

УДК 622:812.001.1

В.И. Смирнов, Е.Ю. Черткова

ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ СУШКИ В ГЕОТЕХНОЛОГИИ ТОРФЯНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Приведены данные экспертной оценки по выбору наилучших вариантов добычи торфяного сырья пониженной влажности фрезерным способом. Такой подход необходим для сокращения энергетических затрат на искусственную сушку торфа. Предпочтение отдается двум вариантам: сушке торфа до уборочной влажности 35 % на аэрированном расстиле и на откосах валков. Использование первого варианта позволяет увеличить цикловые сборы на 24,3 %.

Ключевые слова: фрезерный торф, залежь, добыча, технология, оборудование, сушка.

Модернизация торфяного производства напрямую зависит от увеличения доли высокотехнологичной продукции, основанной на комплексной переработке торфяного сырья. При этом рыночная цена продуктов переработки торфа превышает стоимость сырья более чем в сто раз. Одной из основных технологических операций, которая отличается высокой энергоемкостью и присутствует практически в каждом технологическом процессе глубокой переработки торфа, является его искусственная сушка. В этой связи, важной задачей технологии добычи исходного сырья, используемого в таких процессах, является доведение его влажности в полевых условиях до минимально возможных значений. В тоже время специфика технологий добычи торфа связана со значительной зависимостью от погодных условий. В большей мере это относится к фрезерному способу добычи крошкообразного торфяного сырья.

Разрабатываемая в настоящее время в ТГТУ технология производ-

ства гидрофобно-модифицирующих добавок на основе торфяного сырья [1], предусматривает получение высокодисперсного торфяного полуфабриката начальной влажностью менее 20 %. Таким образом, наиболее перспективным подходом является комбинирование полевой сушки торфа за счет тепла солнечной радиации и искусственной досушки в специальных сушильных установках. При полевой сушке целесообразно принять технологию производства фрезерного торфа. Как правило, влажность поставляемого потребителю фрезерного топливного торфа составляет 45–50 %. Даже если принять влажность фрезерного торфа в среднем 47 % или 0,89 кг/кг в пересчете на влагосодержание, то при такой начальной влажности на каждый килограмм сушенки¹ в заводских условиях потребуются удалить 0,70 кг влаги, что свя-

¹ Торфяная сушенка – термин, применяемый в торфобрикетном производстве для обозначения торфа высушенного до влажности 12...16 %.

зано со значительными затратами тепловой энергии.

В связи с этим актуальность работы связана с решением задачи по снижению (в 1,5–2 раза) расхода энергии на искусственную сушку за счет разработки геотехнологического процесса добычи крошкообразного торфа с конечной влажностью около 35 %.

Для расчета цикловых сборов с пониженной влажностью готовой продукции была принята методика ВНИИ торфяной промышленности, которая наиболее полно учитывает влияние на полевую сушку торфа метеорологических, гидрологических и технологических факторов. Расчеты показали, что применительно к геотехнологии с пневматическим принципом сбора крошкообразного торфа при его досушке в полевых условиях до влажности 35 %, цикловые сборы снижаются на 10–12 %, что равнозначно снижению сезонных сборов, то есть к снижению эффективности использования производственных площадей.

В сложившейся ситуации возникает задача обеспечения нормативных цикловых сборов, но при уборке фрезерного торфа с более низкой конечной влажностью. Анализ литературных источников позволил выявить наиболее приемлемые направления интенсификации сушки фрезерного торфа в полевых условиях, которые сформулированы в виде следующих подходов [2, 3].

1. Сушка в тонких слоях. Технология предусматривает образование слоя крошки толщиной 7–10 мм, сушку без ворошения и уборку двух-трех циклов за один день.

2. Многократная послойная сушка. Расстил торфяной крошки формируется специальной машиной на поверхности залежи слоем 7–10 мм из

предварительно образованных валков, сушка не предусматривает ворошения до кондиционной влажности. Расстил второго слоя сырой крошки из валка укладывается на высушенный первый, сушка второго и первого слоя производится без ворошения. При хороших погодных условиях производится расстил и сушка третьего слоя, а затем одновременная уборка всех слоев.

3. Сушка уплотненных частиц. Этот вариант предусматривает направление сырой сфрезерованной массы в специальное устройство, которое уплотняет торфяную крошку и образует «обжатые» частицы, которые выстилаются на поверхность поля в 1,5–2 слоя и сушатся без ворошения.

