

**Э. В. Дыба, Л. И. Трофимович, П. В. Яровенко**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: dibua-18@mail.ru, trofimovich88@mail.ru*

**АНАЛИЗ И ОБОБЩЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА  
ВАЛКОВАНИЯ ТРАВЯНЫХ КОРМОВ КОЛЕСНО-ПАЛЬЦЕВЫМИ ГРАБЛЯМИ  
С РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ СДВОЕННОГО ТИПА**

*Аннотация.* В статье представлен анализ полученных результатов экспериментальных исследований процесса валкования травяных кормов колесно-пальцевыми граблями с рабочими органами сдвоенного типа.

*Ключевые слова:* грабли колесно-пальцевые, валкование травяных кормов, сгребание, колесо «солнышко», двойное пальцевое колесо, палец, загрязнение кормов, потери кормов, качество кормов.

**E. V. Dyba, L. I. Trofimovich, P. V. Yaravenka**

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: dibua-18@mail.ru, trofimovich88@mail.ru*

**ANALYSIS AND GENERALIZATION OF THE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES  
OF THE PROCESS OF GRASS FORAGE SWATHING WITH WHEEL-FINGER RAKE  
WITH DOUBLE TYPE WORKING BODIES**

*Abstract.* The article presents an analysis of the results of experimental studies of the process of felling grass feed with a wheel-finger rake with double-type working bodies.

*Keywords:* wheel-finger rake, felling of grass feed, raking, “sun” wheel, double finger wheel, finger, feed pollution, feed loss, feed quality.

### **Введение**

Сгребание высушенной или провяленной зеленой массы в валки является важным звеном технологического процесса заготовки травяных кормов. Известно, что сохранение энергетической ценности травяных кормов в процессе уборки во многом зависит от качества их сгребания.

Ротационные и колесно-пальцевые грабли-валкователи имеют существенный технологический недостаток – волочение травяной массы по поверхности поля, что увеличивает вероятность увлечения за собой в валок камней и других инородных тел. Следовательно, при уборке таких валков увеличивается вероятность повреждения и выхода из строя кормоуборочной техники. Кроме того, высокая окружная скорость зубьев граблей (10–15 м/с) и постоянный их контакт с поверхностью почвы приводят к засорению формируемого валка землей и пылью (особенно при работе граблей на неровном рельефе), а также высоким потерям листьев и соцветий, особенно при многоукосной системе заготовки кормов.

### **Основная часть**

На основании проведенных экспериментальных исследований [1] по определению потерь и показателей качества травяных кормов при их валковании колесно-пальцевыми граблями с рабочими органами сдвоенного типа, а также в соответствии с предоставленными лабораторией технологии кормопроизводства и биохимических анализов РУП «НПЦ НАН Беларуси по животновод-

ству» данными показателей качества травяных кормов выполнен анализ показателей и обобщены полученные результаты.

Зависимость содержания сухого вещества, сырого протеина, сырой клетчатки, сырой золы в люцерне от параметров рабочих органов сдвоенного типа, а также серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей представлена на рис. 1–4.

Анализ показателей содержания сухого вещества в пробах люцерны показывает, что построенные на графике кривые изменения содержания сухого вещества люцерны (рис. 1) в зависимости от комбинации рабочих органов значительно отличаются конечными ответвлениями, а именно: на этапе сгребания показатели сухого вещества люцерны значительно разнятся и имеют интервал варьирования от 37,81 до 43,22 % (5,4 %). Объясняется такая разность тем, что при сгребании травяной массы конфигурация рабочих органов, а именно соотношение диаметров приводных и сгребующих колес, а также расстояния между ними изменялись, и соответственно каждая комбинация рабочих органов по-своему влияла на качество сгребания.

Наиболее высокий показатель содержания сухого вещества составляет 43,22 % и достигается при соотношении диаметров колес приводного – 1400 мм и сгребующего – 1300 мм и расстоянии между ними 500 мм, что на 3,53 % выше серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей с диаметром колес 1400 мм. Наименьший показатель содержания сухого вещества – 37,81 % достигается при соотношении диаметров колес 1400/1200 мм и расстоянии между ними 500 мм. Такая разность показателей содержания сухого вещества (5,41 %) объясняется тем, что при сгребании травяных кормов сгребующими колесами диаметром 1300 мм получается чистый и более вспушенный валок за счет работы колес над поверхностью почвы, что в итоге ускоряет выход влаги из него. В свою очередь, при сгребании травяных кормов сгребующими колесами диаметром 1200 мм происходит неполное сгребание травяной массы, а именно не захватываются зубьями сгребующего колеса нижний и средний слои прокоса. Остатки травяной массы догребаются в валок зубьями приводных колес, вследствие чего происходит повышение загрязнения травяных кормов частицами почвы и пыли, а также уплотнение валка (образование «косички»), что в итоге замедляет выход из него влаги [2].

