

УДК 676.22.017:547.914

**С. А. Гордейко**, аспирант (БГТУ);**Н. В. Черная**, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой (БГТУ);**Н. В. Жолнерович**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);**В. Л. Флейшер**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);**А. А. Драпеза**, младший научный сотрудник (БГТУ);**М. В. Андрихова**, аспирант (БГТУ); **Д. С. Макарова**, студентка (БГТУ)

### ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ТАРОУПАКОВОЧНОЙ БУМАГИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ

Азотсодержащие соединения синтезированы впервые на кафедре химической переработки древесины. Эти полимеры, в состав которых входят амино- и амидогруппы, отличаются от традиционных водорастворимостью, регулярностью и линейностью. Сущность получения исследуемых азотсодержащих соединений основана на химическом взаимодействии диэтиленetriamina с канифолью и адипиновой (фумаровой) кислотой. Амино- и амидогруппы участвуют в образовании дополнительных упрочняющих связей. Проведенные испытания образцов бумаги, содержащие в своей композиции азотсодержащие соединения, показали, что новые синтезированные полимеры проявляют упрочняющее действие аналогично действию импортных соединений Maresin и Melapret.

Nitrogen-containing compounds were synthesized for the first time in the department of chemical processing of wood. These polymers, which contain amino and amidogroups, different water solubility, regularity and linearity. The essence of obtaining nitrogen compounds studied based on the chemical interaction with rosin diethylenetriamine and adipic (fumaric) acid. Amino and amidogroups participate in the formation of additional strengthening ties. The tests of samples of paper containing his compositions containing compounds, have shown that the new synthesized polymers exhibit strengthening effect similar to the effect of import connections Maresin and Melapret.

**Введение.** К прочности тароупаковочной бумаги, используемой для упаковки пищевых продуктов и промышленных товаров, предъявляются высокие требования. Особую роль играют упрочняющие добавки, без которых достаточно трудно обеспечить высокие значения таких показателей, как разрушающее усилие в сухом состоянии, разрывная длина, жесткость при разрыве, поглощение энергии при разрыве.

Кроме того, современное развитие бумажного и картонного производства характеризуется необходимостью замены дефицитного и дорогостоящего первичного волокнистого сырья (целлюлозы) на доступное и более дешевое вторичное сырье (макулатуру). Для целлюлозного сырья характерны однородный фракционный состав и стабильные бумагообразующие свойства, в то время как макулатурное сырье обладает неоднородным фракционным составом и, следовательно, нестабильными бумагообразующими свойствами [1].

Поэтому использование макулатуры в технологии тароупаковочной бумаги диктует необходимость применения высокоэффективных упрочняющих добавок. На ведущих бумажных и картонных предприятиях Республики Беларусь, стран СНГ и за рубежом широко применяют упрочняющие добавки, к числу которых относятся Maresin и Melapret. Однако их высокая стоимость сдерживает применение этих соединений в композиции тароупаковочной бу-

маги из-за повышения себестоимости готовой продукции.

Одним из перспективных способов упрочнения макулатурных видов бумаги, используемых в качестве тароупаковочной, относится способ, основанный на применении в их композиции азотсодержащих соединений. Их упрочняющее действие может проявляться в образовании дополнительных связей между присутствующими азотсодержащими группами с гидроксильными группами целлюлозных волокон [2]. Следствием этого является повышение прочности бумаги.

Цель работы – разработка технологического режима использования новых синтезированных азотсодержащих соединений для повышения прочности тароупаковочной бумаги.

**Основная часть.** Образцы тароупаковочной бумаги массой 80 г/м<sup>2</sup> изготавливали на листоотливном аппарате «Rapid-Ketten» (фирма «ErnstNaage», Германия) из бумажной массы, представляющей собой дисперсную систему, в которой дисперсная фаза – волокна, а дисперсионная среда – вода.

Физико-механические испытания образцов бумаги проводили на комплекте приборов фирмы «Lorentzen & Wettre» (Швеция). При этом разрывную длину ( $R$ , м), сопротивление при разрыве ( $S$ , кН/м), удлинение и растяжение ( $L$ , % от первоначальной длины), поглощение энергии ( $W$ , Дж/м<sup>2</sup>), модуль Юнга ( $Z$ , ГПа), жесткость образцов бумаги ( $E$ , кН/м) определяли

на горизонтальной машине TensileTester по ISO 1924/24, SCAN P67, TAPPI T494.

