Сибирский государственный
университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева

«Влияние индекса фибрилляции на прочностные характеристики бумаги при размоле массы высокой концентрации»

Ушаков Александр Васильевич,
Кожухов Виктор Анатольевич,
Хохлов Константин Алексеевич

Научный руководитель:
Академик РАО, д.т.н., профессор
Алашкевич Юрий Давыдович

Размол волокнистой массы
(В зависимости от содержания а.с.в. в водной среде)

Низкая концентрация
(от 1 до 4 %)

Высокая концентрация
(от 5% и выше)

Преимущества процесса размола массы высокой концентрации:

1. **Сохранность исходной длины волокна;**
2. **Увеличение внутренней фибрилляции;**
3. **Увеличение срока службы размалывающих органов;**

Целью данного исследования является изучение роли внешней фибрилляции волокна в обеспечении прочностных свойств бумажного листа при размоле массы высокой концентрации, с учетом силовых особенностей размалывающей гарнитуры.

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева

Угол наклона окружного и прямолинейного ножа.

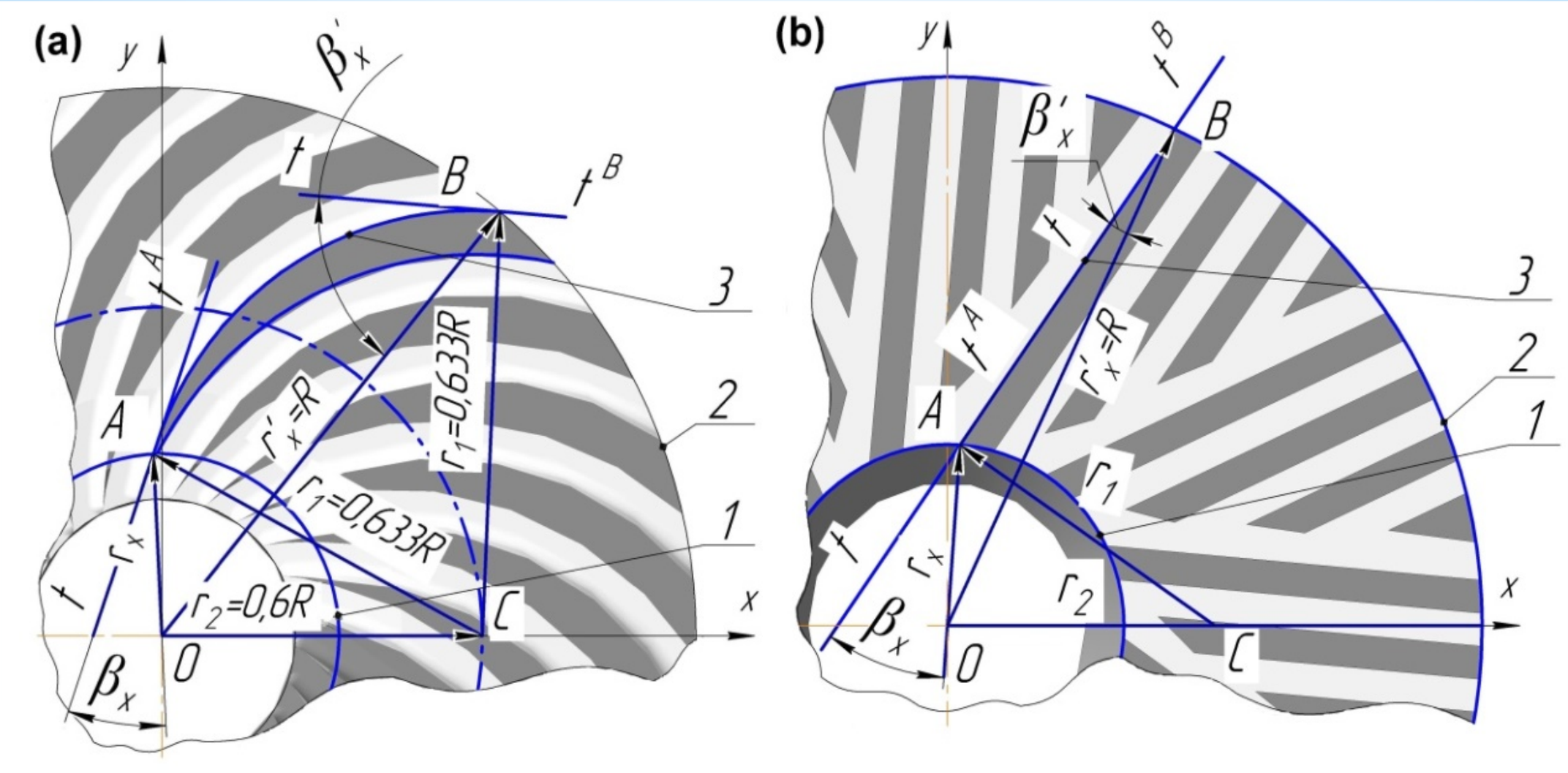


Рис. 1. геометрическое построение окружного и прямолинейного ножа (r1 – радиус кривизны; r2 – радиус центра кривизны; rx – радиус, проведенный из центра кривизны в точку касания; βx – угол между касательной t – tA и радиусом rx проведенным из центра диска O в точку касания A; β’x – угол между касательной t – tB и радиусом r’x проведенным из центра диска O в точку касания B; окружная режущая кромка – 3)

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева

Зависимость изменения угла βx из имеющихся геометрических данных рисунка 1:

$$\beta_x = 90° - \arcsin \frac{r_2 \cdot \sin \angle C}{\sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2 \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot \cos \angle C}} \qquad (1)$$

Аналитическим путем установлено, что угол β_x возрастает в том случае, когда радиус кривизны r_1 равен 0,633R, а радиус центра кривизны r_2 равен 0,6R. На данное конструктивное решение получено два патента на изобретение (Патент №2761544, №2761545)

Сравнительная характеристика касательной силы от угла наклона ножа βx.