Анализ показателей содержания сырого протеина в пробах люцерны (рис. 2) показывает, что наименьшее снижение содержания сырого протеина в люцерне происходит при соотношении диаметров колес 1400/1250 мм и 1400/1300 мм – и составляет от 18,54 до 19,55 % соответственно, что в среднем на 0,53 % выше в сравнении с пробами травяных кормов для диаметра колес 1400 мм серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей. Наибольшее снижение содержания сырого протеина люцерны происходит при соотношении диаметров колес 1400/1200 мм – и составляет от 18,41 до 18,62 %, что в среднем на 0,06 % выше в сравнении с пробами травяных кормов для диаметра колес 1400 мм серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей [2].

При этом наиболее высокий показатель содержания сырого протеина составляет 19,55 % и достигается при соотношении диаметров колес 1400/1300 мм и расстоянии между ними 500 мм, что на 1,12 % выше показателей серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей. Наименьший показатель содержания сырого протеина – 18,41 % достигается при соотношении диаметров колес 1400/1200 мм и расстоянии между ними 500 мм. Такая разность показателей содержания сырого протеина (1,14 %) объясняется тем, что при сгребании травяных кормов сгребующими колесами диаметром 1300 мм получается чистый и более вспушенный валок за счет работы колес над поверхностью почвы, что в итоге сохраняет корм чистым, также за счет отсутствия эффекта волочения сохраняется наибольшее количество листьев и соцветий на стебле растений, которые содержат наибольшее количество протеина. В свою очередь, при сгребании травяных кормов сгребующими колесами диаметром 1200 мм происходит неполное сгребание травяной массы, а именно не захватываются зубьями сгребующего колеса нижний и средний слои прокоса. Остатки травяной массы догребаются в валок зубьями приводных колес, вследствие чего происходит повышение загрязнения травяных кормов частицами почвы и пыли, а также обивание листьев и соцветий люцерны, что в итоге снижает содержание сырого протеина в корме [2].

Анализ показателей содержания сырой золы в пробах люцерны (рис. 3) показывает, что наименьшее увеличение сырой золы в люцерне происходит при соотношении диаметров колес