Для оценки прочности образцов бумаги при их разрыве использовали следующие показатели [3]:

– сопротивление при разрыве

$$S = \frac{F}{b}, \quad (1)$$

где  $F$  – максимальное усилие растяжения, Н;  
 $b$  – исходная ширина образца, мм;  
– растяжение

$$R = \frac{100 \cdot S}{l}, \quad (2)$$

где  $S$  – удлинение при разрыве, мм;  $l$  – первоначальная длина образца для испытания, мм;  
– поглощение энергии

$$W = \frac{1000 \cdot U}{l \cdot b}, \quad (3)$$

где  $U$  – площадь под кривой усилие – удлинение, мДж;  $b$  – первоначальная ширина образца для испытания, мм;  
– жесткость

$$E = \frac{C \cdot l}{b}, \quad (4)$$

где  $C$  – максимальный наклон кривой на графике в координатах усилие – удлинение (Н/мм);  
– модуль Юнга

$$Z = \frac{E}{t}, \quad (5)$$

где  $E$  – жесткость при разрыве, кН/м;  $t$  – толщина образца для испытания, мм;  
– разрывная длина

$$R = 10^{-3} \cdot \frac{F \cdot L}{m \cdot 9,81}, \quad (6)$$

где  $F$  – разрывное усилие, Н;  $L$  – длина образца для испытания, мм;  $m$  – вес образца для испытания между зажимами, г.

Для моделирования нестабильных макулатурных волокон в дисперсной системе были использованы стандартные волокна целлюлозы лиственной сульфатной (ГОСТ 28172–89), имеющие однородный фракционный состав со средней длиной 0,8–1,2 мм.

Сущность приготовления волокнистой суспензии заключалась в том, что роспуск волокнистого сырья проводили в дезинтеграторе марки БМ-3. Распушенную 4%-ную волокнистую массу размалывали в мельнице НДМ-3 комплекта ЛКР-1. Степень помола волокнистой суспензии составляла 40°ШР [3].

Образцы бумаги отличались содержанием в их структуре азотсодержащих соединений, впервые синтезированных на кафедре химической переработки древесины при использовании фумаровой (ФК), адипиновой (АК) кислоты, диэтилентриамина (ДЭТА) и канифоли.

Их характеристика приведена в табл. 1. Азотсодержащие соединения вводили в волокнистую суспензию, их расход увеличивали от 0,5 до 2,0 % от а. с. в. ( $R$ , %).

Новые синтезированные азотсодержащие соединения (номера 1–7) отличались от традиционно используемых Maresin и Melapret величиной рН рабочего раствора, имеющего концентрацию 2%, и зарядом макромолекул. Установлено, что водные 2%-ные растворы новых синтезированных соединений имеют рН 9,25–11,20, а для Maresin и Melapret рН составляет 3,42–3,75. Из табл. 1 видно, что заряд макромолекул синтезированных соединений существенно отличается от заряда Maresin и Melapret. Кислотное число новых синтезированных азотсодержащих соединений практически одинаково и находится в диапазоне 12,0–12,6 мг КОН/г для соединения с ФК и 15,0 мг КОН/г для соединения с АК.

Таблица 1

Характеристика азотсодержащих соединений

| Номер азотсодержащего соединения | Состав соединения          | Свойства азотсодержащих соединений |                           |           |
|----------------------------------|----------------------------|------------------------------------|---------------------------|-----------|
|                                  |                            | рН                                 | Кислотное число, мг КОН/г | Заряд, мВ |
| Новые синтезированные            |                            |                                    |                           |           |
| Номер 1                          | ФК + ДЭТА + канифоль (5%)  | 9,25                               | 12,6                      | –18       |
| Номер 2                          | ФК + ДЭТА + канифоль (10%) | 9,55                               | 12,8                      | –20       |
| Номер 3                          | ФК + ДЭТА + канифоль (15%) | 9,45                               | 12,8                      | –19       |
| Номер 4                          | АК + ДЭТА (1 : 1,2)        | 11,00                              | 15,0                      | +22       |
| Номер 5                          | АК + ДЭТА + канифоль (5%)  | 10,8                               | 15,0                      | –22       |
| Номер 6                          | АК + ДЭТА + канифоль (10%) | 11,00                              | 15,0                      | –97       |
| Номер 7                          | АК + ДЭТА + канифоль (20%) | 11,20                              | 15,0                      | +236      |
| Традиционно используемые         |                            |                                    |                           |           |
| Номер 8                          | Maresin                    | 3,75                               | –                         | +758      |
| Номер 9                          | Melapret                   | 3,42                               | –                         | +675      |