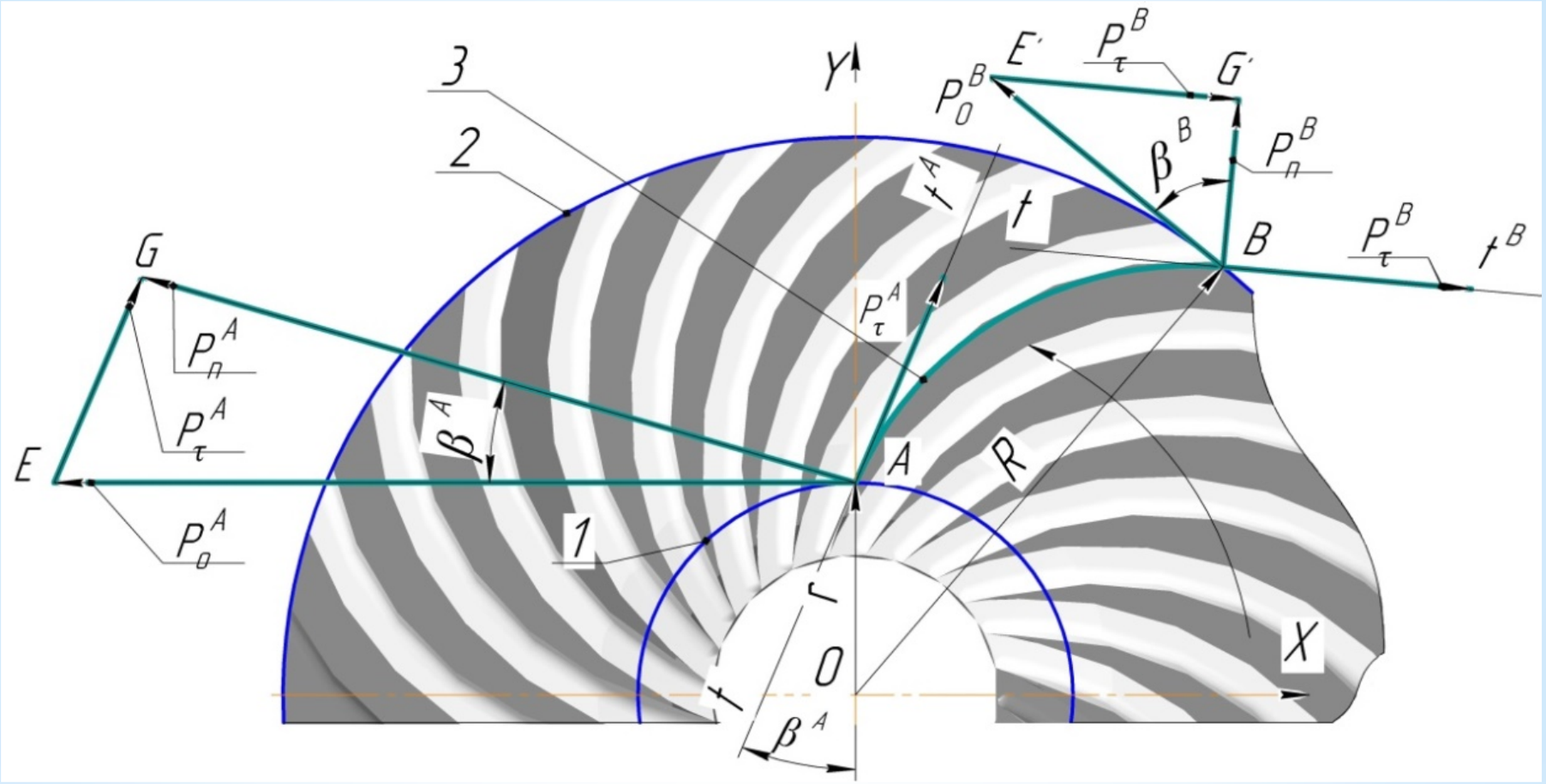
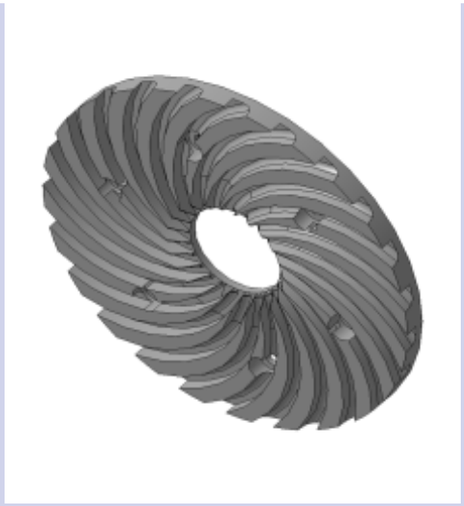
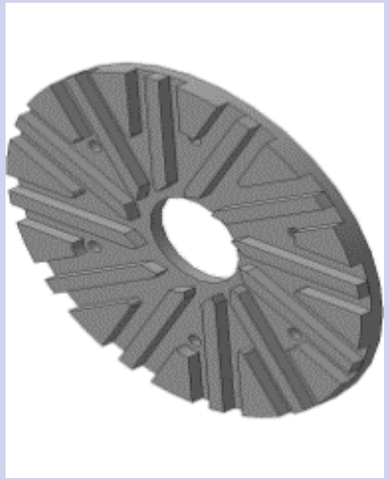


Рис. 2. Фрагмент размалывающей гарнитуры диска ротора с силовыми составляющими окружного ножа

Силовое воздействие в зоне размола за счет касательной составляющей:

$$\frac{P_\tau^B}{P_\tau^A} = \frac{\sin\angle\beta^B \cdot r}{\sin\angle\beta^A \cdot R} \qquad (2)$$

Таблица 1. Сравнительная характеристика различных конструкций гарнитур

	с окружной формой ножей	секторная с прямолинейной формой ножей	с прямолинейными ножами и равномерным их распределением
вид гарнитуры			
r, мм	38	38	38
R, мм	100	100	100
β^A, °	22,6	22,6	22,6
β^B, °	54,1	8,2	11,4
P^B_τ, Н	102,8	18,1	25,1

Размол волокнистого полуфабриката

Размолу подвергалась сульфатная беленая целлюлоза из лиственных пород древесины марки ЛС 1 – полуфабрикат компании группы «Илим» из города Братск.

