УДК 631.361.2

ОЦЕНКА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СОРГОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Ряднов А.И., Тронев С.В., Шарипов Р.В., Федорова О.А.

ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный аграрный университет», Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Волгоград, e-mail: alex.rjadnov@mail.ru

Составлены графы технологических процессов работы одномодульного навесного соргоуборочного комбайна, оборудованного молотильно-сепарирующим устройством инерционно-очесного типа, разработанным сотрудниками Волгоградского государственного аграрного университета, на уборке веничного сорго без учета и с учетом потерь зерна такими рабочими органами, как нормализатор растений, прямоточная выносная молотильная камера, зерносборник, устройство подачи зерна в бункер, режущий аппарат, транспортер срезанных растений. Предложена методика оценки пропускной способности рабочих органов соргоуборочного комбайна, позволяющая определить по величине потерь зерна или обработанного растительного материала рабочий орган, ограничивающий производительность комбайна, в соответствии с которой рабочий орган будет иметь минимальную пропускную способность в том случае, если его разрез на графе технологического процесса работы комбайна будет иметь пропускную способность меньше или равную пропускной способности всех соседних разрезов.

Ключевые слова: соргоуборочный комбайн, пропускная способность, рабочие органы, граф, потери зерна

SORGHUM COMBINE HARVESTER NONKING DEVICES AUSPUT ABILITY EVALNASING

Ryadnov A.I., Tronev S.V., Sharipov R.V., Fedorova O.A.

Volgograd state agrarian University, Ministry of agriculture of the Russian Federation, Volgograd, e-mail: alex.rjadnov@mail.ru

The staff of the Volgograd state agrarian university worked out the charts of the single-module mounted sorghum harvester equipped with the threshing and separating device of inertial-combing type work technological processes on the base of broom corn harvesting with and without taking into account the losses of grain by such working bodies as plants normalizer, direct-flow remote threshing camera, grain collector, device of grain supply into the tank, cutting machine, cut plants conveyor. The authors suggested the method for assessing the sorghum harvester working bodies' capacity, allowing to define the quantity of grain loss or processed plant material, working body limiting the combine capacity, according to which the working body will have the minimum output if its section on the chart of the combine work technological process has a capacity less than or equal to the adjacent sections capacity.

Keywords: sorghum harvester, capacity, working mechanisms, graphic chart, grain losses

Важнейшим фактором, влияющим на повышение эффективности уборки зерновых колосовых и метелочных культур, является увеличение пропускной способности рабочих органов комбайнов с обеспечением минимального или допустимого уровня потерь зерна. До настоящего времени не изучено влияние указанного фактора на пропускную способность соргоуборочного комбайна, оборудованного молотильно–сепарирующим устройством (МСУ) инерционно–очесного типа. Поэтому исследование данного вопроса является актуальной задачей.

Цель исследования – теоретическая оценка пропускной способности рабочих органов соргоуборочного комбайна, оборудованного МСУ инерционно–очесного типа, на уборке веничного сорго.

Материалы и методы исследований

Оценка пропускной способности рабочих органов соргоуборочного комбайна осуществлялась на основе теории потоков в сетях.

Результаты исследований и их обсуждение

Учеными Волгоградского ГАУ разработан щелевой битер с транспортирующей пластиной [1], который явился базовым элементом МСУ инерционно–очесного типа для соргоуборочных одно– и многомодульных навесных и прицепных комбайнов [2, 3, 4].

Составим графы работы одномодульного навесного соргоуборочного комбайна [2] (рис. 1) с учетом и без учета потерь зерна за ним.

В процессе работы соргоуборочного комбайна рабочие органы выполняют ряд технологических операций, в том числе: обмолот растений на корню и последующий их срез, подача зерна из прямоточной выносной молотильной камеры (ПВМК) в бункер комбайна, погрузка обмолоченных и срезанных растений в транспортное средство и т. д.