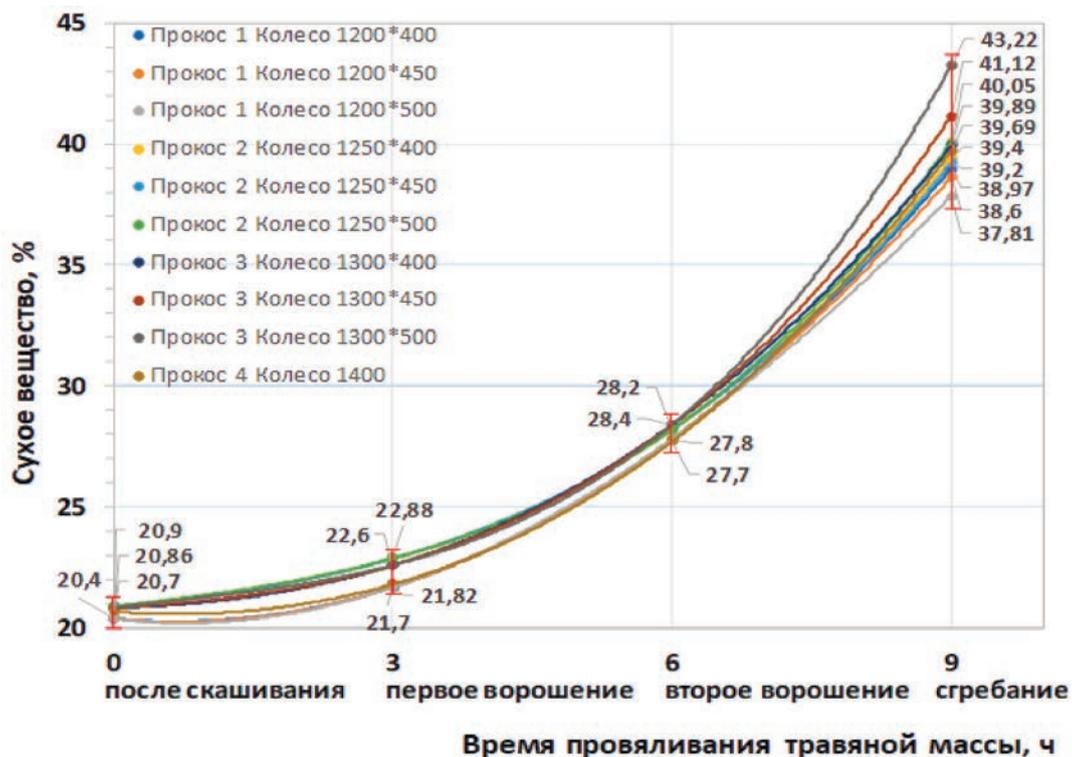


Рис. 1. Зависимость содержания сухого вещества в люцерне от параметров рабочих органов сдвоенного типа, а также серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей

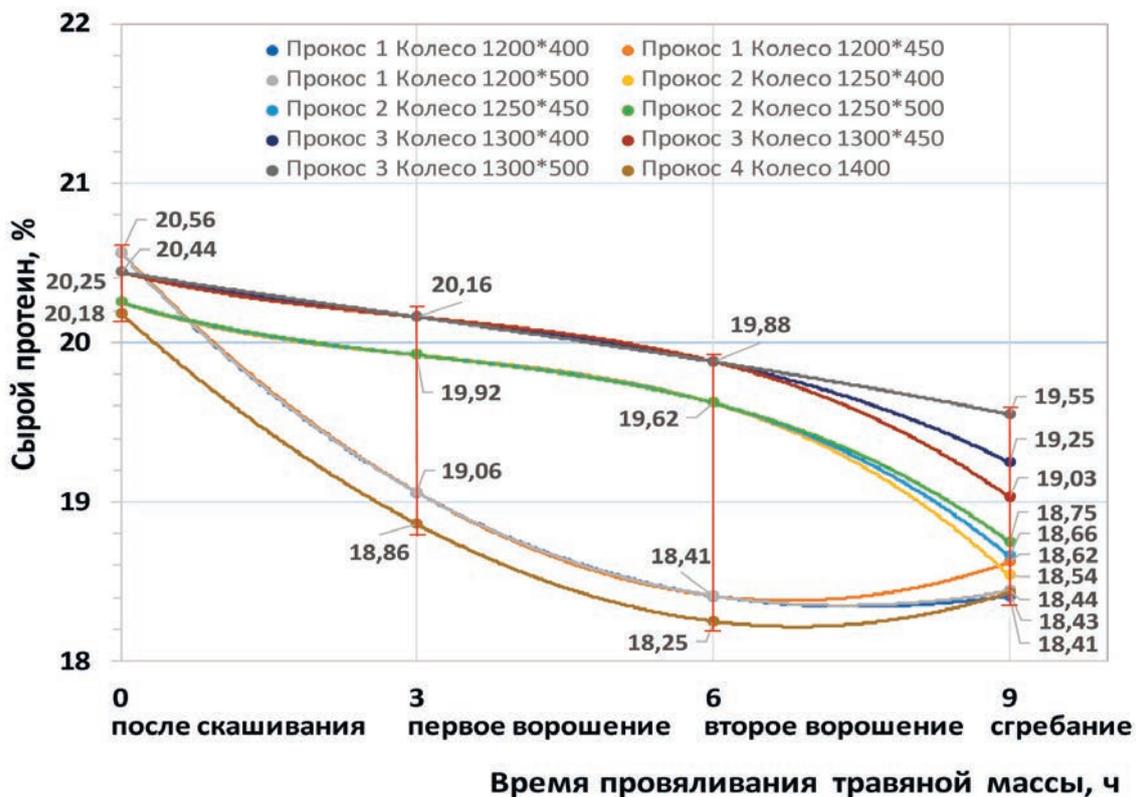


Рис. 2. Зависимость содержания сырого протеина в люцерне от параметров рабочих органов сдвоенного типа, а также серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей