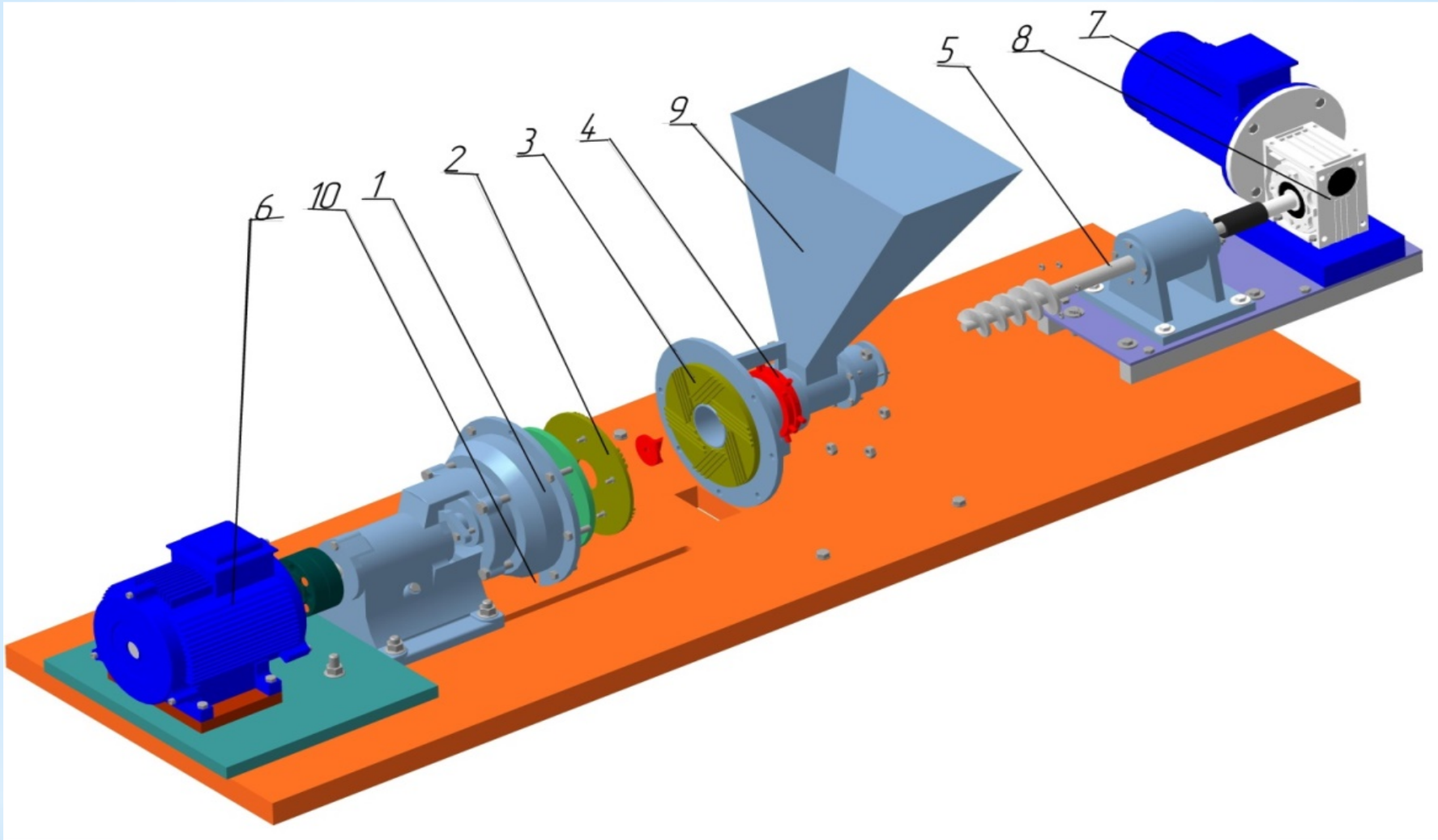


Рис. 3. Схема дисковой мельницы
(1 – зона размола; 2 –ротор, 3 – статор, 4 – присадочное устройство; 5 – шнековый питатель; 6 – электродвигатель ротора; 7 – электродвигатель привода шнекового питателя; 8 – червячный редуктор; 9 – бункер; 10 – выходное отверстие)

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева

Методы испытаний

Определение индекса фибрилляции с помощью анализатора волокна *Morfi neo* (*ISO 16065-2*):

$$Fib = \frac{\sum_{i=1}^{N} F_i}{\sum_{i=1}^{N} L_i} \cdot 100\% \qquad (3)$$

Где F_i - сумма, составляющая общую длину всех отдельных фибрилл на волокне f_X (f_A, f_B, f_C…) как показано на расчетной схеме рисунка 4;

L_i - длина волокна.

