

12. Сарматов, М.И. Разработка пнистых залежей путем сплошного фрезерования торфа с древесными включениями / М.И. Сарматов, Г.И. Кужман // Тр. Московского торфяного института. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1956. Вып. 4. – С. 39 – 69.

13. Шешин, Б.С. Торф и бизнес / Б.С. Шешин // Торф и Бизнес. 2006, № 3(5). – С. 15 – 17.

14. Самсонов, Л.Н. Фрезерование торфяной залежи / Л.Н. Самсонов. М., 1985. – 211 с.

УДК 622.331:622.271.9

## **ЗАВИСИМОСТЬ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ УБОРКЕ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА ОТ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЦИКЛА**

**Купорова А.В., Беляков В.А., Болтушкин А.Н.**

*Тверской государственный технический университет*

*Проанализировано влияние продолжительности технологического цикла добычи фрезерного торфа на технологические, производственные и экономические показатели. Показано, что с увеличением продолжительности цикла цикловой сбор увеличивается в степенной зависимости, причем показатель степени  $n < 1$  ( $n = 0.45 \dots 0.6$ ). Количество циклов определяется количеством бездождных промежутков и их продолжительностью. При сокращении продолжительности цикла увеличивается сезонный сбор торфа, снижаются на 5...7% технологические затраты на производство 1 т готовой продукции. Однако, реализация коротких циклов (0,5 суток) сдерживается рядом технических и организационных трудностей.*

Производство фрезерного торфа осуществляется отдельными технологическими циклами. Каждый цикл начинается с фрезерования (экскавации) торфяной залежи и заканчивается уборкой готовой продукции в полевые единицы хранения. Принципиальное отличие производства торфяной продукции от добычи других полезных ископаемых заключается в удалении большого количества избыточной влаги. Так, например, при производстве фрезерного торфа для получения 1 т. готовой продукции удаляется до 9 т. воды. Причем от 4 до 6 т. воды удаляется при осушении торфяной залежи, а удаление остального количества воды происходит в процессе полевой сушки за счет лучистой энергии Солнца и тепла окружающего воздуха.

Все существующие способы производства торфяной продукции базируются на полевой сушке торфа, интенсивность которой определяет цикловые и сезонные сборы и, в конечном счете, производительность труда и другие технико-экономические показатели. Поэтому рациональное построение технологического процесса сушки является одним из важнейших условий повышения эффективности торфяного производства.

Одним из важных факторов, влияющих на технико-экономическую эффективность производства фрезерного торфа, является продолжительность технологического цикла. Все основные технологические показатели производства фрезерного торфа (цикловые сборы, число циклов, сезонные сборы, количество технологического оборудования) определяются продолжительностью цикла, которая пропорциональна продолжительности сушки торфа от его начального влагосодержания до уборочного. Поэтому задача выбора оптимальной продолжительности цикла заключается в том, чтобы за определенный промежуток времени высушить максимально возможное количество торфа, т.е.

$$\frac{P_c(1+W_y)}{\tau} = \max, \quad (1)$$

где  $P_c$  – удельная загрузка торфа по абсолютно сухому веществу, кг/м<sup>2</sup>;

$W_y$  – условное влагосодержание торфа, кг/кг;

$\tau$  – продолжительность цикла, ч.

После подстановки в уравнение (1) значения

$$\tau = \frac{(W_H - W_K)P_c}{i_c}$$

Получим

$$\frac{1+W_y}{W_H - W_K} i_c = \max, \quad (2)$$

т.е. наиболее эффективным будет способ, обеспечивающий максимальную интенсивность сушки  $i_c$  (кг/(м<sup>2</sup>·ч)), при наименьшем количестве удаляемой влаги  $W_H - W_K$ .

Влагосодержание  $W_K$  убираемого торфа определяется требованиями потребителя и для данного вида продукции изменяется

незначительно. Начальное влагосодержание  $W_n$  определяется возможностями применяемого комплекса гидротехнических мероприятий при осушении торфяных залежей.

