УДК 677.03
DOI 10.47367/0021-3497_2025_5_175

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ "МИКРОНЕЙР" У ВОЛОКОН ХЛОПКА РАЗЛИЧНОЙ ЛИНЕЙНОЙ ПЛОТНОСТИ И ЗРЕЛОСТИ

FEATURES OF DETERMINING THE "MICRONAIR" INDICATOR FOR COTTON FIBERS OF VARIOUS LINEAR DENSITY AND MATURITY

Е.Л. ПАШИН

E.L. PASHIN

(Костромская государственная сельскохозяйственная академия)

(Kostroma State Agricultural Academy)

E-mail: evgpashin@yandex.ru

В работе исследован инструментальный метод определения показателя "Микронейр" (Mic), который используется при оценке качества волокон хлопка с применением инструментальных систем HVI и LVI фирмы USTER. Определение Mic основано на учете степени сопротивления Q прохождению воздуха пробы волокон. Полагают, что Q зависит от тонины волокон, связанной с их линейной плотностью T и зрелостью M, обусловленной размером внутренней полости. Проведено исследование указанной двойственной зависимости величины Mic от T и M. Установлено, что при испытании пробы волокон определенной массы, располагаемой в камере постоянных размеров, количество волокон в пробе будет зависеть от толщины их стенки. Различия могут достигать до 1,4 раза. Это в условиях неизменности условного диаметра волокон будет, как следствие, вызывать формирование разной объемной плотности волокнистой массы в камере, а в итоге влиять на величину удельной поверхности всех волокон S и значение показателя Mic. С учетом выявленных особенностей осуществлена оценка величины Mic при разных сочетаниях зрелости волокон и их линейной плотности. Оказалось, что при одном и том же значении Mic (например, 3,5 ед.) волокно возможно считать как качественным, так и с пониженным качеством. Такой неопределенный результат свидетельствует о низкой информативности показа-

теля Mic. Для обеспечения качественной интерпретации значения показателя "Микронейр" предложено получать дополнительную информацию об обособленном влиянии на его величину одного из свойств: линейной плотности или зрелости.

The paper studies an instrumental method for determining the Micronair (Mic) indicator, which is used to determine the quality of cotton fibers using the HVI and LVI instrumental systems from USTER. Determination of Mic is based on the degree of resistance Q to the passage of air through the fiber sample. It is believed that Q depends on the fiber fineness associated with their linear density T and maturity M, due to the size of the internal cavity. A study of the specified dual dependence of the Mic indicator on T and M is carried out. It is found that when testing a fiber sample of a certain mass located in a chamber of constant dimensions, the number of fibers in the sample will depend on their wall thickness. Differences can reach up to 1.4 times. Under conditions of constant nominal fiber diameter, this will, as a consequence, cause the formation of different bulk densities of the fibrous mass in the chamber, and ultimately affect the specific surface area of all fibers S and the Mic indicator. Taking into account the revealed features, the Mic value was estimated for different combinations of fiber maturity and their linear density T. It turned out that for the same Mic indicator (for example, 3.5 units), the fiber can be considered both high-quality and of low quality. Such an indefinite result indicates the low information content of the Mic indicator. To ensure a qualitative interpretation of the Micronaire indicator, it is proposed to obtain additional information on the independent influence of one of the properties: linear density or maturity.

Ключевые слова: хлопок, качество, показатель "Микронейр", система HVI, тонина, зрелость, низкая информативность результатов.

Keywords: cotton, quality, Micronair indicator, HVI system, fineness, maturity, low information content of results.

Введение

В настоящее время при определении качества волокон хлопка в целях стандартизации и оптимизации процессов его переработки широко используются инструментальные системы USTER HVI и USTER LVI, позволяющие оперативно оценивать характеристики волокна [1]. Одним из важнейших является показатель "Микронейр" (Mic), который определяют на основе учета степени сопротивления прохождению воздуха волокнистой пробы. Для этого анализируют пробу волокон определенной массы, располагаемую в камере постоянных размеров специального прибора. Детальное описание процесса измерения показателя Mic, например, применительно к прибору "USTER® MICRONAIRE 775" представлено в [2].