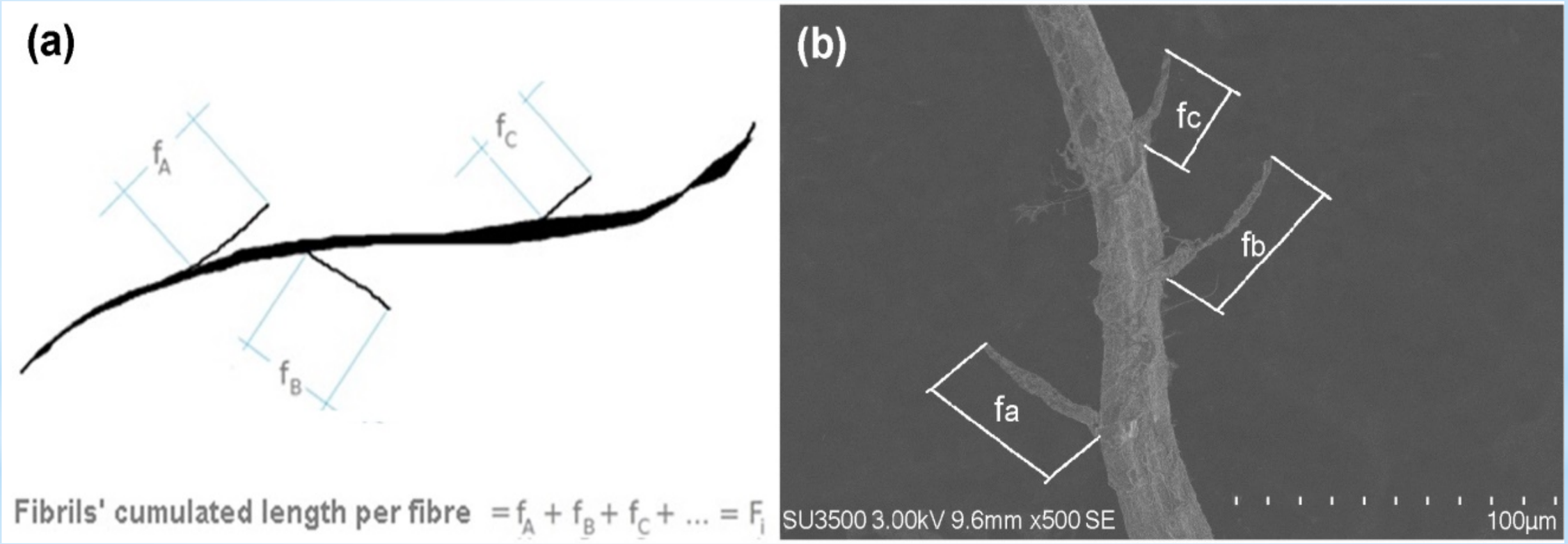
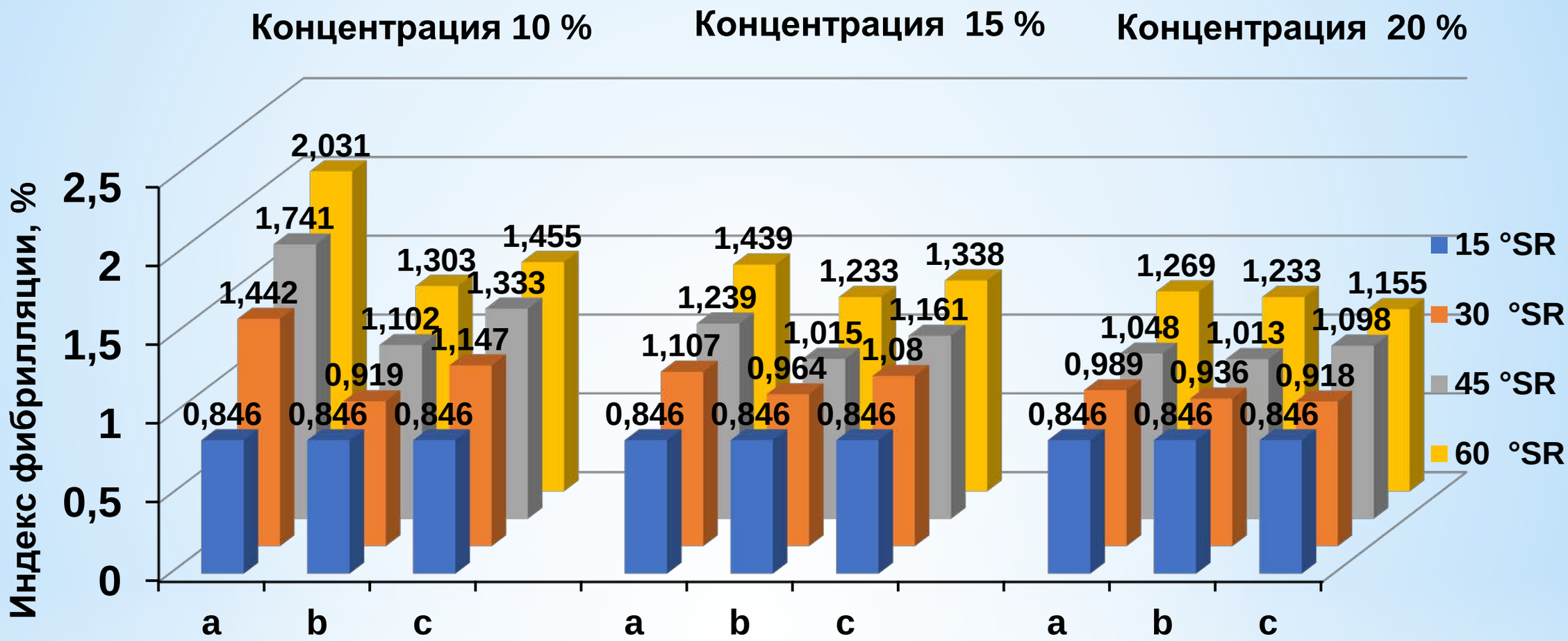


Рис.4. Распознавание внешних фибрилл: (a) – с помощью анализатора волокна; (b) – с помощью сканирующей электронной микроскопии Hitachi SU 3500

Изменение индекса фибрилляции.



Конструкции гарнитур : (a) - с окружной формой ножей ; (b) - секторная с прямолинейной формой ножей;
(c) - с прямолинейными ножами и равномерным их распределением

Рис. 5. Зависимость индекса фибрилляции от роста степени помола при различной консистенции волокнистой массы с использованием различных конструкций размалывающих гарнитур

Снимки волокон с помощью сканирующей электронной микроскопии (SEM) Hitachi SU 3500