В настоящее время продолжительность цикла производства фрезерного торфа составляет 1...3 суток. С изменением продолжительности цикла изменяются как параметры сушки, так и технико-производственные показатели. При изменении продолжительности сушки изменяется толщина сушимого слоя. А вместе с ней изменяется интенсивность сушки  $i_c$  [1, 6]:

$$i_c = \frac{C}{h^{0,33}}, \text{ кг/(м}^2\text{ч)}, \quad (3)$$

где  $C$  – величина, не зависящая от толщины сушимого слоя  $h$ .

Как следует из уравнения (3), с уменьшением толщины слоя интенсивность сушки повышается. Однако с уменьшением толщины слоя повышается неравномерность толщины расстила, уменьшается средневзвешенный диаметр частиц торфа, что ведет к некоторому уменьшению интенсивности сушки. По данным ряда исследователей, снижение толщины сушимого слоя ведет к увеличению сезонных сборов торфа. Если принять все параметры, кроме толщины слоя, постоянными, то уменьшение  $h_n$  в два раза повышает интенсивность сушки примерно на 20%. Продолжительность сушки при этом сокращается на 60%. В свою очередь, уменьшение продолжительности сушки ведет к увеличению количества технологического оборудования.

Интенсивность сушки может служить показателем полноты использования метеорологических условий сезона. Вместе с изменением продолжительности цикла сушки изменяются количество циклов за сезон, цикловые и сезонные сборы торфа. Важным обстоятельством является то, что наряду с технологическими показателями сушки изменяются также и технико-экономические показатели работы оборудования, такие как производительность машин и стоимость обработки единицы площади. Причем различные машины по-разному реагируют на изменение циклового сбора и продолжительности цикла.

В настоящее время в производстве уборка торфа осуществляется по двум принципиально различным схемам: с механическим и пневматическим принципом сбора. Пневматический принцип сбора позволяет более гибко регулировать технологию

ческие параметры – продолжительность цикла, величину циклового сбора, влажность убранного торфа и др. Поэтому вопрос о выборе продолжительности цикла для пневматической уборки становится наиболее важным.

С этой целью в камере искусственного климата Тверского государственного технического университета были поставлены специальные опыты по исследованию особенностей сушки фрезерного торфа при различной продолжительности цикла. Опыты проводились с верховым торфом степенью разложения  $R = 25\%$  с разной удельной загрузкой по сухому веществу, соответствующей продолжительности цикла 0,5, 1 и 2-е суток, при средних метеорологических условиях (температура воздуха  $t_c = 25^\circ\text{C}$ , относительная влажность  $\varphi = 50\%$ , скорость ветра  $v = 1,5$  м/с, интенсивность облучения  $Q = 0,49$  кВт/м<sup>2</sup>). Опыты проводились в течение 12 суток при различной продолжительности цикла сушки: 0,5, 1 и 2-е суток, т.е. было выполнено 24, 12 и 6 циклов различной продолжительности. По результатам опытов были построены кривые сушки  $W = f(\tau)$  для технологии с продолжительностью сушки 5, 10 и 20 ч (см. рис.).

Из анализа кривых сушки видно, что при загрузке  $P_c = 0,48$  кг/м<sup>2</sup> (кривая 1) от начального влагосодержания  $W_n = 4,27$  кг/кг до условного  $W_y = 0,67$  кг/кг за 5 часов сушки можно высушить весь слой со средним сбором торфа 10,2 т/га по 24 циклам. При продолжительности цикла 10 ч (кривые 2 и 2') сбор составил 16,2 т/га, а при продолжительности цикла 20 ч (кривые 3 и 3') – 20,6 т/га. Увеличение сборов идет не прямо пропорционально увеличению продолжительности цикла, а в степенной зависимости  $q_{ц} = C \tau^n$ , где показатель степени  $n < 1$  ( $n \approx 0,45 \dots 0,6$ ), т.е. цикловой сбор увеличивается медленнее по сравнению с ростом продолжительности цикла. Это объясняется уменьшением интенсивности сушки с увеличением толщины сушимого слоя.