Таблица 2

## Значения прочности образцов бумаги при ее разрыве

| R,<br>% от<br>а. с. в.                                    | Разрушающее<br>усилие<br>в сухом<br>состоянии, Н | Сопротив-<br>ление раз-<br>рыву, кН/м | Разрыв-<br>ная дли-<br>на, км | Удли-<br>нение,<br>мм | Растя-<br>жение,<br>% | Поглощение<br>энергии,<br>Дж/м <sup>2</sup> | Модуль<br>Юнга, ГПа | Жесткость<br>при разры-<br>ве, кН/м |
|---|--|---------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|---|---------------------|-------------------------------------|
| Волокнистая суспензия                                     |  |                                       |                               |                       |                       |   |                     |                                     |
| 0   | 43,5   | 2,90                                  | 2,22                          | 1,70                  | 1,70                  | 34,92                                       | 5,175               | 414,0                               |
| Волокнистая суспензия + азотсодержащее соединение номер 1 |  |                                       |                               |                       |                       |   |                     |                                     |
| 0,5   | 21,1   | 1,41                                  | 1,79                          | 1,29                  | 1,29                  | 12,40                                       | 0,975               | 233,9                               |
| 1,0   | 23,4   | 1,56                                  | 1,99                          | 1,18                  | 1,18                  | 13,60                                       | 1,284               | 283,8                               |
| 1,5   | 22,8   | 1,52                                  | 1,94                          | 1,03                  | 1,03                  | 10,09                                       | 1,080               | 262,5                               |
| 2,0   | 24,6   | 1,64                                  | 2,09                          | 1,24                  | 1,24                  | 13,96                                       | 1,211               | 284,5                               |
| Волокнистая суспензия + азотсодержащее соединение номер 2 |  |                                       |                               |                       |                       |   |                     |                                     |
| 0,5   | 23,2   | 1,54                                  | 1,97                          | 1,00                  | 1,00                  | 11,59                                       | 1,285               | 320,0                               |
| 1,0   | 28,5   | 1,90                                  | 2,42                          | 1,36                  | 1,36                  | 18,02                                       | 1,244               | 325,8                               |
| 1,5   | 25,2   | 1,68                                  | 2,14                          | 1,09                  | 1,09                  | 12,16                                       | 1,187               | 295,5                               |
| 2,0   | 23,9   | 1,60                                  | 2,03                          | 1,30                  | 1,30                  | 14,21                                       | 0,995               | 249,7                               |
| Волокнистая суспензия + азотсодержащее соединение номер 3 |  |                                       |                               |                       |                       |   |                     |                                     |
| 0,5   | 27,1   | 1,81                                  | 2,3                           | 1,48                  | 1,48                  | 19,11                                       | 1,172               | 303,6                               |
| 1,0   | 22,4   | 1,49                                  | 1,9                           | 1,39                  | 1,39                  | 14,44                                       | 0,944               | 242,6                               |
| 1,5   | 29,9   | 2,00                                  | 2,54                          | 1,17                  | 1,17                  | 15,90                                       | 1,436               | 360,5                               |
| 2,0   | 24,4   | 1,63                                  | 2,07                          | 1,00                  | 1,00                  | 11,13                                       | 1,178               | 312,1                               |
| Волокнистая суспензия + азотсодержащее соединение номер 4 |  |                                       |                               |                       |                       |   |                     |                                     |
| 0,5   | 26,3   | 1,75                                  | 2,24                          | 1,18                  | 1,18                  | 14,27                                       | 1,283               | 315,7                               |
| 1,0   | 30   | 2,00                                  | 2,55                          | 1,60                  | 1,60                  | 22,60                                       | 1,211               | 300,3                               |
| 1,5   | 26,7   | 1,78                                  | 2,27                          | 1,68                  | 1,68                  | 21,30                                       | 1,090               | 267,1                               |
| 2,0   | 27,1   | 1,81                                  | 2,31                          | 1,17                  | 1,17                  | 14,42                                       | 1,223               | 315,6                               |
| Волокнистая суспензия + азотсодержащее соединение номер 5 |  |                                       |                               |                       |                       |   |                     |                                     |
| 0,5   | 41,3   | 2,75                                  | 1,98                          | 1,48                  | 1,48                  | 27,77                                       | 5,055               | 404,4                               |
| 1,0   | 39,9   | 2,66                                  | 2,15                          | 1,42                  | 1,42                  | 25,58                                       | 4,769               | 381,5                               |