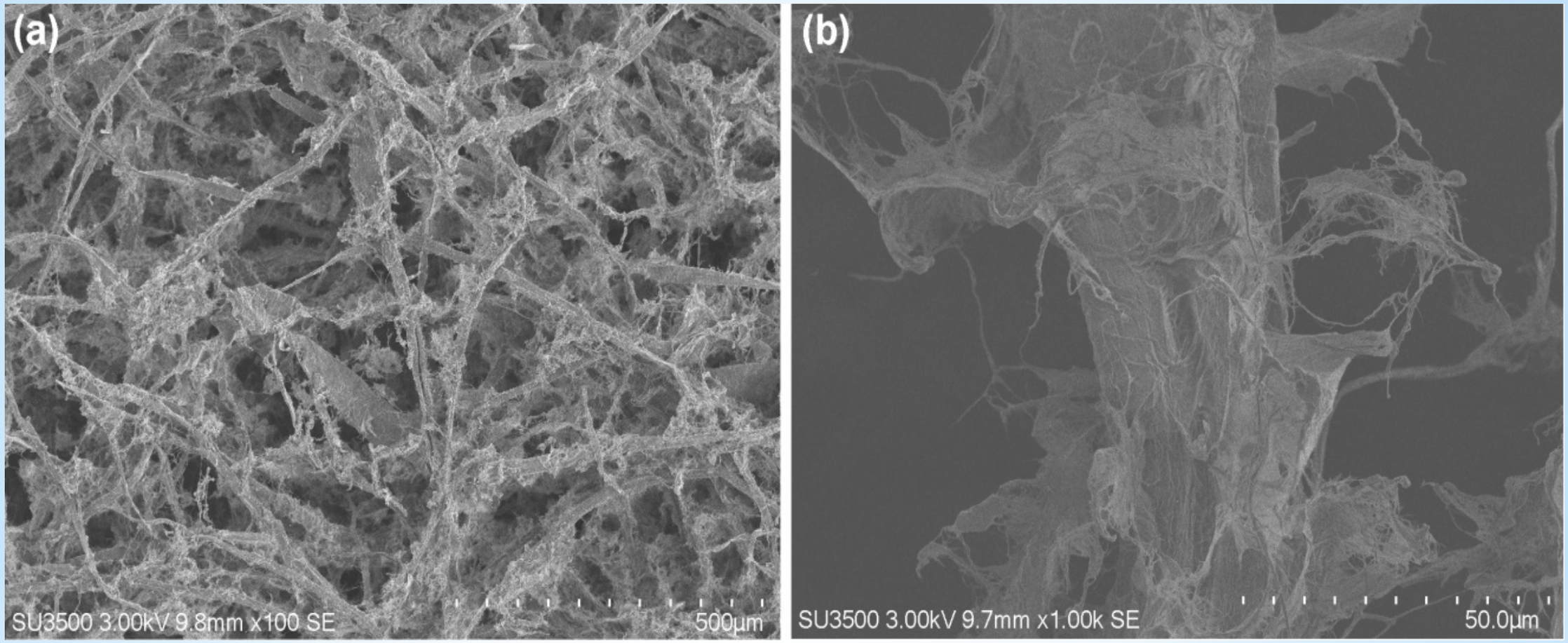


Рис. 6. SEM – изображения морфологической структуры волокон размолотых при использовании гарнитуры с окружной формой ножей; (a) – общий вид волокон; (b) – вид единичного волокна.

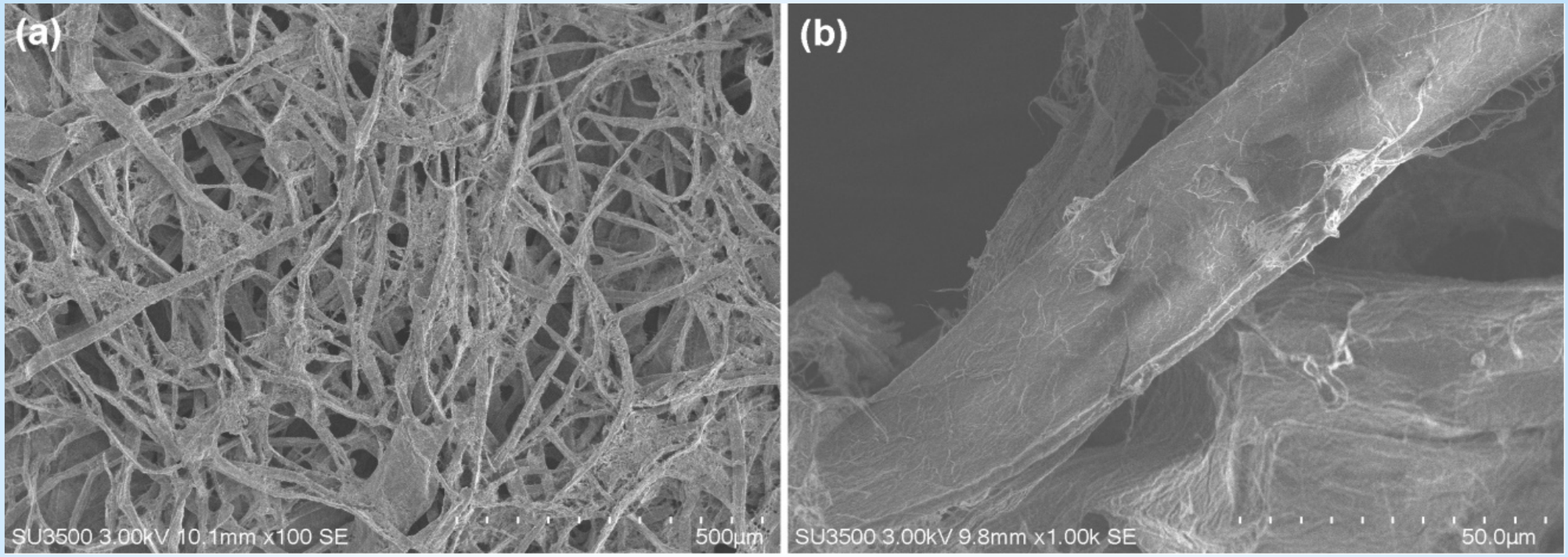


Рис. 7. SEM – изображения морфологической структуры волокон размолотых при использовании секторной гарнитуры с прямолинейной формой ножей; (a) – общий вид волокон; (b) – вид единичного волокна.

