     | 0,79                            |
| 6           | 28,84              | 23,97 | 71,16 | 0,89                       | 0,36     | 0,89     | 0,66                            |
| 7           | 54,41              | 40,01 | 45,59 | 0,37                       | 0,83     | 0,37     | 0,48                            |
| 8           | 67,84              | 27,41 | 32,16 | 0,05                       | 0,49     | 0,05     | 0,11                            |
| 9           | 37,59              | 20,92 | 62,41 | 0,78                       | 0,25     | 0,78     | 0,53                            |
| 10          | 31,60              | 29,12 | 68,40 | 0,86                       | 0,55     | 0,86     | 0,74                            |
| 11          | 45,99              | 39,13 | 54,01 | 0,61                       | 0,81     | 0,61     | 0,67                            |
| 12          | 40,67              | 35,33 | 59,33 | 0,73                       | 0,74     | 0,73     | 0,73                            |
| 13          | 49,71              | 30,52 | 50,29 | 0,51                       | 0,60     | 0,51     | 0,54                            |
| 14          | 49,76              | 25,10 | 50,24 | 0,51                       | 0,41     | 0,51     | 0,47                            |

**Заклучение.** В результате оптимизации были получены математические модели, которые описывают влияние температуры, расхода воздуха, продолжительности процесса окисления на содержание ТКС, мономеров и полимеров в реакционной смеси. Таким образом, для достижения одновременно максимального выхода ТКС при минимальном содержании полимеров и мономеров процесс окисления следует проводить при следующих параметрах: температура окисления – 70–73°C, расход воздуха – 1000 мл/мин, продолжительность процесса – 5–7 ч. При этом содержание основных продуктов в оксидате составляет: ТКС – 27,04 %, мономеров – 69,70 %, полимеров – 30,30 %.

### Список использованных источников

1. Радбиль, А. Б. Направление квалифицированного использования скипидара / А. Б. Радбиль // Химия растительного сырья. – 2005. – № 1. – С. 5–11.
2. Кислицин, А. Н. О химизме жидкофазного окисления  $\alpha$ -пинена кислородом воздуха / А. Н. Кислицин, А. Н. Клубукова, А. Н. Трофимов // Химия растительного сырья. – 2004. – № 3. – С. 109–116.
3. Журавлев, И. П. Канифоль и скипидар и продукты их переработки / И. П. Журавлев. – М.: Лесная пром-сть, 1988. – 71 с.
4. Атаманчук, Г. Д. Живица и применение продуктов ее переработки / Г. Д. Атаманчук. – М.: Лесная пром-сть, 1968. – 30 с.
5. Племенков, В. В. Введение в химию природных соединений / В. В. Племенков. – Барнаул: Изд-во Алтайского ун-та, 2007. – 322 с.
6. Vecerra, J. A. Thermodynamic analysis of  $\alpha$ -pinene and limonene allylic oxidation over a  $\text{FePcCl}_{16}\text{-NH}_2\text{-SiO}_2$  catalyst / J. A. Vecerra, A. L. Villa // Chem. Eng. Technol. – 2018. – Vol. 41, No 1. – P. 124–133. <https://doi.org/10.1002/ceat.201700118>
7. Способ получения терпингидрата: пат. 2154049, Российская Федерация, МПК С 07 С 35/08 / А. Б. Радбиль, Б. А. Золин, Б. А. Радбиль, М. В. Куликов, В. Р. Карташов. – Оpubл. 10.08.2000.
8. Новые материалы глубокой переработки скипидара / А. Б. Радбиль, И. С. Ильичев, А. А. Шалашова, Л. Л. Семенычева // Вестн. Нижегород. ун-та им. Н. И. Лобачевского. – 2014. – № 2(1). – С. 91–95.
9. Способ получения политерпенов: пат. 2258726, Российская Федерация, МПК С 09 F 1/04, 1/02, С 08 F 2/00, 10/14 / Т. В. Рязанова, Г. В. Тихомирова, С. В. Соболева, Т. В. Климанская, А. Б. Радбиль, С. И. Почекутов, Б. А. Золин, А. В. Власов, И. С. Почекутов, С. М. Репях. – Оpubл. 20.08.2005.
10. Получение соснового флотационного масла методом гидратации  $\alpha$ -пинена / А. А. Квеско, С. И. Шпак, В. Л. Флейшер, Т. В. Чернышева // Труды БГТУ. – 2016. – №4. – С. 144–148.
11. Квеско, А. А. Жидкофазное окисление  $\alpha$ -пинена кислородом воздуха в присутствии стеарата Со (II) и ацетиацетоната Ni (II) / А. А. Квеско // «Технология – 2017»: материалы XX Междунар. научно-технич. конф., Северодонецк, 21–22 апреля 2017 г. / Восточноукраинский нац. ун-т им. В. Даля. – Северодонецк, 2017. – С. 25–28.
12. Квеско, А. А. Перспективные направления переработки живичного скипидара в Республике Беларусь / А. А. Квеско, В. Л. Флейшер // 81-я науч.-практ. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотrud. и аспиr. (с международ. участием), тез. докл., Минск, 1–12 февраля 2017 г. / БГТУ. – Минск, 2017. – С. 13.
13. Григорьев, А. А. Производство флотореагентов // А. А. Григорьев / Катализ и нефтехимия. – 2001. – № 9–10. – С. 53–59.
14. Квеско, А. А. Процесс жидкофазного окисления  $\alpha$ -пинена кислородом воздуха с использованием различных каталитических систем / А. А. Квеско // 68-я науч.-практ. конф. студ. магистр. и аспиr., Минск, 17–22 апреля 2017 г. / БГТУ – Минск, 2017. – С. 15–18.
15. Кислицин, А. Н. Исследование процесса жидкофазного инициированного окисления сульфатного  $\alpha$ -пинена кислородом воздуха. Сообщ. 2 / А. Н. Кислицин, А. Н. Клубукова, А. Н. Трофимов // Химия растительного сырья. – 2003. – №4. – С. 31–36.

