

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Ф.И.САВКО

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ТОРФА С МИНЕ-  
РАЛЬНЫМИ УДОБРЕНИЯМИ В СМЕСИТЕЛЯХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО  
И НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Специальность 05.179. Машины для добычи и  
транспортирования торфа

(диссертация на русском языке)

**А в т о р е ф е р а т**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Минск, 1972

Работа выполнена в Институте торфа АН БССР

Научный руководитель -

член-корреспондент АН БССР,  
доктор технических наук,  
профессор Ф.А.ОПЕЙКО

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,  
профессор А.Х. КИМ ;

кандидат технических наук,  
доцент ОВЧИННИКОВ С.С.

Ведущая организация -  
Институт "Белгипроторф"

Автореферат разослан "29" апреля 1972 г.

Защита состоится "2" июня 1972 г.

на заседании объединенного Совета по присуждению ученых степеней по механико-технологическим, машиностроительным, автотракторным и торфяным специальностям при Белорусском ордена Трудового Красного Знамени политехническом институте. С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института за 10 дней до защиты. О дне и времени защиты будет сообщено в газете "Вечерний Минск".

Отзывы в 2-х экземплярах просим направлять по адресу: г. Минск-220027, Ленинский проспект, 65, Белорусский ордена Трудового Красного Знамени политехнический институт, Ученому секретарю Совета.

Ученый секретарь Совета  
кандидат технических наук, доцент

Н.В.КИСЛОВ

Директивами XXIV съезда КПСС намечено значительное увеличение объема сельскохозяйственной продукции, которое должно быть достигнуто путем последовательного осуществления интенсификации сельскохозяйственного производства. Как одно из основных условий подъема сельского хозяйства на более высокий уровень отмечается необходимость повышения эффективности использования минеральных и органических удобрений.

Наличие больших запасов торфа в нашей стране создает благоприятные условия для его использования в производстве комплексных органоминеральных удобрительных смесей, отличающихся высокой эффективностью. Торфоминеральные удобрения находят широкое применение. Значительная часть этих удобрений производится на промышленных предприятиях.

Одним из важнейших требований, предъявляемых к качеству торфоминеральных смесей, является равномерность распределения составляющих их компонентов. Изготовление удобрений путем перемешивания торфа с минеральными компонентами при их послойном распределении по поверхности торфяника дает смеси, однородность которых зачастую не удовлетворяет предъявляемым к ним агротехническим требованиям. Значительно большей однородностью отличаются удобрения, приготовленные в специальных перемешивающих устройствах.

Смесители широко применяются в самых различных отраслях промышленности. Вопросы исследования процесса перемешивания торфа и других материалов посвящены работы М.П.Воларовича, Н.В.Чураева, А.А.Куликовского, А.И.Мандельбаума, К.И.Чекалова, К.П.Севрова, Е.А.Раскатовой, Ф.К.Новобранцева, К.Штанге и др. Однако перемешивание сыпучих материалов изучено недостаточно. Имеющиеся в литературе рекомендации по выбору оптимальных параметров перемешивающих устройств зачастую противоречивы и не могут быть непосредственно использованы для расчета смесителей торфоминеральных удобрений.

В настоящей работе исследована перемешивающая способность некоторых типов смесителей, имеющих наибольшее применение в народном хозяйстве. Установлено влияние на однородность торфоминеральных смесей их наиболее существенных физико-механических показателей при смешивании торфа с двумя характерными видами

минеральных удобрений – кристаллическим хлористым калием и фосфоритной мукой.

При выполнении работы были поставлены следующие задачи:

1. Анализ состояния вопроса и выбор смесителей для экспериментальных исследований.

2. Теоретическое исследование процесса перемешивания для смесителей периодического и непрерывного действия.

3. Экспериментальное исследование и установление оптимальных режимов работы смесителей периодического и непрерывного действия; выявление закономерностей процесса перемешивания.

4. Установление влияния наиболее существенных физико-механических характеристик торфоминеральных смесей на их однородность.

В первой главе диссертации приводится обзор перемешивающих устройств и выбор типа смесителей для их испытания; рассматриваются различные методы оценки качества смеси и анализа проб.

Для проведения исследований выбраны стандартные смесители периодического действия – двухвальный и одновальный лопастные, барабанный и спроектированный нами экспериментальный лопастной смеситель непрерывного действия.