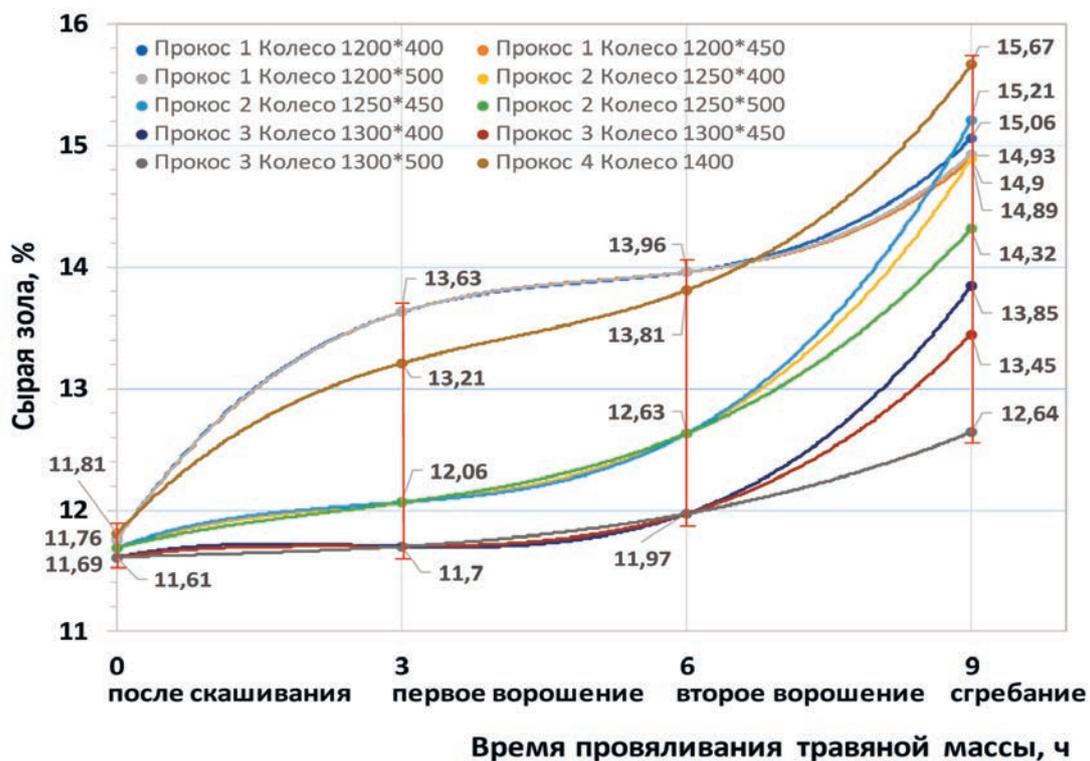


Рис. 3. Зависимость содержания сырой золы в люцерне от параметров рабочих органов сдвоенного типа, а также серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей