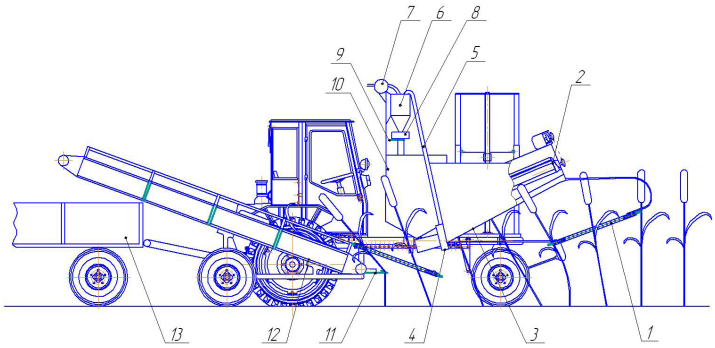

Рис. 1. Схема одномодульного навесного соргоуборочного комбайна

Работу соргоуборочного комбайна в полевых условиях представим как сеть. Составим связанный граф G = (X, Г), а целочисленную неотрицательную функцию φ(u), заданную на множестве Г дуг графа G, представим как потоки убираемой массы сорго. При составлении графа G = (X, Г) возможно два варианта работы соргоуборочного комбайна: первый – без учета потерь зерна сорго рабочими органами, второй – с учетом общих потерь зерна.

Составим граф G_1 = (X, Г) для первого варианта на примере работы одномодульного соргоуборочного комбайна, оборудованного МСУ инерционно–очесного типа, на уборке веничного сорго. Рабочие органы комбайна, которые осуществляют перемещение убранной массы сорго, назовем вершинами графа N_i, а поток убранной массы сорго, показанный линиями, – дугами A_{ij}. Так как направления движения убранной массы сорго рабочими органами комбайна известны, то рассмотрим ориентированный граф. Массу сорго неубранного участка назовем входом сети и обозначим N_s, а сумму масс зерна в бункере комбайна, стеблей в тележке и мелких фракций на стерне – выходом и обозначим N_t (рис. 2).

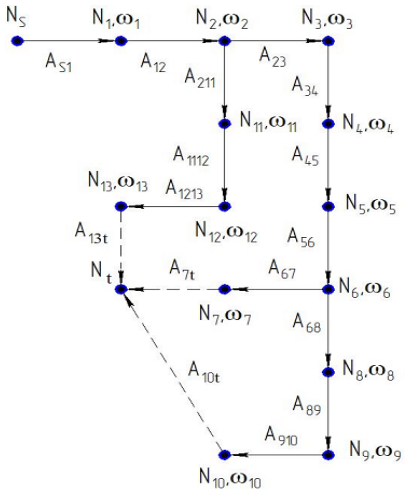

Рис. 2. Связанный граф G_1 = (X, Г) работы соргоуборочного комбайна

Каждой вершине поставлено действительное число, указывающее ее пропускную способность ω_i, то есть максимальную величину потока, который может пропустить этот узел.

Граф составлен на основе технологического процесса функционирования рабочих органов комбайна, в соответствии с которым стебли сорго, в процессе движения комбайна по полю захватываются зацепами нормализатора (1, см. рис. 1) N_1 (с максимальной величиной потока ω_1), отклоняют их перпендикулярно битерам (2) ПВМК N_2 (ω_2). Битеры ПВМК N_2 (ω_2) обмолачивают метелки сорго. Зерно и мелкие фракции по наклонной плоскости (3) N_3 (ω_3) скатываются в сборник зерна (4) N_4 (ω_4), а далее по трубопроводу (5) N_5 (ω_5) попадают под действием вентилятора (7) в циклон (6) N_6 (ω_6). В циклоне N_6 (ω_6) мелкие примеси отделяются от зерна и выбрасываются на стерню N_7 (ω_7). Чистое зерно скапливается в накопителе (8) циклона N_8 (ω_8), далее при открытии заслонки (9) N_9 (ω_9) оно поступает в бункер (10) N_{10} (ω_{10}). Обмолоченные растения затем попадают к режущему аппарату (11) N_{11} (ω_{11}). Режущий аппарат N_{11} (ω_{11}) срезает обмолоченные растения, которые под действием сил инерции попадают на транспортер (12) N_{12} (ω_{12}) и далее в тележку (13) N_{13} (ω_{13}).