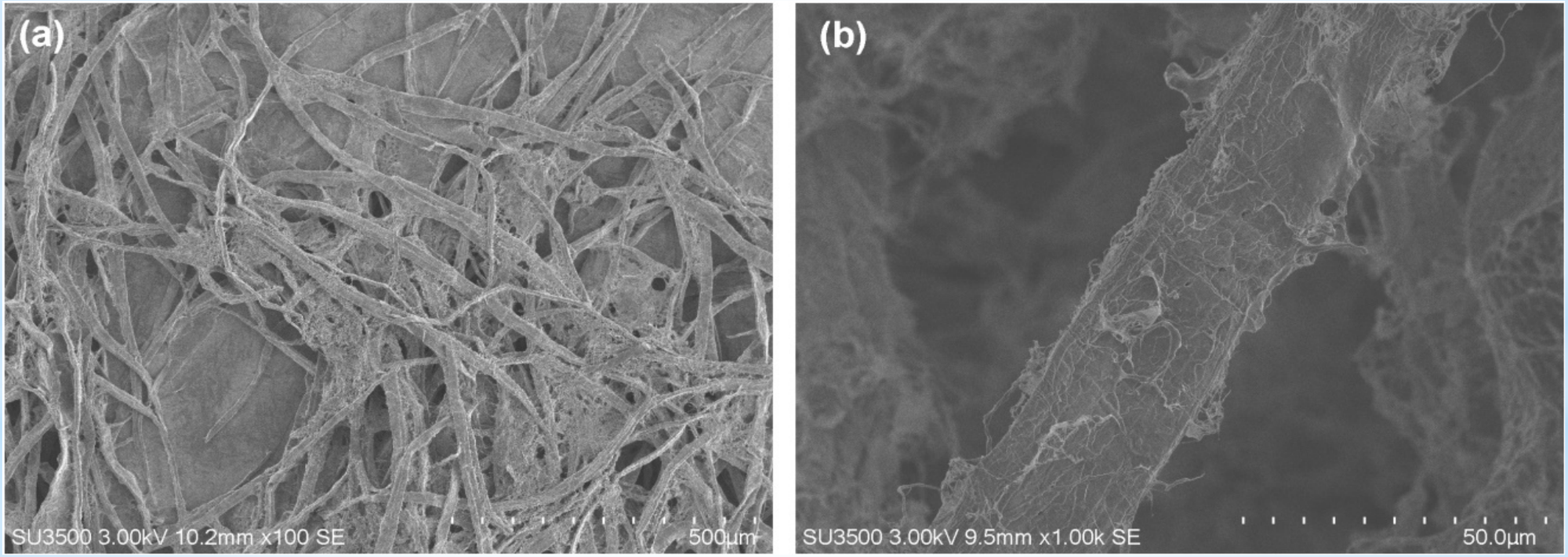


Рис. 8. SEM – изображения морфологической структуры волокон размолотых при использовании гарнитуры с прямолинейными ножами и равномерным их распределением; (a) – общий вид волокон; (b) – вид единичного волокна.

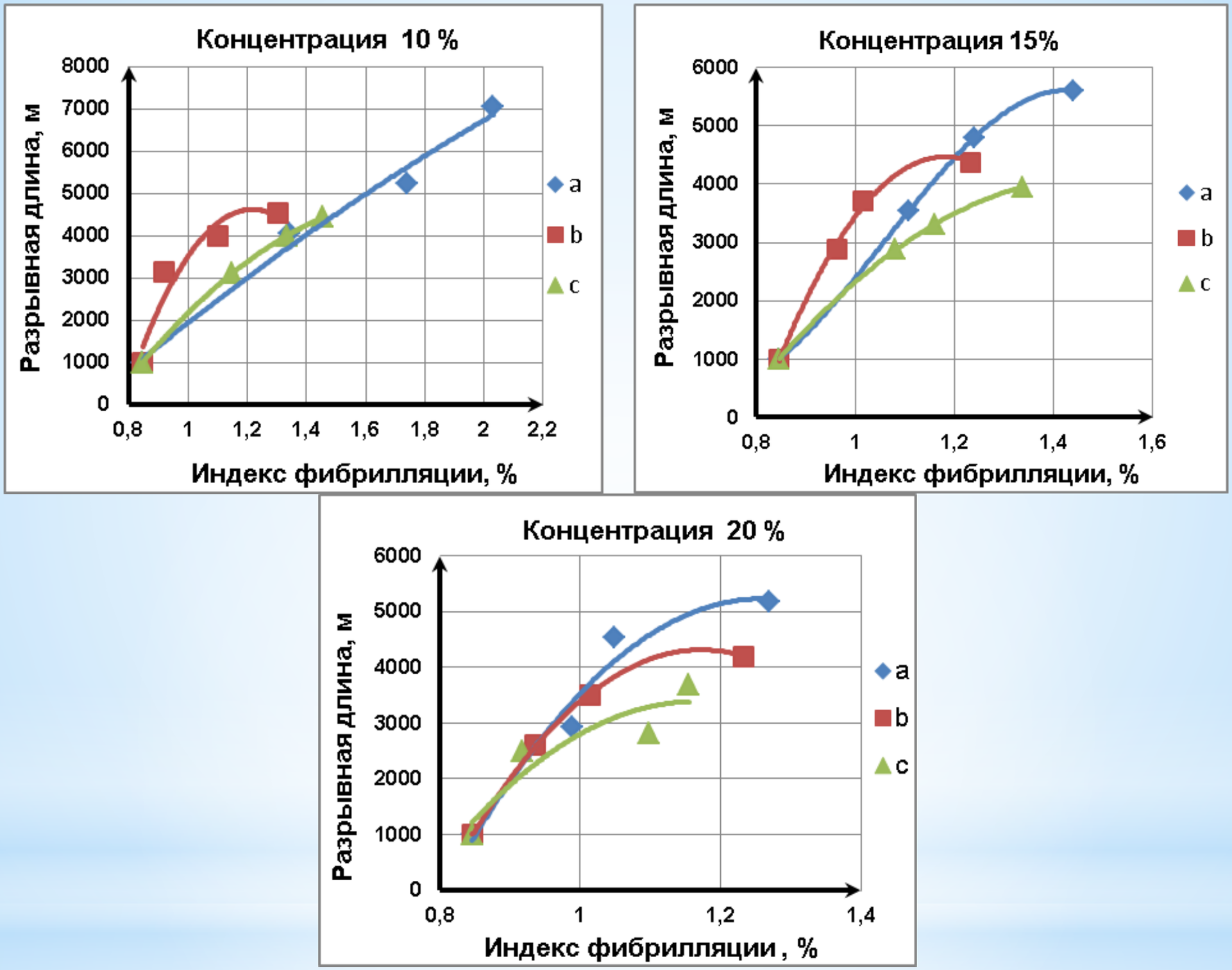


Рис. 9. Зависимость разрывной длины от индекса фибрилляции при различной концентрации волокнистой массы с использованием различных конструкций гарнитур: (a) – с окружной формой ножей; (b) – секторная с прямолинейной формой ножей; (c) – с прямолинейными ножами и равномерным их распределением.