### References

1. Radbil, A. B. The direction of the qualified use of turpentine. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja* [Chemistry of plant raw materials], 2005, no. 1, pp. 5–11 (in Russian).
2. Kislitsin A. N., Klabukova A. N., Trofimov A. N. On the chemistry of liquid-phase oxidation of  $\alpha$ -pinene by air oxygen. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja* [Chemistry of plant raw materials], 2004, no. 3, pp. 109–116 (in Russian).
3. Zhuravlev I. P. *Rosin and turpentine and products of their processing*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1988. 71 p. (in Russian).
4. Atamanchuk G. D. Turpentine and the application of products of its processing. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1968. 30 p. (in Russian).
5. Plemenkov V. V. Introduction to the chemistry of natural compounds. Barnaul, Altai university Publ., 2007. 322 p. (in Russian).
6. Vecerra J. A., Villa A. L. Thermodynamic analysis of  $\alpha$ -pinene and limonene allylic oxidation over a  $\text{FePcCl}_{16}\text{-NH}_2\text{-SiO}_2$  catalyst. *Chemical Engineering & Technology*, 2018, vol. 41, no. 1, pp. 124–133. <https://doi.org/10.1002/ceat.201700118>

7. Radbil A. B., Zolin B. A., Radbil B. A., Kulikov M. V., Kartashov V. R. Method for obtaining terpinhydrate. Patent no. 2154049 Russian Federation. Publ. date 10.08.2000 (in Russian).
8. Radbil A. B., Il'ichev I. S., Shalashova A. A., Semenycheva L. L. New materials for deep processing of turpentine. *Vestnik Nizhegorodskogo un-ta im. N. I. Lobachevskogo = Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod*, 2014, no. 2 (1), pp. 91–95 (in Russian).
9. Ryazanova T. V., Tikhomirova G. V., Soboleva S. V., Klimanskaya T. V., Radbil A. B., Pochekutov S. I., Zolin B. A., Vlasov A. V., Pochekutov I. S., Repyakh S. M. Method for the preparation of polyterpenes. Patent 2258726. Publ. date 20.08.2005 (in Russian).
10. Kvesko A. A., Shpak S. I., Fleysher V. L., Chernysheva T. V. Production of pine flotation oil by hydration of  $\alpha$ -pinene. *Trudy BGTU = Proceedings of BSTU*, 2016, no. 4, pp. 144–148 (in Russian).
11. Kvesko A. A. Liquid-phase oxidation of  $\alpha$ -pinene by air oxygen in the presence of Co (II) stearate and Ni (II) acetylacetonate. «*Tekhnologiya – 2017*»: *materialy XX Mezhdunar. nauchno-tekhnich. konf., Severodonetsk, 21–22 aprelya 2017g.* [«Technology – 2017»: Materials of the XX International. scientific and technical. Conf., Severodonetsk, April 21–22, 2017]. Severodonetsk, 2017, pp. 25–28 (in Russian).
12. Kvesko A. A., Fleysher V. L. Perspective directions of processing of the live turpentine in the Republic of Belarus. *81-ya nauch.-prakt. konf. profes.-prepodavat. sostava, nauch. sotrud. i aspir. (s mezhdunarod. uchasti-yem), tezisy dokladov, Minsk, 1–12 fevralya 2017 g.* [81st scientific-practical. Conf. acad. teach. staff, res. and ЗрЮБ students (with international participation), abstracts, Minsk, February 1–12, 2017]. Minsk, 2017, pp. 13 (in Russian).
13. Grigor'ev A. A. Production of Flotation Agents. *Kataliz i neftekhimiya = Catalysis and petrochemistry*, 2001, no. 9–10, pp. 53–59 (in Russian).
14. Kvesko A. A. Process of liquid-phase oxidation of  $\alpha$ -pinene by air oxygen using various catalytic systems. *68-ya nauch.-prakt. konf. stud. magistr. i aspir., Minsk, 17–22 aprelya 2017 g.* [68th Scientific-Practical. Conf. stud. master. and ЗрЮБ students., Minsk, April 17–22, 2017]. Minsk, 2017, pp. 15–18 (in Russian).
15. Kislitsin A. N., Kablukova A. N., Trofimov A. N. Investigation of the process of liquid-phase initiated oxidation of sulfate  $\alpha$ -pinene by air oxygen. *Msg. 2. Khimija Rastitel'nogo Syr'ja* [Chemistry of plant raw materials], 2003, no. 4, pp. 31–36 (in Russian).

### Информация об авторах

*Сосновская Александра Андреевна* – аспирант, мл. науч. сотрудник, Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, Минск, Республика Беларусь). E-mail: 8shurka8@mail.ru

*Флейшер Вячеслав Леонидович* – канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой, Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, Минск, Республика Беларусь). E-mail: v\_fleisher@list.ru

*Боркина Яна Валерьевна* – магистрант кафедры химической переработки древесины, Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, Минск, Республика Беларусь). E-mail: yanaborkina@mail.ru

### Information about the authors

*Aleksandra A. Sosnovskaya* – Postgraduate student, Junior researcher, Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov Str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: 8shurka8@mail.ru

*Vyacheslav L. Fleisher* – Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Head of the Department, Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov Str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v\_fleisher@list.ru

*Yana V. Borkina* – Master student, Department of Chemical Processing of Wood, Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov Str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: yanaborkina@mail.ru