Обозначим выход сети N_t графа G_1 = (X, Г), объединяющий дополнительные потоки: зерна в бункере комбайна N_{10}, срезанных и обмолоченных растений в тележке N_{13} и мелких примесей на стерне N_7.

Пусть x_{ij} – поток по дуге A_{ij} из узла N_i в узел N_j. В силу условия сохранения потока в каждом узле величина потока, проходящего через узел N_j, равна $\sum_i x_{ij}$; обозначим ее x_j.

Тогда задача о максимальном потоке с ограничениями на пропускные способности узлов формулируется следующим образом: максимизировать υ при условиях

$$\sum_{i} x_{ij} - \sum_{k} x_{jk} = \begin{cases} -\upsilon, \text{если } j = s \\ 0, \text{если } j \neq s, t, \\ \upsilon, \text{если } j = t \end{cases}$$

$$x_{ij} \geq 0,\ 0 \leq x_j \leq w_j \text{ для всех } i, j$$

$$\sum_{i} x_{ij} = x_j$$

Назовем разрезом, разделяющим N_s и N_t в сети с пропускными способностями узлов, множество узлов, удаление которых превращает исходную сеть в несвязанную сеть, состоящую из двух или более частей, где узлы N_s и N_t попадают в разные части.

Соседние узлы, выполняющие только функцию транспортирования, для упрощения графа G_2 = (X, Г) можно объединить в один N_k. В рассматриваемой сети, изображенной на рисунке 3, разрезы обозначены пунктирными линиями:

$$\left(A, \overline{\mathrm{A}}\right) = \left\{A_{S1}\right\},\ \left(B, \overline{\mathrm{B}}\right) = \left\{A_{12}\right\},\ \left(GC, \overline{\mathrm{GC}}\right) = \left\{A_{211}, \mathrm{A}_{23}\right\},\ \left(GD, \overline{\mathrm{GD}}\right) = \left\{A_{211}, \mathrm{A}_{56}\right\},$$

$$\left(GFE, \overline{\mathrm{GFE}}\right) = \left\{A_{211}, \mathrm{A}_{67}, \mathrm{A}_{6810}\right\},\ \left(HC, \overline{\mathrm{HC}}\right) = \left\{A_{111213}, \mathrm{A}_{23}\right\},\ \left(HD, \overline{\mathrm{HD}}\right) = \left\{A_{111213}, \mathrm{A}_{56}\right\},$$

$$\left(HFE, \overline{\mathrm{HFE}}\right) = \left\{A_{111213}, \mathrm{A}_{67}, \mathrm{A}_{6810}\right\}.$$

В сети с пропускными способностями узлов справедлива теорема о максимальном потоке и минимальном разрезе: максимальная величина потока из источника N_s в сток N_t равна пропускной способности минимального разреза, разделяющего N_s и N_t.

Для поиска разреза с минимальной пропускной способностью используем определение: разрез локально минимальный, если его пропускная способность меньше или равна пропускной способности всех соседних разрезов. Из определения следует, что минимальный разрез является в некотором смысле абсолютно минимальным разрезом. Чтобы разрез был минимальным, необходимо, но недостаточно, чтобы он был локально минимальным. Поэтому для нахождения абсолютного минимума функции надо сравнить все локальные минимумы в данном графе.

Пропускную способность ω_i узлов и разрезов, $\left(A, \overline{\mathrm{A}}\right)$, $\left(B, \overline{\mathrm{B}}\right)$ можно рассчитать с использование аналитических зависимостей. Для расчета пропускной способности разрезов $\left(GC, \overline{\mathrm{GC}}\right)$, $\left(GD, \overline{\mathrm{GD}}\right)$, $\left(GFE, \overline{\mathrm{GFE}}\right)$, $\left(HC, \overline{\mathrm{HC}}\right)$, $\left(HD, \overline{\mathrm{HD}}\right)$, $\left(HFE, \overline{\mathrm{HFE}}\right)$ недостаточно рассчитать пропускную способность ω_i узлов. Дополнительно необходимо известными методами найти максимальный поток [5, 6] разреза, а следовательно, возможно определить минимальный разрез.

Для второго варианта составим граф G_3 = (X, Г) на примере работы одномодульного соргоуборочного комбайна, оборудованного МСУ инерционно–очесного типа, на уборке веничного сорго с учетом общих потерь зерна.