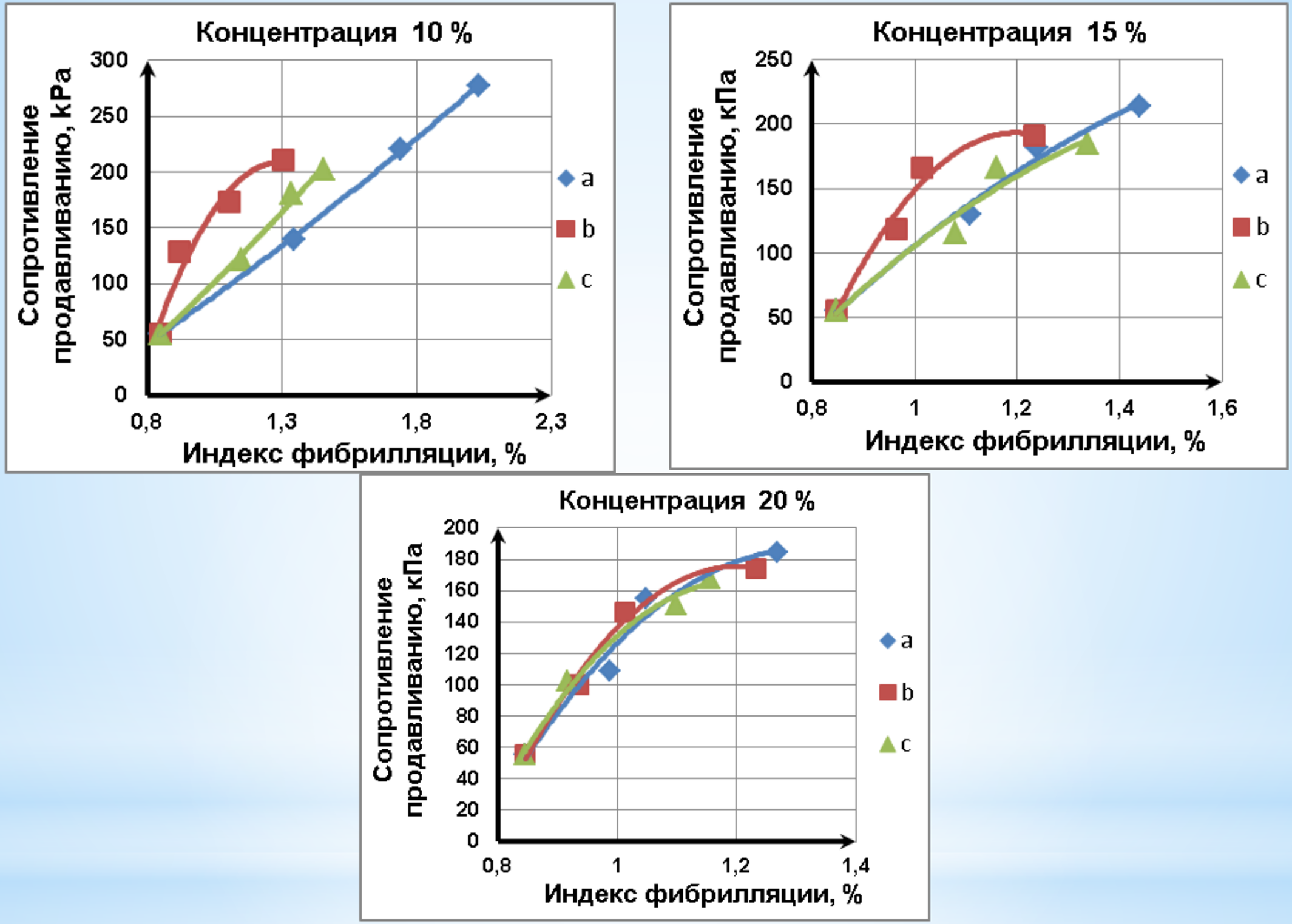
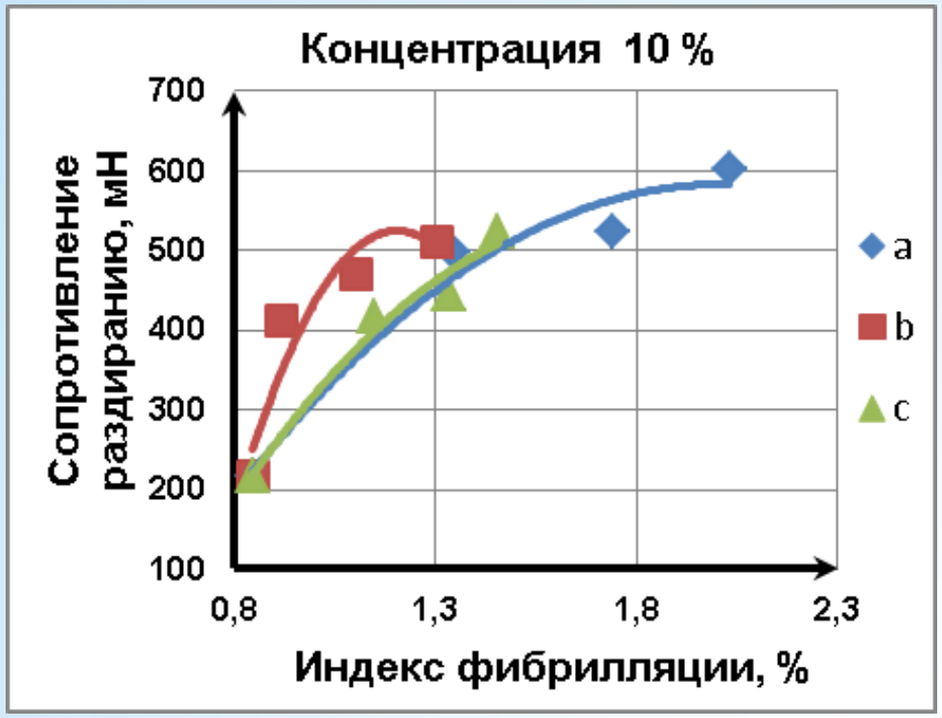
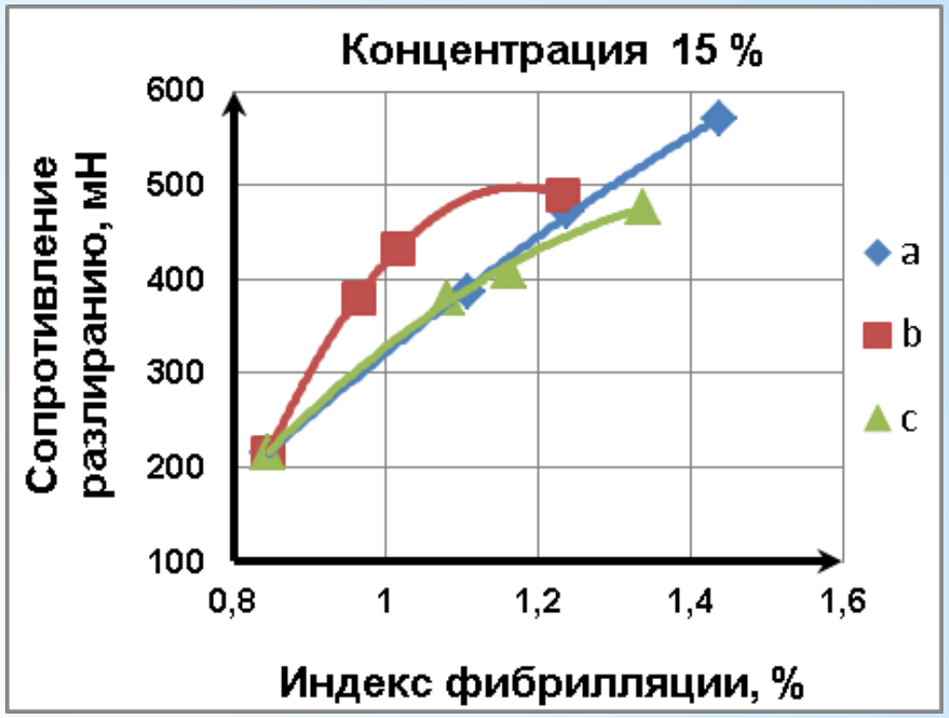