Согласно национальному ГОСТ Р 53224-2016 "Волокно хлопковое. Технические условия" показатель Mic косвенно связан с линейной плотностью, зависимой от тонины волокон, а также с их зрелостью. В зависимости от свойств волокон значения Mic могут изменяться от 2 до 6 ед., но, как правило, находясь в пределах от 3,8 до 4,2 [2, 3].

В межгосударственном ГОСТ 3279-95 "Волокно хлопковое. Технические условия" указано, что между линейной плотностью волокон T (мтекс) и показателем Mic существует приближенная зависимость в виде:

$$T_в = 39{,}37 \cdot Mic. \qquad (1)$$

Зависимости между T и Mic установлены также в [2, 4…6].

Однако из структуры этих зависимостей не вытекает связь показателя со зрелостью волокон, которая согласно ИСО 2403-72 "Волокно хлопковое. Ускоренные методы определения сорта и линейной плотности" характеризуется толщиной клеточной стенки волокон, обусловленной накоплением в ней целлюлозы в процессе вегетации растения хлопка. Указанная двойственная зависимость показателя Mic от T и M приводит к ошибочной интерпретации получаемых результатов испытания хлопка. Например, в [3] указано, что "…чем тоньше и более зрелые волокна, тем выше сопротивление к воздушному потоку…". Это, вероятно, объясняется неполнотой сведений о характере совместного влияния тонкости и зрелости волокон на величину показателя Mic.

В этой связи возникает необходимость в уточнении влияния T и M на величину Mic.

Методы

В работе исследован инструментальный метод определения показателя Mic, являющийся одним из важнейших при оценке качества волокна хлопка с применением инструментальных систем USTER HVI и USTER LVI. Анализ проводили на основе уравнения Козени для ламинарного течения воздуха через пористое тело. Использовали раздельный анализ влияния тонины и зрелости волокон на величину удельной поверхности волокон, определяющую сопротивление прохождению воздуха волокна в измерительной камере и, как следствие, значение Mic. На заключительных этапах исследования, используя опубликованные данные о свойствах волокон хлопка, оценили интегрированное влияние линейной плотности и зрелости волокон на величину показателя Mic.

Результаты и обсуждение

Решение задачи по уточнению двойственной зависимости величины Mic от T и M требует понимания сущности метода оценки Mic по величине воздухопроницаемости пробы волокна, а именно по степени сопротивления Q движению воздуха. Теоретической основой, объясняющей связь между Q и тониной волокна, являлось использование преобразованного уравнения Козени для ламинарного течения воздуха через пористое тело при малом градиенте давления [7]. Исходное уравнение Козени имеет вид:

$$\vartheta = \left(\frac{1}{k}\right)\left(\frac{A\Delta P}{\mu L S^2}\right)\left(\frac{\varepsilon^3}{1-\varepsilon^3}\right), \qquad (2)$$

где ϑ – объемный расход воздуха через пористое тело в виде пробы волокна; k – коэффициент пропорциональности, зависящий от формы пустот и волокон, а также от их ориентации относительно направления воздушного потока; A – площадь поперечного сечения пробы волокна; ΔP – перепад давления воздуха; S – удельная поверхность волокон (площадь поверхности на единицу объема материала), составляющих пробу; μ – коэффициент вязкости воздуха; L – длина пробы волокон; ε – пористость пробы волокон (объем пустот/общий объем пробы).

Величину пористости ε оценивают в виде выражения {1-(m/ρ·A·L)}. В нем m и ρ – соответственно масса пробы и плотность волокна.

Для оценки степени сопротивления Q движению воздуха сквозь волокнистую пробу уравнение (2) с рядом допущений преобразуют [7], получая зависимость:

$$Q = \frac{\Delta P}{\vartheta} = S^2\left[\frac{k\mu\rho m^2 L^2}{(\rho AL - m)^3}\right]. \qquad (3)$$

Из данного выражения следует, что при постоянстве параметров, составляющих структуру второго сомножителя в квадратных скобках, $R = f(S^2)$. Иными словами, при таких условиях степень сопротивления прохождению воздуха Q относительно совокупности волокон определяется величиной свободной площади поверхности волокон S в пробе. Чем больше величина S при постоянстве массы пробы, размеров камеры и условий прохождения воздуха, тем большее сопротивление будет оказываться при его перемещении относительно волокон.