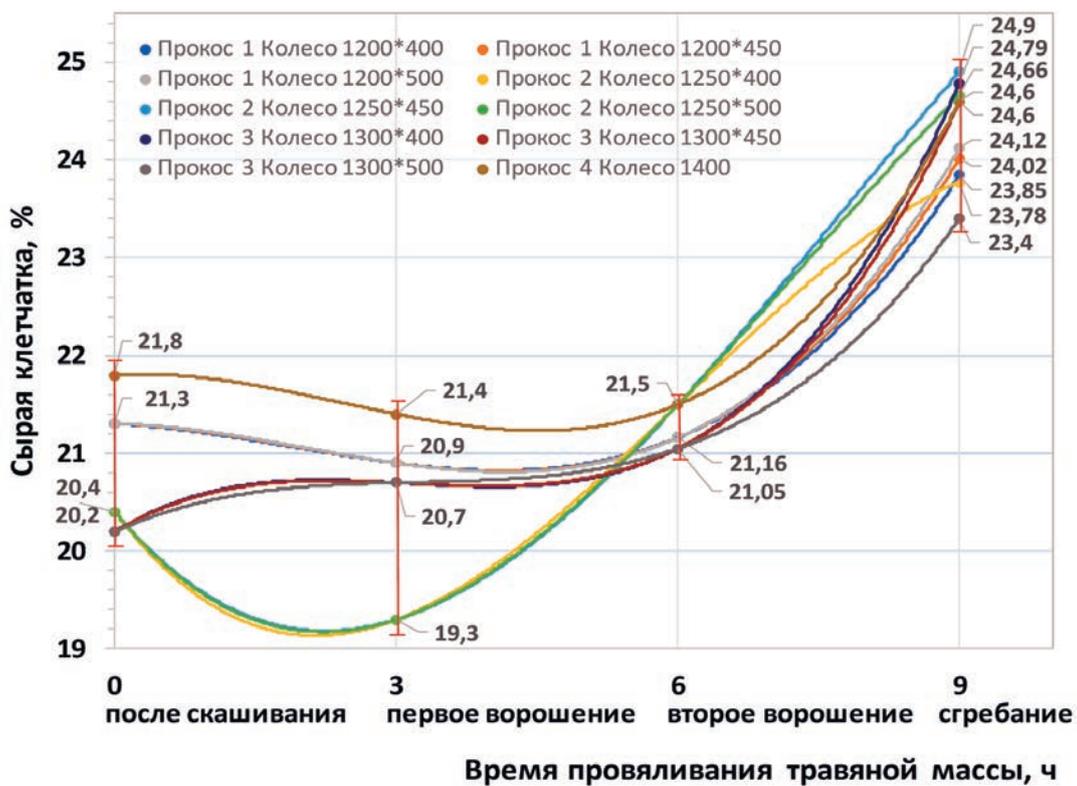


Рис. 4. Зависимость содержания сырой клетчатки в люцерне от параметров рабочих органов сдвоенного типа, а также серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей

1400/1300 мм и составляет от 12,64 до 13,85 %, что в среднем на 2,36 % ниже показателей в сравнении с пробами травяных кормов для диаметра колес 1400 мм серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей. Наибольшее увеличение содержания сырой золы в люцерне – 15,67 % происходит при использовании серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей, а также при соотношении диаметров колес 1400/1250 мм и расстоянии между ними 500 мм – 15,21 %. Высокие показатели содержания сырой золы показали и пробы травяных кормов, полученные при соотношении диаметров колес 1400/1200 мм – от 14,89 до 15,06 % [2].

При этом наиболее низкий показатель содержания сырой золы составляет 12,64 % и достигается при соотношении диаметров колес 1400/1300 мм и расстоянии между ними 500 мм. Наибольший показатель содержания сырой золы – 15,67 % достигается при использовании серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей. Такая разность показателей (3,03 %) объясняется тем, что при сгребании травяных кормов сгребаящими колесами диаметром 1300 мм получается чистый и более вспушенный валок за счет работы колес над поверхностью почвы, а также за счет отсутствия эффекта волочения, что в итоге сохраняет корм чистым [2].

Анализ показателей содержания сырой клетчатки в пробах люцерны (рис. 4) показывает, что на этапе сгребания травяной массы в зависимости от комбинации рабочих органов показатели сырой клетчатки увеличиваются и имеют различные значения в интервале от 23,4 до 24,9 % при среднем значении 24,27 %, что на 3,34 % выше исходных показателей после скашивания и двух ворошений. Такое резкое увеличение показателей клетчатки объясняется тем, что при сгребании люцерны в валки происходит обивание подсохших листьев и соцветий растений рабочими органами граблей. Соответственно из-за потерь листьев и соцветий люцерны, которые в меньшей степени содержат клетчатку, а в большей протеин, происходит увеличение содержания сырой клетчатки и уменьшение содержания сырого протеина. На графиках (рис. 2 и 4) видно, что после двух ворошений и сгребания травяной массы содержание протеина в люцерне с каждой операцией уменьшается, а клетчатки – увеличивается из-за потерь (обивания листьев и соцветий) [2].

На графике (рис. 4) видно, что наименьшее увеличение содержания сырой клетчатки в люцерне происходит при соотношении диаметров колес 1400/1300 мм и расстоянии между ними 500 мм и составляет 23,4 %, что на 1,20 % ниже показателей в сравнении с пробами травяных кормов для диаметра колес 1400 мм серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей, и на 1,50 % ниже показателей в сравнении с пробами травяных кормов при соотношении диаметров колес 1400/1250 мм и расстоянии между ними 450 мм. Такая разность показателей (1,20–1,50 %) объясняется тем, что при сгребании травяных кормов при соотношении диаметров колес 1400/1300 мм получается чистый и более вспушенный валок за счет работы колес над поверхностью почвы, что в итоге сохраняет корм чистым, а также за счет отсутствия эффекта волочения и более бережного контакта рабочих органов граблей с травяной массой, вследствие чего обивается меньшее количество листьев и соцветий растений [2].

Зависимость содержания сухого вещества, сырого протеина, сырой клетчатки, сырой золы в тимофеевке от параметров рабочих органов сдвоенного типа, а также серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей представлена на рис. 5 и 6.

Анализ показателей содержания сухого вещества в пробах тимофеевки (рис. 5) показывает, что после сгребания травяной массы в зависимости от комбинации рабочих органов показатели сухого вещества увеличились в среднем на 3,71 % и варьируются в диапазоне от 49,3 до 53,8 % [2].