Рис. 10. Зависимость сопротивления продавливанию от индекса фибрилляции при различной концентрации волокнистой массы с использованием различных конструкций гарнитур: (a) – с окружной формой ножей; (b) – секторная с прямолинейной формой ножей; (c) – с прямолинейными ножами и равномерным их распределением.





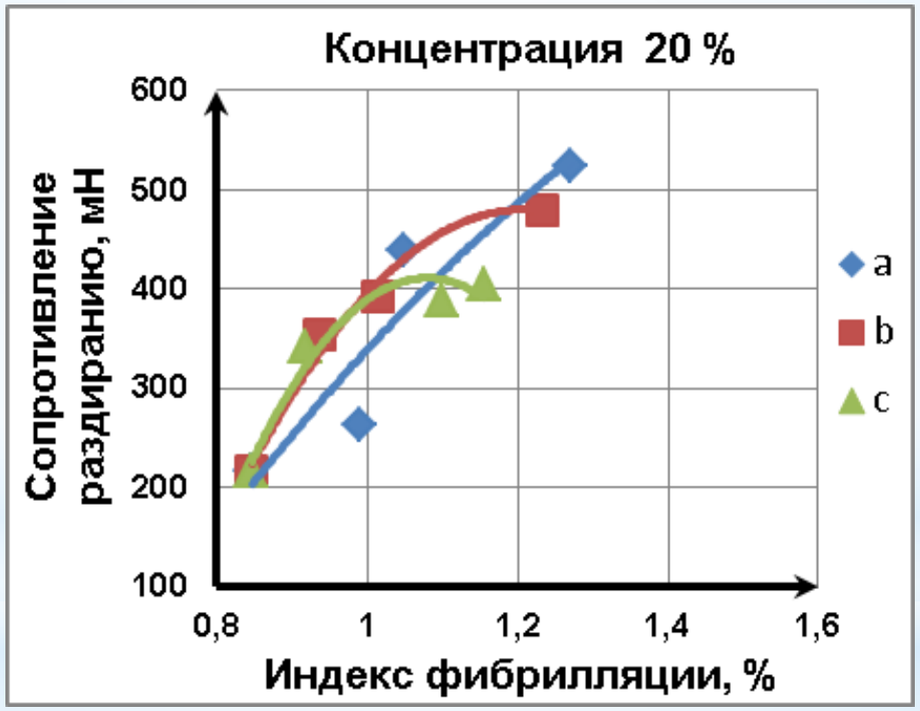


Рис. 11. Зависимость сопротивления раздиранию от индекса фибрилляции при различной концентрации волокнистой массы с использованием различных конструкций гарнитур: (a) – с окружной формой ножей; (b) – секторная с прямолинейной формой ножей; (c) – с прямолинейными ножами и равномерным их распределение

Выводы:

1.Установлено, что при размоле массы высокой концентрации наблюдается ярко выраженная внешняя фибрилляция волокон, о чем свидетельствуют данные индекса фибрилляции. Между индексом фибрилляции и физико-механическими характеристиками имеется тесная взаимосвязь. Увеличение индекса фибрилляции на 50 % (при степени помола 60 °ШР) дает рост физико-механических характеристик до 40 % (разрывной длины, сопротивления продавливанию и раздиранию)

2.Побудителем фибриллирующего воздействия на волокно в процессе размола массы высокой концентрации могут являться не только силы межволоконного трения, но и касательные силы, возникающие на ножах размалывающих гарнитур. Исходя из данных индекса фибрилляции видно, что наиболее высокая внешняя фибрилляция наблюдается у волокнистой массы, размолотой при использовании гарнитуры с окружной формой ножей у которой касательная сила имеет более высокое количественное значение, чем у традиционных гарнитур с прямолинейной формой ножей. Наиболее высокая внешняя фибрилляция наблюдается у волокнистой массы, размолотой при концентрации 10 %.