Первое использование указанной связи $R = f(S^2)$ для косвенного измерения тонкости волокна было осуществлено с применением прибора "порометр", изобретенного Боллсом в конце 1920-х годов в Англии. Позднее был создан первый коммерческий инструмент для измерения тонины волокна

с использованием параметров воздушного потока – Sheffield Micronaire [7]. Таким образом, ключевым элементом для понимания косвенной взаимосвязи Mic с указанными выше свойствами волокна T и M является изменение удельной поверхности волокон S. Поэтому рассмотрим влияние тонины волокон (определяющей их линейную плотность) и их зрелости на исследуемый показатель Mic.

Для выявления связи Mic с тониной волокон, зависимой от их условного диаметра d, воспользуемся простыми геометрическими преобразованиями. Допустим, что совокупность параллельных друг другу волокон диаметром d расположена в цилиндрической камере такой же длины, но с внутренним диаметром D (рис.1).

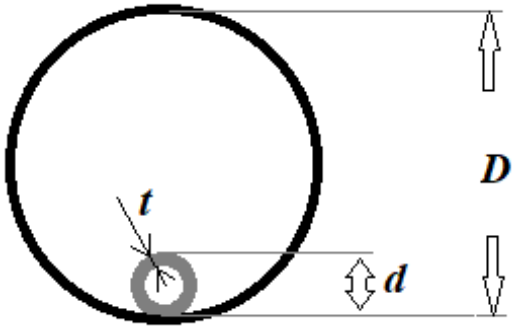

Рис. 1

Для упрощения расчетов будем считать, что волокна имеют единичную длину, не связанную с их диаметром [8]. При таких условиях анализ осуществим применительно к сечению камеры с расположенным в ней волокном. Определив площадь сечения волокна и камеры, можно оценить количество волокон в ней: $n = D^2/d^2$. Величина суммарной длины поверхности при точечных контактах волокон в камере $\sum_L = n \cdot \pi \cdot d$ или $\sum_L = \frac{\pi \cdot D^2}{d}$. Приблизительно оценим S – удельную поверхность волокон как площадь поверхности на единицу объема материала, получаем S = 4/d. В реальных условиях испытания волокна имеют форму поперечного сечения, отличного от круга, в камере они располагаются в виде спутанной массы, а длина волокон разная. Полученное выражение для удельной поверхности представим в виде: S = k/d, где k – эмпирический коэффициент, зависящий от свойств волокна и условий их расположения.

Однако из полученного приблизительного выражения S = k/d также следует заключение, что при уменьшении условного диаметра волокон сопротивление движению воздуха в виде оценки Q (см. (3)) увеличивается, а значение показателя Mic уменьшается.

Для выявления связи Mic со зрелостью волокон, определяемой толщиной их стенки t (рис. 1), рассмотрим условия формирования величины удельной поверхности волокон S с учетом требований, которые выполняются при определении Mic. Это касается постоянства массы пробы $M_{пр}$ и размеров (объема) камеры. Примем допущение, что волокна имеют единичную длину, их форма – полый цилиндр, имеющий стенку толщиной t, а также отсутствует вариация по их внешнему диаметру. Тогда, представляя поперечное сечение волокна в виде кольца с радиусом R внешней образующей, примем радиус внутренней полости r < R. В этом случае площадь стенки единичного волокна (площадь кольца) $\boldsymbol{S_в = \pi \cdot t \cdot (2R - t)}$. Зная плотность стенки волокон хлопка $\boldsymbol{\rho}$ (≈ 1,52 г/см^3 [9]), можно оценить массу волокон $M_в$ (при допущении их единичной длины): $M_в = \boldsymbol{S_в \cdot \rho}$.