Во второй главе изложены результаты теоретического исследования процесса перемешивания сыпучих материалов: проводится анализ различных способов определения качества смеси по содержанию в пробах индикаторного компонента; рассматривается влияние на однородность смеси различных факторов и приводится теоретическая формула определения предельного коэффициента неоднородности смеси; получены формулы необходимой для перемешивания мощности, интенсивности перемешивания и производительности лопастного смесителя.

За критерий качества смеси принят коэффициент неоднородности, представляющий собой коэффициент вариации содержания минерального компонента в отдельных пробах.

$$v = \frac{1}{C_0} \sqrt{\frac{\sum (C_i - C_0)^2}{n - 1}}, \quad (I)$$

где  $C_i$  и  $C_0$  – концентрация минерального компонента в отдельной пробе и его средняя концентрация в смеси;  $n$  – число проб.

В случае отсутствия причин, вызывающих разделение компонентов, предельный коэффициент неоднородности смеси определяется факторами, которые обусловлены ее дискретной структурой – размером частиц, соотношением перемешиваемых компонентов и весом отбираемых проб. Как отмечается рядом исследователей распределение частиц в смеси носит стохастический (вероятностный) характер. Содержание компонентов в пробах подчиняется биномиальному закону распределения, согласно которому для смеси, состоящей из частиц одного размера, и при отборе проб равного веса, предельный коэффициент неоднородности смеси определяется формулой

$$v_T = \sqrt{\frac{(1-p)g_i}{pg}}, \quad (2)$$

где  $p$  – отношение количества частиц индикаторного компонента к общему числу частиц (концентрация компонента в смеси);  $g$  и  $g_i$  – вес пробы и вес отдельной частицы.

Исходящие в литературе формулы для определения мощности лопастных смесителей сложны; полученные по ним результаты значительно расходятся с опытными данными. Нами сделана попытка на основании некоторых теоретических предпосылок и экспериментальных данных вывести формулу, которая была бы удобна для пользования и достаточно универсальна.

Мощность для движения в смеси лопастного вала можно представить как состоящую из мощности  $N_n$  для привода лопастей и мощности  $N_k$  для привода кронштейнов

$$N = K_n (N_n + N_k), \quad (3)$$

где  $K_n$  – коэффициент увеличения сопротивления движению лопастного вала, зависящий от скорости его вращения.

Исходя из линейной зависимости между сопротивлением движению лопастей и величиной их проекции на плоскость, перпендикулярную направлению движения, что приводится в работах ряда исследователей (И.П.Керов, В.Д.Мартынов и др.) и было подтверждено нашими экспериментами, для лопастей, толщина которых много меньше ширины

$$N_n = N_0 + (N_{max} - N_0) \sin \alpha = N_0 (1 + K_2 \sin \alpha), \quad (4)$$

где  $N_0$  – мощность для движения лопастей в перемешиваемом материале при их установке в плоскости вращения вала;  $N_{max}$  – то же

при установке лопастей под прямым углом к плоскости вращения;  
 $\alpha$  - угол установки лопастей к плоскости вращения;  $N_2 = \frac{N_{max} - N_0}{N_0}$ .

Мощность для движения лопастей при их установке в плоскости вращения вала можно определить по формуле

$$N_c = \omega \tau S, \quad (5)$$

где  $\omega$  - угловая скорость вращения лопастей;  $\tau$  - среднее тангенциальное напряжение между перемешиваемым материалом и лопастью;  $S$  - статический момент площади соприкосновения материала с поверхностью лопастей относительно оси вращения.

Среднее тангенциальное напряжение между перемешиваемым материалом и лопастью

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{T}{F_c} = \frac{\int_{F_c} \tau_i dF}{F_c} = \frac{f \gamma}{F_c \cos \psi} \int_{F_c} a_i dF = \\ &= \frac{f \gamma}{F_c \cos \psi} S_c = \frac{f \gamma a_{ц.т.}}{\cos \psi}, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $T$  - усилие сдвига материала относительно лопасти по площади  $F_c$  кольцевого сегмента, описываемого лопастью в перемешиваемом материале;  $\tau_i = f \gamma \frac{a_i}{\cos \psi}$  - тангенциальное напряжение между перемешиваемым материалом и лопастью на элементарной площадке  $dF$  лопасти;  $a_i$  - расстояние от элементарной площадки до поверхности материала;  $f$  - коэффициент трения материала о лопасть;  $\gamma$  - объемный вес смеси;  $\psi$  - угол естественного откоса перемешиваемого материала в движении;  $S_c = \int_{F_c} a_i dF = F_c a_{ц.т.}$  - статический момент площади  $F_c$  кольцевого сегмента относительно поверхности материала;  $a_{ц.т.}$  - расстояние от центра тяжести площади кольцевого сегмента до поверхности материала.