При этом наиболее высокий показатель содержания сухого вещества составляет 53,8 % и достигается при соотношении диаметров колес 1400/1300 мм и расстоянии между ними 500 мм, что на 5,9 % выше исходного показателя травяной массы, и на 2,1 % выше показателей серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей. Наименьший показатель содержания сухого вещества – 49,3 % достигается при соотношении диаметров колес 1400/1250 мм и расстоянии между ними 500 мм. Такая разность показателей содержания сухого вещества (4,5 %) объясняется тем, что при сгребании травяных кормов сгребаящими колесами диаметром 1300 мм получается чистый и более вспушенный валок за счет работы колес над поверхностью почвы, что в итоге ускоряет выход влаги из него, а также позволяет сохранить большее количество лиственной части растения, в которой содержится меньшее количество влаги относительно стебля. В свою очередь, при сгребании травя-

ных кормов сгребающими колесами диаметром 1250 мм происходит неполное сгребание травяной массы, а именно местами не захватываются зубьями сгребающего колеса нижний и средний слой прокоса. Остатки травяной массы догребаются в валок зубьями приводных колес, вследствие чего происходит повышение загрязнения травяных кормов частицами почвы и пыли, а также агрессивное воздействие на травяную массу, что приводит к потерям ее лиственной части [2].

Показатели сырой клетчатки в тимофеевке после сгребания колебались от 30,68 до 34,3 % при среднем значении 32,5 % (рис. 5). Объясняется такое высокое содержание сырой клетчатки тем, что злаковые травы были скошены не в агрономические сроки, то есть культура, пройдя этап кушения, начала удлиняться, что называется выходом в трубку.

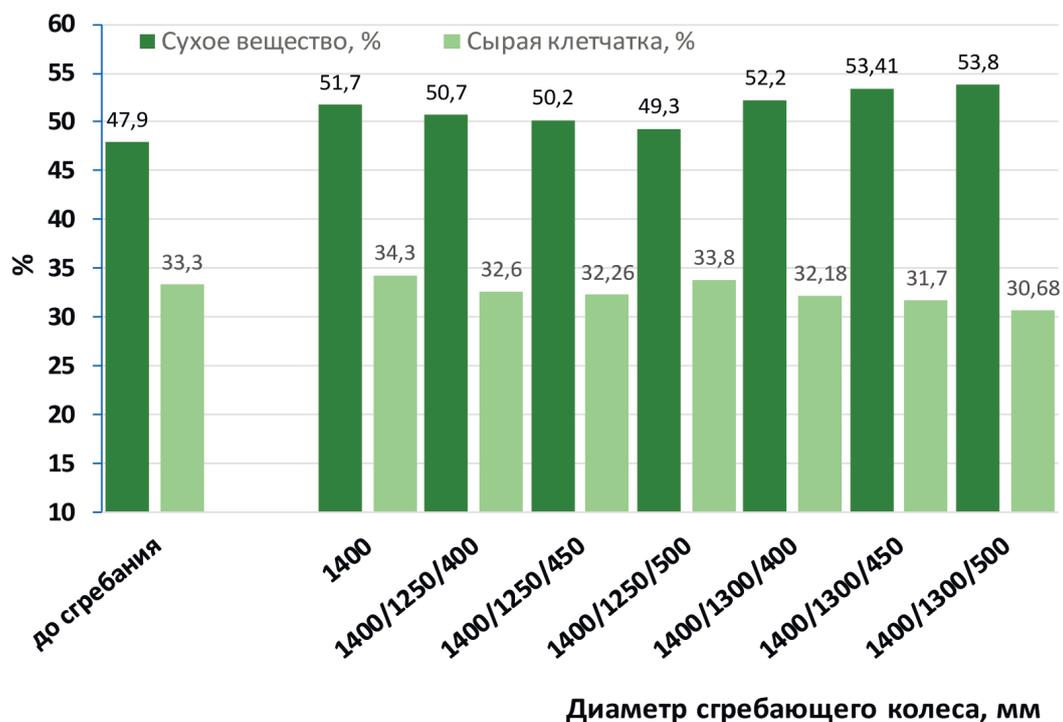


Рис. 5. Зависимость содержания сухого вещества и сырой клетчатки в тимофеевке от параметров рабочих органов сдвоенного типа, а также серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей

В зависимости от комбинации рабочих органов показатели сырой клетчатки в тимофеевке после сгребания отличаются, но несущественно. Так, наименьшее увеличение содержания сырой клетчатки в тимофеевке происходит при соотношении диаметров колес 1400/1300 мм и расстоянии между ними 500 мм и составляет 30,68 %, что на 3,62 % ниже показателей в сравнении с пробами травяных кормов для диаметра сгребающих колес 1400 мм серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей, и на 3,12 % ниже показателей в сравнении с пробами травяных кормов при соотношении диаметров колес 1400/1250 мм и расстоянии между ними 500 мм [2].