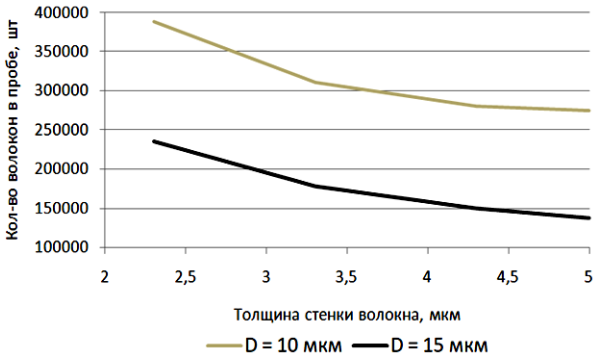

Рис. 2

Очевидно, что при изменении толщины стенки волокон (одинакового внешнего диаметра и длины) их масса также будет меняться. Из-за этого в анализируемой камере постоянного объема с постоянной массой пробы Мпр количество волокон с разной толщиной стенки будет отличаться. Тонкостенных недозрелых волокон будет

больше, чем зрелых, у которых величина t будет больше. Используя известные данные о толщине стенки, условном диаметре и длине волокон [10], а также приняв массу пробы волокон (3,24 г), необходимую при испытании по методу HVI [7], получили зависимости числа волокон в камере от исследуемых характеристик волокна (рис. 2). Оказывается, что количество волокон с различной толщиной стенки в камере может существенно изменяться (≈ 1,4 раза).

Однако разное количество волокон при равенстве их условного диаметра в пробе с постоянной массой $M_{пр}$, помещенной в камеру постоянного размера, будет, как следствие, приводить к различию проб по объемной плотности волокнистой массы. Это будет влиять на величину удельной поверхности всех волокон S. При заполнении камеры прибора незрелыми волокнами величина S из-за более высокой плотности пробы будет меньше, что приведет к увеличению сопротивления движению воздуха в виде оценки Q и, как следствие, к снижению значения Mic.

Из представленного анализа следует, что на величину Mic разнонаправленно влияют линейная плотность волокна T и его зрелость M. Такой вывод подтверждается заключениями ряда зарубежных исследователей [7, 9, 11]. Авторы указывают, что значения Mic следует считать комбинацией тонкости и зрелости волокна. Показание Mic не позволяет делать заключение, является ли волокно грубым и незрелым или тонким и зрелым. Поэтому интерпретация значений величины микронейра не является простой задачей, когда неизвестна степень влияния T и M. В итоге повышается вероятность формирования ошибочных выводов о ценности волокна и его прядильной способности.

Дополнительным подтверждением правомерности такого заключения являются результаты исследований [12], полученные при изучении связи показателя Mic с характеристиками поперечного сечения волокон хлопка [13], а именно периметром поперечного сечения волокна P и его площадью $A_в$, зависимой от P и толщины стенки t. Принимая во внимание [10, 11], авторы при интервалах параметров: P от 35 до 60 мкм, t от 1,4 до 3,4 мкм и $A_в$ от 42,4 до 167,6 мкм^2 определили значения линейной плотности волокна T (мтекс) и его зрелости M с использованием предложенных выражений:

$$T = 1{,}52A_в . \quad (4)$$

$$M = \frac{4\pi A_в}{0{,}577P^2}. \quad (5)$$

На их основе определили величину показателя Mic с применением следующей зависимости:

$$Mic = 0{,}509\sqrt{(MT + 8{,}359)} - 2{,}352. \quad (6)$$

Графическое представление Mic = f (M; T), осуществленное нами на основе выражений (4)…(6), дано в виде рис. 3.

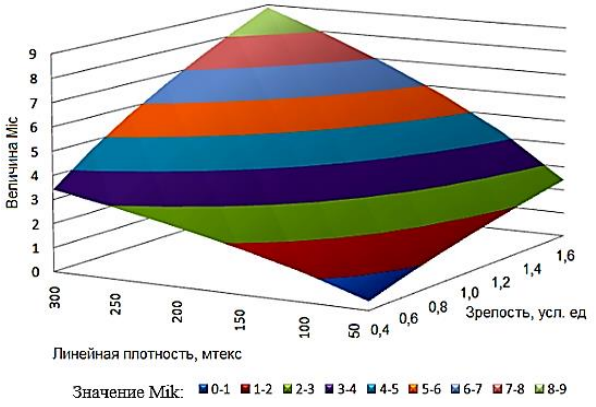

Рис. 3

Анализ графика подтвердил разнонаправленность влияния T и M на величину Mic. Для примера рассмотрим влияние этих величин на значение Mic, равное 3,5 ед. Оказывается, такое значение Mic возможно, например, при следующих сочетаниях T и M:

– зрелость волокна M = 0,4 (очень незрелое волокно) и линейная плотность T = 300 мтекс (грубое), что свидетельствует о низком качестве волокна;

– M = 1,6 (хорошо созревшее волокно) и T = 100 мтекс (тонкое волокно), что характеризует волокно как качественное.