Критерием оптимальности технологической схемы сушки может служить величина сезонного сбора торфа, которая является производением циклового сбора и количества циклов. Так как метеорологические условия сезонов изменяются, то и возможное количество циклов, а следовательно, и сезонный сбор также будут изменяться. Но потребитель должен быть обеспечен необходимым количеством торфяной продукции каждый год вне зависимости от складывающихся метеорологических условий сезона. Это достигается путем расчета плановых показателей на определенную степень обеспеченности и созданием

соответствующей плановой обеспеченности величины резерва готовой продукции.

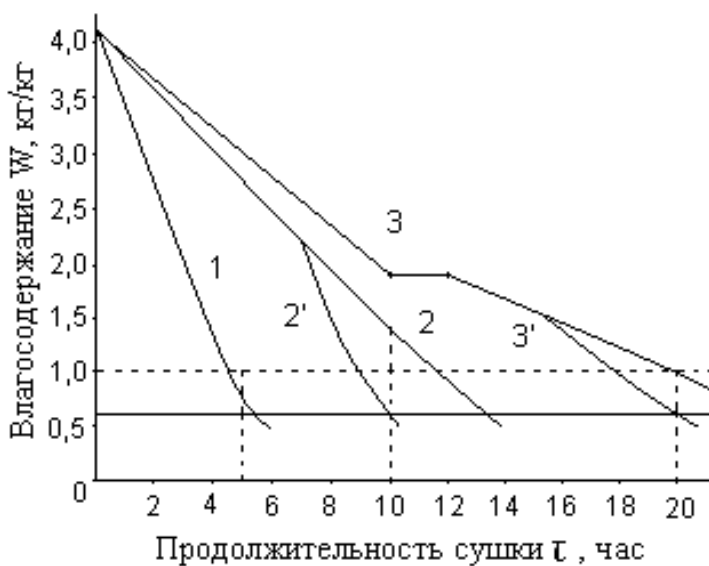


Рис. Кривые сушки фрезерного торфа:  
 1 — удельная нагрузка  $0,48 \text{ кг/м}^2$ ; 2 —  $1,0 \text{ кг/м}^2$ ; 3 —  $1,35 \text{ кг/м}^2$ ;  
 2', 3' — удельная нагрузка после ворошения.

С целью определения возможного количества циклов различной продолжительности были обработаны метеорологические данные по станции Тверь, а также использованы данные ВНИИТП [2].

Ранее было установлено, что распределение таких показателей как количество циклов за сезон, количество уборочных дней, величина испарения влаги из слоя торфа весьма близко к закону нормального распределения. Поэтому для определения числа циклов в сезоне при различной обеспеченности можно использовать математический аппарат нормального распределения. Результаты обработки метеорологических данных за 30-летний период, а также цикловой и сезонный сбор при различной продолжительности цикла представлены в таблице 1.

Таблица 1– Количество циклов, цикловой и сезонный сборы

| Показатели   | Значения |       |       |
|--|----------|-------|-------|
| Продолжительность цикла, сутки                       | 0,5      | 1     | 2     |
| Среднее количество циклов за сезон                   | 116      | 58    | 24,4  |
| Коэффициент вариации, $C_v$                          | 0,107    | 0,195 | 0,238 |
| Среднее квадратическое отклонение, $\sigma$          | 12,4     | 11,3  | 5,81  |
| Количество циклов при обеспеченности $\omega = 70\%$ | 110      | 52    | 21    |
| Цикловой сбор, $q_{ц}$ , т/га                        | 10,2     | 16,2  | 20,6  |
| Сезонный сбор, $q_c$ , т/га                          | 1122     | 842   | 433   |

Из данных табл.1 следует, что при сокращении продолжительности цикла количество циклов увеличивается, цикловой сбор уменьшается, а сезонный – увеличивается. Увеличение сезонного сбора при коротких циклах объясняется увеличением интенсивности испарения влаги из более тонкого расстила (3).