Такая разность показателей (3,12–3,62 %) объясняется тем, что при сгребании травяных кормов при соотношении диаметров колес 1400/1300 мм и расстоянии между ними 500 мм получается чистый и более вспушенный валок за счет работы колес над поверхностью почвы, что в итоге сохраняет корм чистым, а также за счет отсутствия эффекта волочения и более бережного контакта рабочих органов граблей с травяной массой, вследствие чего происходит меньшее количество потерь лиственной части растений.

Анализ показателей содержания сырого протеина показывает, что после сгребания травяной массы серийно-выпускаемыми колесно-пальцевыми граблями, в том числе с рабочими органами сдвоенного типа, содержание протеина в пробах тимофеевки варьируется в диапазоне от 6,13 до 7,44 %. Как видно на графике (рис. 6), в зависимости от комбинации рабочих органов содержание сырого протеина в пробах травяной массы отличается. Так, при изменении диаметров сгребающих

колес и расстояния между сгребающими и приводными колесами с 1400/1250/400 до 1400/1250/450–500 происходило увеличение сырого протеина от 6,62 до 7,06 %. При изменении диаметров сгребающих колес и расстояния между сгребающими и приводными колесами с 1400/1300/400 до 1400/1300/450–500 содержание сырого протеина увеличилось от 6,81 до 7,44 % [2].

При этом наиболее высокий показатель содержания сырого протеина составляет 7,44 % и достигается при соотношении диаметров колес 1400/1300 мм и расстоянии между ними 500 мм, что на 0,63 % выше исходного показателя травяной массы, и на 1,31 % выше показателей серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей. Такая разность показателей (0,63–1,31 %) объясняется тем, что при сгребании травяных кормов сгребающими колесами диаметром 1300 мм получается чистый и более вспушенный валок за счет работы сгребающих колес над поверхностью почвы, что в итоге сохраняет корм чистым, а также за счет отсутствия эффекта волочения сохраняется наибольшее количество листовенной части на стебле растений, которые содержат наибольшее количество протеина. В свою очередь, при сгребании колесно-пальцевыми граблями происходит повышение загрязнения травяных кормов частицами почвы и пыли, а также обивание (потери) листовенной части растений, что в итоге снижает содержание сырого протеина в корме.

Как видно на графике (рис. 6), минимальное количество сырой золы (4,9 %) содержится в пробах тимфеевки, взятых из прокосов до сгребания. Средний показатель содержания сырой золы после сгребания составил 5,95 %, а интервал варьирования показателей – от 5,3 до 6,33 %. Существенное увеличение содержания сырой золы в пробах тимфеевки происходило после сгребания травяной массы серийно выпускаемыми колесно-пальцевыми граблями и составило 6,33 %, что на 1,43 % выше исходного показателя. Также происходило увеличение содержания сырой золы в пробах тимфеевки после сгребания травяной массы рабочими органами сдвоенного типа [2].