Очевидно, что при получении на приборах фирмы USTER результатов испытания

в виде Mic = 3,5 ед. сделать правильное заключение о технологической ценности волокна невозможно.

Такой результат также подтверждает правомерность упомянутых выше замечаний о низкой информативности показателя Mic в части суждения о влиянии на его величину важнейших показателей качества волокон хлопка: линейной плотности и степени их зрелости. Из-за этого могут предлагаться трудно объяснимые классификации по ценности волокна хлопка на основе величины Mic, например, как в [13].

Заключение

Установлено, что при определении показателя "микронейр" с применением инструментальных систем HVI или LVI фирмы USTER количество волокон в пробе при испытании хлопка разной степени зрелости будет различным. Отличия могут достигать до 1,4 раза. По данной причине с учетом требований к конструкции прибора в условиях испытания волокон одной и той же линейной плотности в испытательной камере будет формироваться разная объемная плотность волокнистой массы, что повлияет на величину удельной поверхности всех волокон S. В итоге при испытании хлопка с разными сочетаниями линейной плотности волокон и зрелости возникают трудности с правильной интерпретацией характера взаимосвязей с этими свойствами величины Mic. При одном и том же значении Mic (например, 3,5 ед.) волокно возможно считать как качественным, так и с пониженным качеством. Такой результат свидетельствует о низкой информативности показателя Mic в части суждения о влиянии на его величину важнейших показателей качества хлопка: линейной плотности волокон и степени их зрелости. Поэтому для обеспечения качественной интерпретации значения показателя "микронейр" целесообразно получать дополнительную информацию об обособленном влиянии на его величину одного из показателей: T или M.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Симонян В.О., Андронова Е.В.* Критерии SCI типовых сортировок хлопка // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2010. № 7. С. 21…25.

2. *Рыклин Д.Б., Кветковский Д.И.* Материаловедение. Оценка показателей качества хлопкового волокна с использованием системы Uster LVI. Витебск: ВГТУ, 2019. 40 с.

3. *Парпиев Х., Эркинов З.Э., Парпиев Д.Х. и др.* Микронейр хлопка волокна и его влияние на число волокон в поперечном сечении пряжи // Теория и практика современной науки. 2018. № 4. С. 457…462.

4. *Куглер Г.* Переводные коэффициенты характеристик хлопковых волокон с западноевропейских стандартов на российские // Текстильная промышленность. 1996. № 1. С. 35…38.

5. *Корицкий К.И.* Технико-экономическая оценка и проектирование текстильных материалов. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. С. 159.

6. *Sief M. G., Shimaa A. Shahat and Hanan M. Arafa*. Comparative Study on Egyptian Cotton Fiber Maturity Measurements Using Direct And Indirect Methods. IOSR Journal of Polymer and Textile Engineering (IOSR-JPTE), 09(03), 2022, pp. 01-09. – DOI: 10.9790/019X-09030109.

7. Hearle J.W.S., Morton W.E. Physical Properties of Textile Fibres. Woodhead Publishing. 2008. 765 p. – ISBN 9781845692209.

8. *Mahjoub W., Gourlot J-P., Drean J-Y., Harzallah O.* Impact of the Bijective Relationship between Single and Bundle Cotton Fiber's in Cotton Breeding Programs. Published: May 2018. P. 3… 61. – http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.73328.

9. *Arafa A.S.* Develop and Compare New Software Based on "Lord" Equations to Calculate Fineness and Maturity Parameters by Using "HVI". J Textile Sci Eng. № 4, 2014. P. 4…6. – DOI: 10.4172/2165-8064.1000178.

10. *Ramey H.H.* The meaning and assessment of cotton fibre fineness: Southern Regional Research Center U.S. Department of Agriculture. 1988. P. 23. – https://cottontech.co.uk/index_htm_files/Meaning%20&%20Assessment%20of%20Fibre%20Fineness.pdf.