4. Сушка на аэрированном подстиле. Залежь фрезеруют на глубину, достаточную для выполнения нескольких циклов сушки. При этом интенсивно испаряется влага из верхнего слоя и значительно снижается влагообмен сушеного слоя с нижележащими. Предусмотрено ворошение, а при выполнении второго и последующих циклов – рыхление верхнего слоя специальными машинами.

5. Сушка равномерного слоя. Для осуществления этого процесса предусматривается модернизация фрезерных барабанов, которые с применением дополнительных специальных устройств смогли бы образовывать равномерный по высоте слой торфяной крошки.

6. Сушка дополнительно диспергированного торфа. Интенсивную переработку торфяной залежи предлагается выполнять специальными машинами на глубину сезонной сработки залежи или на один технологический цикл.

7. Сушка на поверхности потерь торфяной крошки. Процесс предполагает создание специальных фрезе-

рующих машин, позволяющих собрать потери фрезерного торфа от предыдущего цикла, переместить их на поверхность залежи позади фрезерующего органа, а затем сырую массу от фрезы расстелить на поверхность потерь торфяной крошки.

8. Сушка на откосах специальных валков. По предлагаемой технологии предусмотрено предварительное образование крупных валков из сырой торфяной крошки, фрезерование оставшейся площади в каждом цикле, сушка и одновременная уборка кондиционной продукции с поверхностей откосов валков и торфяной залежи.

Для уменьшения влияния субъективных факторов при выборе наиболее эффективных методов интенсификации полевой сушки фрезерного торфа было принято решение привлечь в качестве экспертов ведущих специалистов науки и техники в области торфяного производства. Экспертная оценка выполнялась методом расстановки приоритетов, в соответствии с которым производится попарное сопоставление анализируемых показателей [4, 5]. Показателю (методу интенсификации сушки), которому эксперт отдавал предпочтение (преимущество), ставился символ больше (« > »). Если этот метод интенсификации сушки, по мнению эксперта, менее значим (предпочтителен), то ставился символ меньше (« < »). При равнозначности двух методов или при затруднении в оценке ставился знак равенства (« = »).

Экспертная оценка интенсификации выполнялась с двух позиций:

- из условия достижения максимальной интенсивности полевой сушки торфа в течение плановой продолжительности цикла;
- из условия минимального усложнения технологического процесса и максимального применения отече-

ственных или зарубежных машин при их незначительной модернизации.

В процессе обработки экспертной информации символы « > », « < » и « = » заменялись коэффициентами предпочтения $K_{п}$ (соответственно 1,5; 0,5 и 1,0). В табл. 1 приведен пример обработки результатов одного из экспертов.

По каждой строке матрицы определялась сумма коэффициентов предпочтения $\sum K_{п}$. Затем вычислялись абсолютные приоритеты P_i , для чего каждый коэффициент предпочтения $K_{п}$ в строке матрицы умножался на вектор-столбец суммарных значений коэффициентов предпочтения $\sum K_{п}$ соответствующего метода интенсификации сушки, а затем все произведения суммировались. Значимость рассчитывалась по формуле

$$\beta_i = P_i / \sum_{i=1}^m P_i,$$

где P_i – абсолютный приоритет по i -му методу интенсификации; m – число методов.

В соответствии с величиной значимости каждому методу интенсификации присваивался ранг. Достоверность экспертной информации проверялась по размаху суммарных рангов ΔR и дисперсии суммарных рангов D .

$$\Delta R > m\sqrt{2n},$$

где m – количество методов интенсификации; n – численность экспертной группы.

$$\Delta R = R_{i \max} - R_{i \min} \quad (1)$$

где $R_{i \max}$, $R_{i \min}$ – соответственно максимальное и минимальное значения суммарных рангов, присвоенных экспертами по всем методам интенсификации.

Суммарный ранг по i -му методу

$$R_i = \sum_{j=1}^n r_{ij}$$

Таблица 1

Матрица смежности методов интенсификации сушки крошкообразного торфа по условию достижения максимальной интенсивности