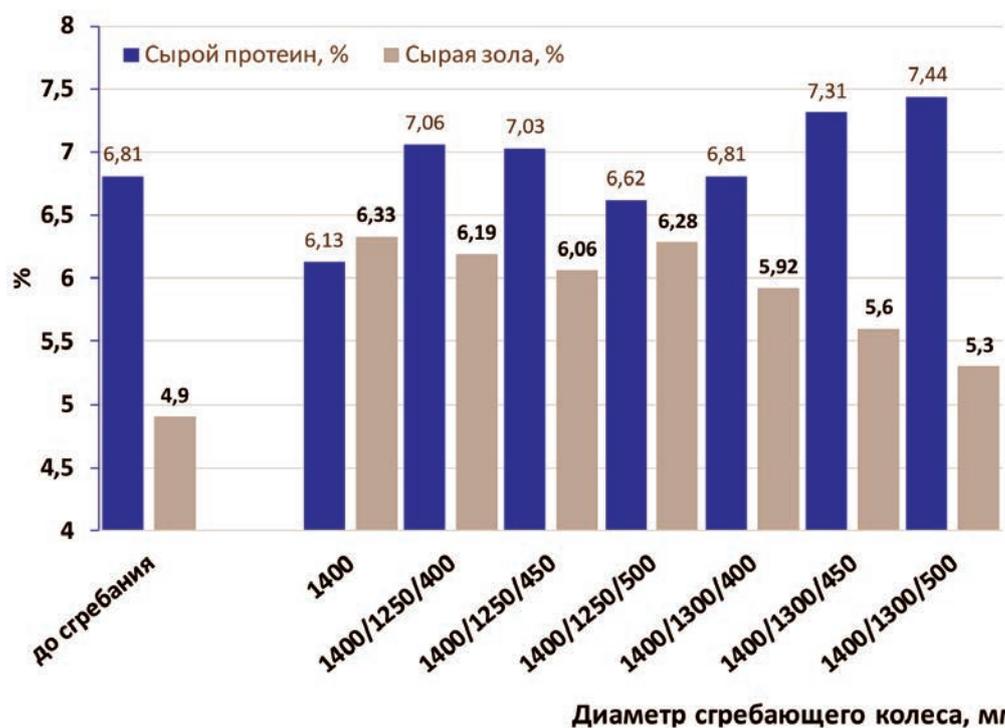


Рис. 6. Зависимость содержания сырого протеина и сырой золы в тимфеевке от параметров рабочих органов сдвоенного типа, а также серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей

Так, при изменении диаметров сгребающих колес и расстояния между сгребающими и приводными колесами с 1400/1250/400 до 1400/1250/450–500 происходило увеличение сырой золы от 6,06 до 6,28 %. При изменении диаметров сгребающих колес и расстояния между сгребающими и приводными колесами с 1400/1300/400 до 1400/1300/450–500 содержание сырой золы увеличилось от 5,3 до 5,92 %.

При этом наиболее низкий показатель содержания сырой золы составляет 5,3 % и достигается при соотношении диаметров колес 1400/1300 мм и расстоянии между ними 500 мм, что на 0,4 % выше исходного показателя травяной массы и на 1,03 % ниже показателей серийно выпускаемых колесно-пальцевых граблей. Такая разность показателей объясняется тем, что при сгребании травяных кормов сгребаящими колесами диаметром 1300 мм получается чистый и более вспушенный валок за счет работы колес над поверхностью почвы, а также за счет отсутствия эффекта волочения, что в итоге сохраняет корм чистым [2].

### **Заключение**

В результате экспериментальных исследований установлены следующие рациональные параметры рабочих органов сдвоенного типа макетной установки колесно-пальцевых граблей:

- диаметр приводных колес – 1400 мм;
- диаметр сгребаящих колес – 1300 мм;
- расстояние между приводным и сгребаящим колесами – 500 мм.

Применение таких параметров рабочих органов сдвоенного типа в сравнении с серийно выпускаемыми колесно-пальцевыми граблями позволит:

– при сгребании бобовых травяных кормов ускорить влагоотдачу, повысив содержание сухого вещества на 5,41 %, повысить содержание сырого протеина на 1,14 %, снизить загрязнение травяной массы почвой, что выражается в снижении содержания сырой золы на 3,03 %, снизить содержание сырой клетчатки на 1,5 %, а также минимизировать попадание камней в валок;

– при сгребании злаковых травяных кормов ускорить влагоотдачу, повысив содержание сухого вещества на 5,9 %, повысить содержание сырого протеина на 0,63 %, снизить загрязнение травяной массы почвой, что выражается в снижении содержания сырой золы на 1,03 %, снизить содержание сырой клетчатки на 3,62 %, а также минимизировать попадание камней в валок.

В результате экспериментальных исследований установлена следующая закономерность: после прохода граблей вдоль сформированного валка на расстоянии от 250 до 550 мм от края валка остаются хаотично расположенные камни диаметром от 27 до 80 мм. Благодаря этому при сгребании травяных кормов в валок попадает меньше камней, что способствует надежной (без поломок) работе подборщика кормоуборочного комбайна или пресс-подборщика.

### **Список использованных источников**

1. Исследование процесса валкования травяных кормов с обоснованием параметров рабочих органов сдвоенного типа // Протокол от 08.12.2022 № 2-2022 проведения экспериментальных исследований / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; рук. темы 6.8.1 Э.В. Дыба. – Минск, 2022. – С. 24–55.

2. Исследование процесса валкования травяных кормов с обоснованием параметров рабочих органов сдвоенного типа // отчет о НИР (промежуточный) / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; рук. темы 6.8.1 Э. В. Дыба. – Минск, 2023. – 69 с.