11. *Farooq A., Sarwar M.I., Ashraf M.A. etc.* Predicting Cotton Fibre Maturity by Usi

ng Artificial Neural Network: Autex Research Journal, №. 4, 2018. P. 429…433. – https://doi.org/10.1515/aut-2018-0024

12. Montalvo J.G. Relationships Between Micronaire, Fineness, and Maturity // Journal of Cotton Science. № 9, 2005. P. 81…88. – https://www.cotton.org/journal/2005-09/2/81.cfm.

13. Montalvo J.G. A comparative study of NIR diffuse reflectance of cottons grouped according to fiber cross-sectional dimensions: Appl. Spectrosc. 45, 1991. P. 779…789. – https://opg.optica.org/as/abstract.cfm?uri=as-45-5-779.

14. *Симонян В.О., Королева Н.А., Плеханов А.Ф.* Комплексные оценки технологической эффективности и микронейр хлопковых волокон // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. № 1. С. 53…58.

R E F E R E N C E S

1. *Simonyan V.O., Andronova E.V.* SCI criteria for standard cotton sorting // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2010. No. 7. P. 21...25.

2. *Ryklin D.B., Kvetkovsky D.I.* Materials Science. Assessment of cotton fiber quality indicators using the Uster LVI system. Vitebsk: VSTU, 2019. 40 p.

3. *Parpiev H., Erkinov Z.E., Parpiev D.H. and others.* The micronair of cotton fiber and its effect on the number of fibers in the yarn cross section // Theory and practice of modern science. 2018. No. 4. P. 457...462.

4. *Kugler G.* Conversion coefficients of characteristics of cotton fibers from Western European standards to Russian // Textile industry. 1996. No. 1. P. 35...38.

5. *Koritsky K.I.* Technical and economic assessment and design of textile materials. Moscow: Light and food industry, 1983. 159 p.

6. *Sief M.G., Shimaa A. Shahat and Hanan M. Arafa.* Comparative Study on Egyptian Cotton Fiber Maturity Measurements Using Direct And Indirect Methods. IOSR Journal of Polymer and Textile Engineering (IOSR-JPTE), 09(03), 2022, pp. 01-09. – DOI: 10.9790/019X-09030109.

7. *Hurl J.U.S., Morton U.E.* Physical properties of textile fibers. Woodhead Publishing House. 2008. 765 p. – ISBN 9781845692209.

8. *Majub U., Gurlo J.-P., Drean J.-Y., Kharzallah O.* The influence of the bijective dependence between single and bundle cotton fiber on cotton breeding programs. Published: May 2018. P. 3...61. – http://dx.doi.org /10.5772/intechopen.73328

9. *Arafa A.S.* Develops and compares new software based on the "Lord" equations for calculating purity and maturity parameters using "HVI". Journal of J Textile Science English. No. 4, 2014. P. 4...6. – DOI: 10.4172/2165-8064.1000178.

10. *Rami X.* The value and evaluation of the fineness of cotton fiber: Southern Regional Research Center of the US Department of Agriculture. 1988. P. 23. – https://cottontech.co.uk/index_htm_files/Meaning%20&%20Assessment%20of%20Fibre%20Fineness.pdf.

11. *Farooq A., Sarwar M.I., Ashraf M.A. etc.* Predicting Cotton Fibre Maturity by Using Artificial Neural Network: Autex Research Journal, №. 4, 2018. P. 429…433. – https://doi.org/10.1515/aut-2018-0024

12. *Montalvo J.G.* Relationships Between Micronaire, Fineness, and Maturity // Journal of Cotton Science. № 9, 2005. P. 81…88. – https://www.cotton.org/journal/2005-09/2/81.cfm.

13. *Montalvo J.G.* A comparative study of NIR diffuse reflectance of cottons grouped according to fiber cross-sectional dimensions: Appl. Spectrosc. 45, 1991. P. 779…789. – https://opg.optica.org/as/abstract.cfm?uri=as-45-5-779

14. *Simonyan V.O., Koroleva N.A., Plekhanov A.F.* Integrated assessments of technological efficiency and micronaire cotton // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2018. No. 1. P. 53...58.

Рекомендована кафедрой технических систем в АПК КГСХА. Поступила 17.03.25.