Таким образом, можно сделать вывод, что технология с укороченными циклами более эффективна, так как сезонный сбор выше. Но при уменьшении продолжительности цикла увеличивается частота обработки площади машинами, а при уменьшении циклового сбора это приводит к увеличению машинного времени на производство единицы продукции и, следовательно, к увеличению затрат.

Величина циклового сбора по-разному влияет на производительность технологических машин по обработанной площади ( $m^2/c$ ) и по массе убранный торфа. Производительность пневмоуборочных машин связана с работой пневмосистемы. Поступательная скорость пневмоуборочной машины ( $v_{п}$ ) связана с цикловым сбором соотношением

$$v_{п} = \frac{a \gamma_{в} \mu v_{вс}}{q_{ц}}, \quad \frac{м}{с}, \quad (4)$$

где  $a$  – высота входной щели сопла, м;

$\mu$  – массовая концентрация аэромеси, кг/кг;

$\gamma_{в}$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$v_{вс}$  – скорость воздуха на входе в сопло, м/с;

$q_{ц}$  – цикловой сбор, кг/м<sup>2</sup>.

Производительность машины на прямом рабочем проходе определяется формулой

$$S = b_k v_{\text{п}}, \text{ м}^2/\text{с}, \quad (5)$$

где  $b_k$  – ширина захвата машины, м.

Массовая производительность машины (кг/с) определится путем подстановки в формулу (5) значения поступательной скорости  $v_{\text{п}}$  из (4) и умножения на  $q_{\text{ц}}$ :

$$G = b_k a \gamma_{\text{в}} \mu v_{\text{вс}}, \quad (6)$$

т.е. массовая производительность пневмоуборочной машины не зависит от поступательной скорости, если только массовая концентрация аэросмеси не зависит от поступательной скорости.

Анализ результатов многочисленных полевых и лабораторных испытаний пневмоуборочных машин показал, что концентрация аэросмеси практически не зависит от поступательной скорости машины [3]. Концентрация аэросмеси определяется скоростью всасывания воздуха на входе в сопло и конструктивными особенностями машины.

Исходя из этих предпосылок были рассчитаны производительность пневмоуборочной машины, затраты машинного времени на обработку 1 га и некоторые стоимостные показатели в зависимости от продолжительности технологического цикла, приведенные в табл.2.

Стоимость 1 машино-часа определена с учетом стоимости горючего, зарплаты водителя, амортизационных отчислений, отчислений на текущий ремонт и налогов на зарплату.

При продолжительности цикла 1 и 2 суток учтены затраты на ворошение.

Как следует из данных табл. 2 технологические затраты на обработку 1 га увеличиваются с увеличением продолжительности цикла, что связано с уменьшением производительности пневмоуборочной машины. Однако технологические затраты на 1 т торфа увеличиваются незначительно с увеличением продолжительности цикла. При переходе с полудневной на однодневную продолжительность цикла затраты увеличиваются примерно на 5%, а при переходе на двухдневный цикл – на 6,6%. При данном расчете не учтены расходы на амортизацию и содержание производственных полей. С увеличением сезонного сбора при коротких циклах площадь производственных полей умень-

шается, поэтому затраты на содержание полей, приходящиеся на 1 т готовой продукции, также будут уменьшаться.