Если учесть толщину лопастей, то мощность, необходимая для их движения,

$$N_n = \omega \tau [S(1 + K_2 \sin \alpha) + S_d(1 + K_2 \cos \alpha) + S_h], \quad (7)$$

где  $S$ ,  $S_d$  и  $S_h$  - статические моменты относительно оси вращения площади соприкосновения с перемешиваемым материалом боковых поверхностей лопастей, их передних и задних, верхних и нижних граней.

Мощность для движения кронштейнов можно определить, используя приведенные формулы с учетом расположения поверхностей их деталей к направлению движения,

$$N_k = \omega \sum_i^n \tau_i' S_i (1 + \kappa_2 \sin \alpha_i'), \quad (8)$$

где  $\tau_i'$  - среднее тангенциальное напряжение между перемешиваемым материалом и деталью кронштейна;  $S_i$  - статический момент поверхности соприкосновения с материалом деталей кронштейнов относительно оси вращения;  $\alpha_i'$  - приведенный угол наклона поверхностей деталей кронштейнов к плоскости вращения вала, определяемый по формуле  $\sin \alpha_i' = \frac{2d_i}{\ell_i}$ ;  $d_i$  - размер отдельной детали кронштейна в осевом направлении вала;  $\ell_i$  - периметр детали в плоскости сечения перпендикулярной оси кронштейна.

Предположив, что с увеличением скорости вращения лопастного вала сопротивление его движению увеличивается пропорционально увеличению действующей на перемешиваемый материал центробежной силы по линейному закону, коэффициент  $\kappa_n$  увеличения мощности можно представить в следующем виде

$$\kappa_n = 1 + \kappa_1 \frac{1}{a_0} \omega^2 R, \quad (9)$$

где  $\kappa_1$  - коэффициент пропорциональности;  $a_0 = 1 \text{ м/сек}^2$ ;  $R$  - радиус лопастей по внешней кромке.

После подстановки полученных выражений в уравнение (5) формула мощности для перемешивания материала в горизонтальном лопастном смесителе

$$N = \omega (1 + \kappa_1 \frac{1}{a_0} \omega^2 R) \{ \tau [(1 + \kappa_2 \sin \alpha) S + (1 + \kappa_2 \cos \alpha) S_d + S_h] + \sum_i^n \tau_i' S_i (1 + \kappa_2 \sin \alpha_i') \}. \quad (10)$$

Как известно, однородность получаемой смеси зависит от интенсивности перемешивания, т.е. степени воздействия рабочих элементов смесителей на перемешиваемый материал, однако удовлетворительного метода ее количественного определения для смесителей сыпучих материалов до настоящего времени не имеется.

Определение интенсивности перемешивания проводилось нами по методу проф. Ф.А.Опейко, согласно которому интенсивность

перемешивания рассматривается как интенсивность деформаций и оценивается одним из инвариантов тензора деформаций.

Поскольку непосредственное определение интенсивности деформаций в лопастных смесителях математическим путем, в виду сложности движения в них материала и пересыпания его через лопасти очень сложно, интенсивность перемешивания определялась нами на основании формулы Ф.А.Опейки для средней удельной затраты энергии, отнесенной к единице объема смеси,

$$\rho = \sqrt{2} \tau \epsilon', \quad (II)$$

откуда интенсивность перемешивания материала лопастями

$$\epsilon' = \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{N_0 t}{V \tau} = \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{\omega S t}{V} (1 + k_2 \sin \alpha), \quad (I2)$$

где  $t$  и  $V$  - время перемешивания материала и его объем.

Для смесителей непрерывного действия формулу (I2) удобнее представить в следующем виде

$$\epsilon' = \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{\omega S}{Q} (1 + k_2 \sin \alpha), \quad (I2^a)$$

где  $Q = V/t$  - производительность смесителя.

Интенсивность перемешивания для барабанного смесителя определялась по формуле (I2) без коэффициента, заключенного в скобки, причем  $S$  в этом случае - статический момент площади соприкосновения с материалом поверхности деталей смесителя относительно оси вращения.

В т р е т ь е й главе рассматривается вопрос количества отбираемых проб и их веса, приводится методика анализа проб, описание испытывавшихся нами смесителей и методика экспериментальным исследований.