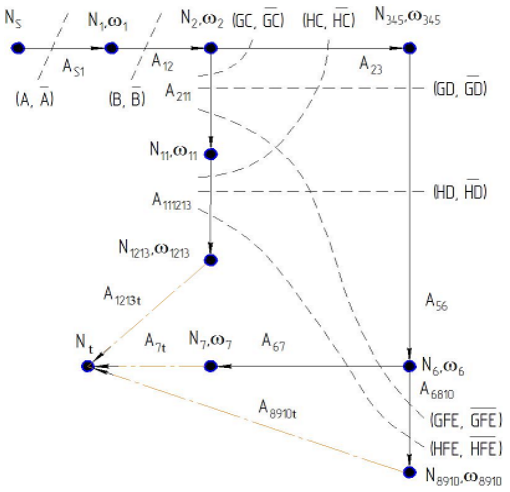

Рис. 3. Упрощенный связанный граф G_1 = (X, Г) работы соргоуборочного комбайна без учета потерь зерна рабочими органами

Обозначения рабочих органов комбайна N_i с пропускными способностями ω_i, дуг A_{ij}, входа сети N_s, выхода сети N_t на рис. 4 возьмем из рис. 3. Дополнительно введем новый выход сети N_P графа $G_3 = (X, \Gamma)$, объединяющий потоки по дугам возможных потерь и выход сети N_t.

Зерно в потоке по дугам потерь обозначим Π_i. Так как при работе комбайна должна быть обеспечена герметизация внутренних узлов, то потери зерна в них исключаются.

Во время работы соргоуборочного комбайна возможен случай, когда один или несколько рабочих органов N_i имеют пропускную способность ω_i ниже заданной подачи. По условию сохранения потока в каждом узле N_i, по дополнительной дуге потерь Π_i проходит зерно, выравнивающее этот поток. При этом условием определения рабочего органа с низкой пропускной способностью ω_i будет наличие потока зерна по дуге потерь Π_i. При этом величина потока зерна по дуге потерь Π_i будет характеризовать степень отклонения от заданной подачи. Если по дуге потерь Π_i проходит нулевой поток, то пропускная способность ω_i данного рабочего органа N_i выше или равна общей подаче в сорговеничный комбайн. Соответственно, во время работы соргоуборочного комбайна потери зерна, вызванные неэффективной работой рабочего органа, отсутствуют.

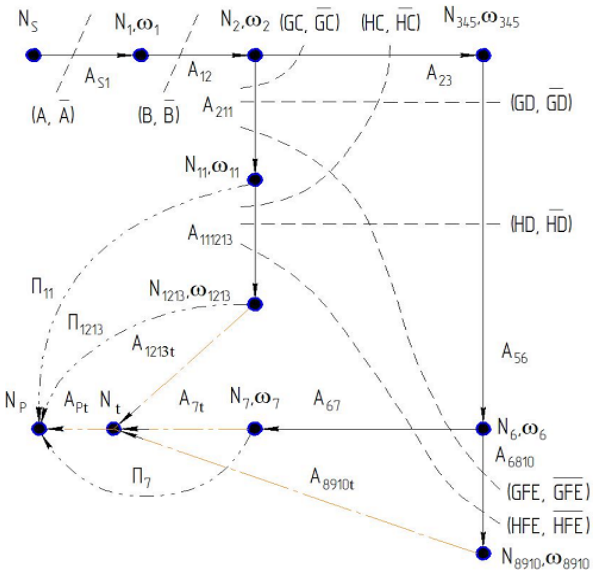

Рис. 4. Связанный граф $G_3 = (X, \Gamma)$ работы соргоуборочного комбайна с учетом потерь зерна рабочими органами

Теоретическая производительность соргоуборочного комбайна, рассчитанная с помощью аналитических зависимостей, отличается от реальной по допустимым потерям. Это подтверждает, что аналитические зависимости не могут учесть влияния всех факторов и их совокупностей. Поэтому оценка пропускной способности ω_i узла или разрезов по величинам потока зерна по дуге потерь Π_i является эффективной.