Таблица 2 – Техничко-экономические показатели при различной продолжительности цикла

| Показатели                     |           | Значения |      |      |
|--------------------------------|-----------|----------|------|------|
| Продолжительность цикла, сутки |           | 0,5      | 1    | 2    |
| Цикловой сбор, $q_{ц}$ , т/га  |           | 10,2     | 16,2 | 20,6 |
| Производительность S, га/ч     | Уборка    | 3,32     | 2,09 | 1,65 |
|                                | Ворошение | -        | 13,7 | 13,7 |
| Стоимость машино-часа, руб.    | Уборка    | 1500     | 1500 | 1500 |
|                                | Ворошение | -        | 380  | 380  |
| Затраты времени на 1 га, ч/га  | Уборка    | 0,30     | 0,48 | 0,61 |
|                                | Ворошение | -        | 0,07 | 0,07 |
| Затраты на 1 га, руб.          | Уборка    | 450      | 720  | 915  |
|                                | Ворошение | -        | 27,7 | 55,5 |
| Всего на 1 га, руб             |           | 450      | 748  | 970  |
| На 1т, руб.                    |           | 44,1     | 46,2 | 47,2 |

*Примечание. При продолжительности цикла 2 суток выполняется два ворошения.*

На основании приведенных данных можно сделать вывод, что короткие циклы более эффективны как по технологическим, так и по экономическим показателям. Однако реализация коротких циклов (0,5 суток) в производственных условиях сопряжена с рядом трудностей технического и организационного характера. Это усложнение управлением технологическим процессом, обусловленное быстро изменяющейся метеорологической и производственной обстановкой, а также трудности с осуществлением мелкого фрезерования торфяной залежи [4,5].

### Библиографический список

1. Афанасьев, А.Е. Интенсификация сушки торфа в полевых условиях /А.Е. Афанасьев, Г. Е. Столбикова // Труды Инсторфа: научный журнал. №5 (58). Тверь: ТвГТУ, 2012. – С.17-21.

2. Малков, Л.М. Исследование процесса сушки фрезерного торфа в тонких слоях / Л.М. Малков, А.И. Чураева // Труды ВНИИТП. Подготовка торфяных залежей глубоким фрезерованием и сушка торфа в тонких слоях. Вып.21. Гостоптехиздат, Ленинград: 1963. – С. 96-182.

3. Болтушкин А.Н. Исследование параметров расстила фрезерного торфа с целью выявления рациональных режимов ра-



*боты пневмокомбайнов. //Дисс. на соиск. уч. ст. к.т.н./.* Калинин, 1973. – 245 с.

4. *Столбикова. Г.Е. Процессы открытых горных работ. Фрезерный торф/ Г.Е. Столбикова, О.С. Мисников, В.Н. Иванов. -Тверь: ТвГТУ, 2017. – 160 с.*

5. *Васильев А.Н. Повышение выработки технологических машин: монография/ А.Н. Васильев. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2018. – 196 с.*

6. *Купорова А.В., Болтушкин А.Н., Беляков В.А. Совершенствование технологии добычи фрезерного торфа низкой степени разложения// В сб.: Саморазвивающаяся среда технического университета в 2-х частях. Тверь. 2017. – С. 115-120.*

УДК [552.574:53]:[553.97:626.86]

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВОДНЫХ СВОЙСТВ ТОРФЯНЫХ СИСТЕМ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ ОСУШЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

**Мисников О.С.**

*Тверской государственный технический университет*

*Выполнен анализ изменения водно-физических свойств торфяных систем при обезвоживании. При сушке и последующем увлажнении торфа наблюдаются три этапа, связанные со структурообразованием в системе. Границей перехода из состояния «торф в воде» в состояние «вода в торфе» является влагосодержание равное единице. В состоянии «вода в торфе» система теряет способность восстановления исходных характеристик.*

Для эффективного осушения торфяных месторождений необходим анализ информации по их гидрологическим особенностям. Они обусловлены геоморфологией, характером водного питания, видами растительного покрова, а также условиями внутреннего и внешнего влагообмена в залежи. Научное обоснование водно-физических свойств торфяных отложений базируется на классификации форм связи влаги с материалом [1]. Верхней границей, при которой вода механически удерживается торфом, является относительная влажность 89...90 %. Выше этих значений влага в болоте относится к категории свободной. Граничные условия могут изменяться в большую или меньшую