Определение содержания в пробах минеральных компонентов проводилось по разработанной нами ускоренной методике. Содержание хлористого калия определялось по его концентрации в водных вытяжках проб с помощью меркуриметрического метода определения хлоридов

Для смеси тофа с фосфоритной мукой, отличающейся плохой растворимостью, была разработана методика ускоренного проведения анализов, которая заключается в предварительном окрашивании ми-

нерального удобрения и определении однородности смеси по интенсивности окраски водных вытяжек проб, определяемой с помощью колориметра. Как показали проведенные опыты, оптическая плотность растворов находилась в линейной зависимости от содержания в пробах минерального удобрения.

Исследованию подлежали смесители периодического действия: двухвальный лопастной, стандартный, емкостью 0,22 м<sup>3</sup>, применяющийся в кирпичеделательном агрегате, одновальный лопастной емкостью 0,035 м<sup>3</sup> и барабанный смеситель конструкции ГИПГОХИМ, предназначенный для приготовления туков, с полезным объемом загрузки 0,4 м<sup>3</sup>.

Спроектированный нами экспериментальный смеситель непрерывного действия представлял собой горизонтальный желоб длиной 2,8 м и диаметром 320 мм с вращающимся в нем лопастным валом. Лопасти на валу смесителя устанавливались по винтовой линии под углом 90° друг к другу. В конструкции смесителя была предусмотрена возможность менять угол установки лопастей и их шаг; а также заменять лопасти. Привод смесителя осуществлялся от электродвигателя через коробку передач. Торф и минеральные компоненты подавались в смеситель с помощью дозаторов.

Опыты проводились на тростниково-осоковом торфе низинного типа со степенью разложения 35-40% и зольностью 12,2%. Торф при проведении испытаний смесителей высушивался до влажности 55-57% и пропускался через сито с размером ячеек 10 x 10 мм. Применявшийся хлористый калий заводского размола состоял из частиц размером до 1 мм и вносился в торф из расчета 6 кг на 1 т смеси.

При испытании смесителей периодического действия пробы отбирались через 0,25, 0,5, 1, 2, 4 и 8 мин с начала черемешивания; в экспериментальном смесителе непрерывного действия - по длине смесителя через 0,5 м от места загрузки по 10 проб в каждом месте. Вес проб 50 г.

Лопастные смесители периодического действия испытывались при различных скоростях вращения ротора. Испытание экспериментального смесителя непрерывного действия проводилось при различной скорости вращения, различном угле установки лопастей, коэффициенте наполнения смесителя, шаге лопастей и их размере; с односторонней и двухсторонней их установкой.

Коэффициент  $\varphi$  наполнения смесителей определяли по площади, занимаемой материалом в поперечном сечении желоба смесителя, считая  $\varphi = 0,5$  при его заполнении до осей валов. Доведение коэффициента наполнения смесителя непрерывного действия до определенной величины осуществлялось путем изменения с помощью шибберной заслонки дозатора, количества подаваемого в смеситель торфа, причем коэффициент наполнения устанавливали при этом в пределах  $\pm 5\%$  от заданного. Производительность смесителя определялась по веку смеси, поступившей в мерные ящики за промежуток времени, измерявшийся секундомером.

Мощность на привод смесителей измерялась трехфазным самопишущим ваттметром.

Определение влажности торфа, его зольности и объемного веса проводилось по общепринятой методике. При проведении исследований соблюдалась трехкратная повторность опытов.

Коэффициенты эмпирических формул определялись по методу наименьших квадратов. Отклонение экспериментальных данных от подобранных нами уравнений оценивалось коэффициентом вариации. Для оценки сходимости эмпирического и теоретического распределений концентрации минерального удобрения в пробах применен критерий Пирсона.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований по приготовлению торфо-минеральной смеси в смесителях периодического действия — двухвальной и одновальной лопастных, барабанном и экспериментальном смесителе непрерывного действия.

Испытание смесителей проводилось с целью их оценки по качеству получаемой смеси, производительности, потребляемой мощности и удельным затратам энергии.

Для проверки положений, принятых нами при выводе формулы мощности и расчета интенсивности перемешивания лопастных смесителей, на основании экспериментальных данных проведено определение постоянных  $K_1$  и  $K_2$  в формуле мощности, необходимой для перемешивания материала.

Согласно формулам (3) и (9) момент сопротивления движению лопастного вала

$$M = K_R M_1 = M_1 + K_1 M_1 \frac{1}{a_0} \omega^2 R,$$

где  $M_1$  — момент сопротивления движению вала при скорости вращения близкой к нулю. На графике  $M = f(\omega^2 R)$  момент  $M_1$  измеряется отрезком, отсекаемым прямой на оси ординат.