Вывод

Предложена методика оценки пропускной способности рабочих органов соргоуборочного комбайна, оборудованного МСУ инерционно–очесного типа, на уборке венечного сорго, позволяющая определить по величине потерь зерна или обработанного растительного материала тот рабочий орган, который ограничивает производительность комбайна.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ по проекту «Разработка и исследование инерционно–очесного способа обмолота зерновых колосовых и метелочных культур на корню и технологии для его реализации», договор № НК 13–08–01085\14.

Список литературы

1. Ряднов А.И., Скворцов А.К., Шарипов Р.В., Иленева С.В. Щелевой битер с транспортирующей пластиной // Патент РФ №2199203, A01D 41/08. 27.02.03. Бюл.№6.

2. Ряднов А.И., Шарипов Р.В., Семченко А.В. Комбайн для уборки технических культур // Патент РФ №2421974, A01D 41/08. 27.06.11. Бюл.№18.

3. Ряднов А.И., Шарипов Р.В., Семченко А.В. Прицепной соргоуборочный комбайн // Патент РФ №2496296, A01D 41/04, A01D 41/12. 27.10.13. Бюл.№30.

4. Ряднов А.И., Шарипов Р.В., Семченко А.В. Комбайн для уборки сорго // Патент РФ №2498553, A01D 37/00. 20.11.13. Бюл.№32.

5. Ряднов, А.И. Универсальный агрегат для уборки сорго /А.И. Ряднов, Р.В. Шарипов, А.В. Семченко, К.А. Матвеева//Сельский механизатор 2010. №4 – С. 6.

6. Ford, L. R. Flow in networks / L.R. Ford, D.R. Fulkerson. New Jersey, 1962. – P. 276.

7. Hu, T. Integer programming and network flows / T. Hu, Massachusetts Menlo Park, 1970. – P. 520.

References

1. Patent RF №2199203, A01D41/08 Schelevoi biter s transportiruyuschey plastinoy [Text]/ Ryadnov A.I., Skvortsov A.K., Sharipov R.V., Ileneva S.V.; Zayavitel i patentoobladatel – FGOU VPO Volgogradskaya GSHA – №2000128584; Zayav. 15.11.2000; opubl.27.02.03, Bul. no. 6.

2. Patent RF №2421974 A01D41/08 Kombayn dlya uborki tekhnicheskikh kultur [Text]/ Ryadnov A.I., Sharipov R.V., Semchenko A.V.; Zayavitel i patentoobladatel – FGOU VPO Volgogradskaya GSHA – №2010100341/21; Zayav. 11.01.2010; opubl.27.06.11, Bul. no. 18.

3. Patent RF №2496296 A01D 41/04, A01D41/12. Pritsepnoy sorgouborochnyy kombayn [Text]/ Ryadnov A.I., Sharipov R.V., Semchenko A.V.; Zayaviteli i patentoobladateli Ryadnov A.I., Sharipov R.V., Semchenko A.V. – №2012109041/13; Zayav. 11.03.2012; opubl.27.10.13, Bul. no. 30.

4. Patent RF №2498553 A01D 37/00 Kombayn dlya uborki sorgo [Text]/ Ryadnov A.I., Sharipov R.V., Semchenko A.V.; Zayaviteli i patentoobladateli Ryadnov A.I., Sharipov R.V., Semchenko A.V. – №2012103615/13; Zayav. 10.06.2012; opubl.20.11.13, Bul. no. 32.

5. Ryadnov A.I. Universalnyy agregat dlya uborki sorgo [Text]/ Ryadnov A.I., Sharipov R.V., Semchenko A.V., Matveeva K.A.//Selskiy mekhanizator no. 4, 2010g. – p.6.

6. Ford, L. R. Flow in networks / L. R. Ford, D.R. Fulkerson. New Jersey, 1962. – P. 276.

7. Hu, T. Integer programming and network flows / T. Hu, Massachusetts Menlo Park, 1970. – P. 520.

Рецензенты:

Пындак В.И., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Механика» ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный аграрный университет», г. Волгоград;

Рогачев А.Ф., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Математическое моделирование и информатика» ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный аграрный университет», г. Волгоград.

Работа поступила в редакцию 04.06.2014.