Методы интенсификации сушки	Коэффициенты предпочтения K_{ij}								Сумма коэф-фициентов $\sum K_{ij}$	Абсолютный приоритет P_i	Значимость β_i	Ранг r_i
	1	2	3	4	5	6	7	8				
Сушка в тонких слоях	1,0	0,5	0,5	1,5	1,5	0,5	0,5	0,5	6,50	47,25	0,100	6
Многократная послойная сушка	1,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5	10,50	79,25	0,167	2
Сушка уплотненных частиц	1,5	0,5	1,0	0,5	1,5	0,5	0,5	0,5	6,50	46,25	0,098	7
Сушка на аэрированном подстиле	0,5	0,5	1,5	1,0	1,5	1,5	0,5	0,5	7,50	54,25	0,114	4
Сушка равномерного слоя	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	4,50	34,25	0,072	8
Сушка дополнительно диспергированного торфа	1,5	0,5	1,5	0,5	1,5	1,0	0,5	0,5	7,50	53,25	0,112	5
Сушка на поверхности потерь торфяной крошки	1,5	0,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	0,5	9,50	69,25	0,146	3
Сушка на откосах специальных валков	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	11,50	90,25	0,190	1

где j – количество экспертов; r_{ij} – ранг i -го метода интенсификации по оценке j -го эксперта.

По размаху суммарных рангов осуществляется приближенная оценка. Более точная оценка достоверности экспертной информации выполняется по дисперсии суммарных рангов

$$D > (0,22m + 0,5) \cdot \bar{R}, \quad (2)$$

где $\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m}$ – среднее арифметическое значение суммарных рангов по всем методам интенсификации.

В табл. 2 приведены ранг пяти экспертов и итоговый ранг по результатам групповой экспертизы.

По формуле (1) левая часть $\Delta R = 32,5 - 7 = 25,5$, а правая часть составляет $8 \cdot \sqrt{2 \cdot 5} = 25,3$

Средний суммарный ранг $\bar{R} = 180/8 = 22,5$, а дисперсия

$$D = \sum (R_i - \bar{R})^2 / (m-1) = 358,00 / (8-1) = 51,14.$$

Правая часть по формуле (2) составляет $(0,22 \cdot 8 + 0,50) \cdot 22,5 = 50,85$.

Таким образом, условия достоверности экспертной информации по формулам (1) и (2) выдержаны, но с незначительным превышением.

Согласованность решений экспертов в оценке методов интенсификации сушки фрезерного торфа проверялась по относительному размаху значимостей

$$\Delta \beta_i = \frac{\beta_{ij \max} - \beta_{ij \min}}{\bar{\beta}_i} \leq 1,00,$$

где $\beta_{ij \max}$, $\beta_{ij \min}$ – соответственно максимальная и минимальная значимость по i -му методу; $\bar{\beta}_i$ – среднеарифметическая значимость.

В табл. 3 приведены расчеты согласованности экспертных оценок по

относительному размаху значимостей методов интенсификации сушки. Из табл. 3 следует, что условие $\Delta \beta \leq 1,00$ выдержано по всем методам интенсификации.

Экспертная оценка методов интенсификации сушки крошкообразного торфа позволила более обоснованно рекомендовать технологический процесс добычи фрезерного торфа пониженной влажности с применением пневматических уборочных машин. Проектируемой технологией предлагается объединить два метода интенсификации – сушку на аэрированном подстиле и одновременно на откосах предварительно созданных валков из сырой торфяной крошки. До начала сезона выполняется фрезерование торфяной залежи на глубину 25...30 мм и сразу же вся крошка сдвигается в два валка при расстоянии между картовыми каналами 20 м. За несколько циклов «фрезерование – валкование» высота валков достигает 1 м, а ширина по основанию – до 2,5 м. Таким образом, под валками будет занято около 25 % площади нетто, однако общая площадь откосов валков примерно на 15 % больше площади основания.

При наступлении благоприятных для сушки торфа метеорологических и гидрологических условий технологический процесс может быть организован по двум вариантам: фрезерование торфяной залежи в каждом цикле на глубину 9...11 мм или на глубину 25...30 мм из расчета выполнения двух – трех циклов сушки. В зависимости от принятой продолжительности цикла в процессе сушки выполняется одно или два ворошения.

При расчете цикловых сборов было принято, что начальная влажность при сушке на откосах укрупненных валков ниже нормативной

Таблица 2
Ранжирование методов интенсификации сушки крошкообразного торфа по уровню достижения максимальной интенсивности в течение плановой продолжительности цикла