Как показывают данные экспериментов зависимость между сопротивлением движению лопастного вала и центростремительным ускорением близка к линейной. Коэффициенты пропорциональности  $K_1$  для испытывавшихся смесителей и смесителя асфальтобетона по данным К.П.Севрова составили: для экспериментального смесителя непрерывного действия — 0,0036; двухвального смесителя — 0,0031; одновального — 0,0042 и для смесителя асфальтобетона — 0,0038. Для расчетов можно рекомендовать среднее значение коэффициента  $K_1 = 0,0037$ .

Полученная в результате испытаний экспериментального смесителя зависимость между потребляемой смесителем мощностью и углом  $\alpha$  установки лопастей к плоскости вращения, выраженная в координатах  $N$  и  $3 \ln \alpha$ , близка к прямолинейной, что подтверждает принятое нами допущение о линейной зависимости между сопротивлением движению лопастей и величиной их проекции на плоскость, перпендикулярную направлению движения.

На основании формулы (13) нами проведено определение коэффициента  $K_2$  для смесителей периодического действия и экспериментального смесителя непрерывного действия при его различном наполнении, шаге установки лопастей и их размере. Как показали результаты обработки экспериментальных данных величина коэффициента  $K_2$  находится в пределах 5,0–6,9. Для расчетов можно взять его среднюю величину  $K_2 = 6,0$ .

Если принять, что мощность для преодоления сопротивления движению кронштейнов при оптимальном наполнении смесителя (до осей валов) составляет около 10% от мощности, необходимой для движения лопастей, и пренебречь сопротивлением торцевых кромок последних, то подставив в формулу (10) определенные нами коэффициенты  $K_1$  и  $K_2$ , получим упрощенную формулу мощности для перемешивания материала в лопастных смесителях

$$N = 1,1 (1 + 0,0037 \frac{L}{D_0} \omega^2 R) (1 + 6 \ln \alpha) \omega \tau S. \quad (13)$$

Испытание лопастных смесителей периодического действия показало, что в начальный период скорость процесса смешивания пропорциональна скорости вращения ротора. Так, для двухвального

смесителя при времени перемешивания 2 мин со скоростью вращения валов 36 об/мин коэффициент неоднородности смеси  $\psi = 25\%$ , при  $n = 78$  об/мин  $\psi = 12,4\%$ , и с увеличением скорости вращения до 172 об/мин коэффициент неоднородности смеси в течение двух минут достигает величины 5,2%. Для одновального смесителя при времени перемешивания 0,5 мин и  $n = 90$  об/мин  $\psi = 12,5\%$ ; при  $n = 152$  об/мин  $\psi = 4,7\%$ .

При длительном перемешивании однородность смеси несколько лучше в случае работы смесителей на пониженных оборотах, что можно объяснить усилением процесса разделения смеси с увеличением скорости вращения ротора. В барабанном смесителе сравнительно высокая однородность смеси ( $\psi = 5\%$ ) наступает спустя 2-3 мин, что соответствует 35+55 оборотам барабана смесителя.

Опыты по исследованию работы экспериментального смесителя непрерывного действия показали, что с увеличением скорости вращения лопастного вала растет производительность смесителя и потребляемая им мощность, но интенсивность перемешивания и однородность смеси снижаются. Особенно заметно снижение однородности смеси на расстоянии 0,5 м от места загрузки. Полученные данные подтверждают связь качества смеси с интенсивностью перемешивания. Оптимальной можно считать скорость вращения лопастного вала  $n = 150-200$  об/мин, что соответствует окружной скорости по концам лопастей 2,5 - 3,5 м/сек.

С изменением угла  $\alpha$  установки лопастей от  $15^\circ$  до  $60^\circ$  максимальная производительность получена при угле установки лопастей к плоскости вращения вала  $30^\circ$ . С увеличением этого угла качество смеси улучшается, что объясняется ее большим перемещением в радиальном направлении смесителя и увеличением интенсивности перемешивания, но при  $\alpha = 60^\circ$  заметно снижается производительность. Некоторое улучшение однородности смеси наблюдается при установке лопастей под углом  $15^\circ$ ; производительность же в этом случае резко падает. Оптимальный угол установки лопастей можно принять равным  $45-50^\circ$ .

Увеличение коэффициента наполнения смесителя сопровождается уменьшением интенсивности перемешивания и снижением однородности смеси, но при этом значительно увеличивается производительность. Рациональным можно считать коэффициент наполнения смесителя  $\varphi = 0,5-0,6$ .