| <b>1,5</b>  | <b>52,2</b>                                      | <b>3,48</b>                           | <b>2,91</b>                   | <b>1,34</b>           | <b>1,34</b>           | <b>31,16</b>                                | <b>6,561</b>        | <b>524,9</b>                        |
| <b>2,0</b>  | <b>56,2</b>                                      | <b>3,75</b>                           | <b>2,99</b>                   | <b>1,62</b>           | <b>1,62</b>           | <b>42,38</b>                                | <b>6,803</b>        | <b>544,3</b>                        |
| Волокнистая суспензия + азотсодержащее соединение номер 6 |  |                                       |                               |                       |                       |   |                     |                                     |
| 0,5   | 47,3   | 3,15                                  | 2,42                          | 1,34                  | 1,34                  | 28,41                                       | 6,031               | 482,5                               |
| 1,0   | 42,5   | 2,83                                  | 2,33                          | 1,51                  | 1,51                  | 29,28                                       | 4,998               | 399,9                               |
| 1,5   | 44,6   | 2,98                                  | 2,57                          | 1,50                  | 1,50                  | 30,61                                       | 5,391               | 431,3                               |
| 2,0   | 43,3   | 2,89                                  | 1,95                          | 1,77                  | 1,77                  | 35,81                                       | 5,055               | 404,4                               |
| Волокнистая суспензия + азотсодержащее соединение номер 7 |  |                                       |                               |                       |                       |   |                     |                                     |
| <b>0,5</b>  | <b>51,3</b>                                      | <b>3,42</b>                           | <b>2,46</b>                   | <b>1,47</b>           | <b>1,47</b>           | <b>34,46</b>                                | <b>6,355</b>        | <b>508,4</b>                        |
| 1,0   | 50,2   | 3,35                                  | 2,28                          | 1,06                  | 1,06                  | 22,99                                       | 6,907               | 552,5                               |
| 1,5   | 53,2   | 3,55                                  | 2,41                          | 1,52                  | 1,52                  | 36,85                                       | 6,601               | 528,1                               |
| <b>2,0</b>  | <b>55,6</b>                                      | <b>3,71</b>                           | <b>2,47</b>                   | <b>1,53</b>           | <b>1,53</b>           | <b>39,53</b>                                | <b>6,997</b>        | <b>559,8</b>                        |
| Волокнистая суспензия + азотсодержащее соединение номер 8 |  |                                       |                               |                       |                       |   |                     |                                     |
| 0,5   | 46,5   | 3,10                                  | 2,33                          | 1,19                  | 1,19                  | 24,61                                       | 6,327               | 506,1                               |
| <b>1,0</b>  | <b>56,7</b>                                      | <b>3,78</b>                           | <b>2,73</b>                   | <b>1,37</b>           | <b>1,37</b>           | <b>35,59</b>                                | <b>7,496</b>        | <b>599,6</b>                        |
| 1,5   | 46,7   | 3,12                                  | 1,97                          | 1,10                  | 1,10                  | 22,65                                       | 6,342               | 507,4                               |
| 2,0   | 40,6   | 2,71                                  | 1,82                          | 1,20                  | 1,20                  | 22,53                                       | 5,476               | 438,0                               |
| Волокнистая суспензия + Maresin                           |  |                                       |                               |                       |                       |   |                     |                                     |
| 0,5   | 52,1   | 4,14                                  | 2,72                          | 1,78                  | 1,78                  | 51,34                                       | 7,191               | 575,3                               |
| 1,0   | 47,5   | 3,16                                  | 2,04                          | 1,10                  | 1,10                  | 22,57                                       | 6,215               | 497,2                               |
| 1,5   | 50,6   | 3,37                                  | 2,82                          | 1,76                  | 1,76                  | 41,63                                       | 5,701               | 456,1                               |
| 2,0   | 49,8   | 3,32                                  | 2,75                          | 1,69                  | 1,69                  | 38,80                                       | 5,684               | 454,7                               |
| Волокнистая суспензия + Melapret                          |  |                                       |                               |                       |                       |   |                     |                                     |
| 0,5   | 59,1   | 3,94                                  | 2,89                          | 1,30                  | 1,30                  | 34,21                                       | 7,710               | 616,8                               |
| 1,0   | 51,6   | 3,44                                  | 2,78                          | 1,21                  | 1,21                  | 27,87                                       | 6,803               | 544,3                               |
| 1,5   | 56,7   | 3,78                                  | 2,66                          | 1,69                  | 1,69                  | 44,63                                       | 6,517               | 521,3                               |
| 2,0   | 51,4   | 3,43                                  | 2,27                          | 1,42                  | 1,42                  | 33,14                                       | 6,461               | 516,9                               |