Методы интенсификации сушки	№.№ вариантов	Ранги экспертов r_{ij}						Сумма рангов, R_i	Итоговый ранг	$R_i - \bar{R}$	$(R_i - \bar{R})^2$
		1	2	3	4	5	6				
Сушка в тонких слоях	1	3	2	8	6	7	26	7	3,5	12,25	
Многokратная послойная сушка	2	8	7	4	2	2-3	23,5	4-5	1	1	
Сушка уплотненных частиц	3	2	3	5	7	5	22	3	-0,5	0,25	
Сушка на аэрированном подстиле	4	7	8	2	4	2-3	23,5	4-5	1	1	
Сушка равномерного слоя	5	5-6	6	7	8	6	32,5	8	10	100	
Сушка дополнительно диспергированного торфа	6	5-6	4-5	1	5	8	24	6	1,5	2,25	
Сушка на поверхности по-терь торфяной крошки	7	4	4-5	6	3	4	21,5	2	-1	1	
Сушка на откосах специальных валков	8	1	1	3	1	1	7	1	-15,5	240,25	
Итого							180			358	

112 Таблица 3

Согласованность экспертных оценок по относительному размаху значимостей методов интенсификации полевой сушки фрезерного торфа в течение плановой продолжительности цикла

Методы интенсификации сушки	Значимость экспертов β_i					Средняя значимость, $\bar{\beta}$	Размах значимости	Относительный размах, $\Delta\beta_i$
	1	2	3	4	5			
Сушка в тонких слоях	0,143	0,148	0,079	0,1	0,091	0,112	0,069	0,615
Многократная послонная сушка	0,074	0,096	0,138	0,167	0,157	0,126	0,093	0,736
Сушка уплотненных частей	0,151	0,124	0,126	0,098	0,099	0,120	0,053	0,443
Сушка на аэрированном подстиле	0,093	0,084	0,15	0,115	0,157	0,120	0,073	0,609
Сушка равномерного слоя	0,111	0,117	0,099	0,072	0,098	0,099	0,045	0,453
Сушка дополнительно диспергированного торфа	0,111	0,123	0,151	0,112	0,08	0,115	0,071	0,615
Сушка на потери торфяной крошки	0,124	0,123	0,113	0,146	0,127	0,127	0,033	0,261
Сушка на откосах специальных валков	0,193	0,185	0,144	0,19	0,191	0,181	0,049	0,271

при фрезеровании торфяной залежи на 5 %, а при организации сушки на аэрированном подстиле – ниже на 3 %. Эти показатели по влажности приняты самыми минимальными по источникам соответствующих публикаций. Остальные исходные показатели при расчете цикловых сборов в различных вариантах организации приняты одинаковыми, т.е. как и при расчете для типовой технологической схемы.

Расчеты выполнены применительно к Вологодской области для верхнего типа торфяной залежи со степенью разложения 30 %. При организации технологического процесса по типовой схеме и влажности убираемого торфа 45 % цикловые сборы

составляют 12,33 т/га, а при уборке торфа с влажностью 35 % - 11,05 т/га, т. е. ниже на 10,4 %. Для технологического процесса с интенсификацией сушки торфа на откосах валков и фрезерованием торфяной залежи в каждом цикле расчетные цикловые сборы при уборочной влажности 35 % составляют 12,39 т/га, то есть достигают значений, как при уборочной влажности 45 % без дополнительной сушки на откосах валков. Интенсификация сушки на аэрированном подстиле позволяет увеличить расчетные цикловые сборы до 13,74 т/га, или на 24,3 % по сравнению с типовой технологической схемой при уборке фрезерного торфа с конечной влажностью 35 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мисников О.С. Физико-химические основы гидрофобизации минеральных вяжущих материалов добавками из торфяного сырья // Теоретические основы химической технологии, 2006. Т. 40. № 4. С. 455-464.

2. Васильев А.Н. Перспективные технологии производства фрезерного торфа: учебное пособие. Тверь: ТГТУ, 2007. 184 с.

3. Смирнов В.И. Управление процессом разработки торфяных месторождений: Учебн. пособие для вузов. М.: Недра, 1985. 224 с.

4. Моисеев Н.К., Карпунин М.Г. Основы теории и практики функционально-стоимостного анализа: учебное пособие. М.: Высшая школа, 1988. 192 с.

5. Смирнов В.И., Васильев А.Н. Экспертная оценка технических, технологических и организационных решений в торфяном производстве. Торф в решении проблем энергетики, сельского хозяйства и экологии. Тверь: ТГТУ, 2006. С. 68-70.

ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Смирнов Виталий Иванович – доцент, кандидат технических наук, Тверской государственный технический университет, кафедра «Геотехнология и торфяное производство», misolg@mail.ru.

Черткова Елена Юрьевна – магистр техники и технологии, аспирант, Тверской государственный технический университет, кафедра «Геотехнология и торфяное производство», lastochka-w@mail.ru.