Результаты испытаний изготовленных образцов бумаги с применением новых синтезированных азотсодержащих соединений и традиционно используемых соединений представлены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что образцы бумаги, в композиции которой присутствуют новые синтезированные азотсодержащие соединения номер 5 (АК + ДЭТА), номер 6 (АК + ДЭТА + канифоль (5%)), номер 7 (АК + ДЭТА + канифоль (10%)), номер 8 (АК + ДЭТА + канифоль (20%)), обладают прочностью, не уступающей прочности образцов бумаги, содержащих традиционно используемые азотсодержащие соединения Maresin и Melapret. Об этом свидетельствуют повышение разрушающего усилия в сухом состоянии от 26,3 до 56,7 Н (в 2,2 раза), разрывной длины от 1,82 до 2,99 км (в 1,6 раза), поглощение энергии от 14,27 до 42,38 Дж/м<sup>2</sup> (в 2,9 раза), жесткости от 267,1 до 599,6 кН/м (в 2,2 раза), модуля Юнга от 1,090 до 7,496 ГПа (в 6,9 раза).

Выделенные значения приведенных показателей качества для азотсодержащих соединений номер 5 (расход 1,5 и 2,0%), номер 7 (расход 0,5 и 2,0%), номер 8 (расход 1,0% от а. с. в.) свидетельствуют о достаточно высокой эффективности синтезированных нами соединений при упрочнении образцов бумаги.

**Заключение.** Азотсодержащие соединения, полученные впервые на кафедре химической переработки древесины путем химического взаимодействия адипиновой (фумаровой) кислоты с диэтилентриамином и канифолью, имеют рН 9,25–11,20, кислотное число 12,6–15,0 мг КОН/г и заряд от –97 до +236 мВ. Установлено, что высокими упрочняющими свойствами обладают соединения, в состав которых входит адипиновая кислота с диэтилентриамином и канифолью. При их расходе 1,5 и 2,0% (номер 5), 0,5 и 2,0% (номер 7), 1,0% от а. с. в. (номер 8) обеспечивается требуемая прочность бумаги, так как новые синтезированные полимеры проявляют упрочняющее действие аналогично действию импортных соединений Maresin и Melapret.

### Литература

1. Черная, Н. В. Теория и технология клеевых видов бумаги и картона / Н. В. Черная. – Минск: БГТУ, 2009. – 394 с.
2. Фляте, Д. М. Свойства бумаги / Д. М. Фляте. – М.: Лесная промышленность, 1976. – 648 с.
3. Черная, Н. В. Технология бумаги и картона: метод. указания к лабораторным работам / Н. В. Черная, Н. В. Жолнерович. – Минск: БГТУ, 2006. – 56 с.

*Поступила 01.03.2013*