Исследование влияния на процесс смешивания размера установленных лопастей проводилось при постоянной производительности и постоянной суммарной площади лопастей (соответственно размеру лопастей изменялся шаг их установки). Как следует из полученных результатов, с увеличением размера лопастей однородность смеси снижается, что объясняется уменьшением интенсивности перемешивания в связи с увеличением скорости продвижения материала в осевом направлении смесителя, о чем свидетельствует снижение коэффициента его заполнения.

С увеличением шага установки лопастей увеличивается интенсивность перемешивания и улучшается качество смеси, но, как и следовало ожидать, снижается производительность смесителя. С точки зрения получения достаточно высокой однородности смеси и производительности при данном диаметре смесителя следует считать оптимальными лопасти, размером 50-75 см<sup>2</sup>, что соответствует их установке с шагом  $H = 4D = 0,9 \pm 1,2 D$ .

Предельная однородность смеси в большинстве случаев достигается на расстоянии 1-1,5 м от места загрузки. Анализ проб, отобранных на расстоянии 2 и 2,5 м заметного улучшения качества смесителя не обнаружил. Очевидно, что увеличение длины смесителя более 1,5 м нецелесообразно.

В случае двухсторонней установки лопастей производительность смесителя и потребляемая им мощность увеличиваются приблизительно вдвое, но при этом наблюдается снижение качества смеси.

Проведенные опыты показали, что между интенсивностью перемешивания и однородностью смеси существует тесная взаимосвязь и интенсивность перемешивания наиболее полно отражает течение процесса перемешивания. Зависимость коэффициента неоднородности смеси от интенсивности перемешивания на экспериментальном смесителе непрерывного действия, полученная в результате математической обработки экспериментальных данных выражается формулой

$$\nu = \frac{7800}{(\epsilon')^3} + 0,038.$$

Аналогичный вид имеет эмпирические формулы, выражающие зависимость между  $\nu$  и  $\epsilon'$  для смесителей периодического действия:

двухвального лопастного -  $\nu = \frac{36}{(\epsilon')^{0,8}}$ , одновального -

$$V = \frac{140}{(\epsilon')^{1,4}} + 0,018 \text{ и барабанного } V = \frac{250}{(\epsilon')^{1,4}} + 0,04.$$

На основании проведенных исследований получена полуэмпирическая формула производительности экспериментального лопастного смесителя непрерывного действия

$$G = 0,78 K_{\alpha} \gamma \varphi (D^2 - d^2) b \frac{Z_n}{H} n^{1,5}, \text{ т/час} \quad (14)$$

где  $\gamma$  - объемный вес смеси, т/м<sup>3</sup>;  $K_{\alpha}$  - коэффициент, учитывающий влияние на производительность смесителя угла установки лопастей - при  $\alpha \leq 30^\circ$   $K_{\alpha} = 3 \sin \alpha$ , при  $\alpha > 30^\circ$   $K_{\alpha} = 3 \sin \alpha - 0,85(\alpha - \frac{\pi}{6})$ ;  $D$  и  $d$  - диаметр лопастного вала по внешней и внутренней кромкам лопастей, м;  $H$  и  $b$  - шаг установки лопастей и их ширина, м;  $Z_n$  - число лопастей на расстоянии одного шага;  $n$  - скорость вращения лопастного вала, об/мин.

При оптимальных параметрах, установленных нами в процессе испытания смесителя, его производительность с достаточной точностью может быть определена по формуле

$$G = 35 (D^2 - d^2) n b, \text{ м}^3/\text{час}. \quad (14a)$$

Как показали проведенные опыты на лопастных и барабанных смесителях можно получать торфоминеральные смеси высокой однородности. Удельные затраты энергии на одну тонну торфоминеральной смеси с коэффициентом неоднородности  $V = 5\%$  составили: для смесителей периодического действия двухвального и одновального лопастных и барабанного 0,67; 0,15 и 0,41 квт-ч соответственно; для экспериментального смесителя непрерывного действия 0,03 квт-ч.

Производительность смесителей по получению смеси с коэффициентом неоднородности  $V = 5\%$  составила: для периодических смесителей - двухвального (при  $n = 172$  об/мин), одновального ( $n = 150$  об/мин) и барабанного - 3,0; 1,8; и 3,6 т/час соответственно; для экспериментального смесителя непрерывного действия ( $n = 215$  об/мин,  $F = 50$  см<sup>2</sup>) - около 18 т/час, причем производительность смесителей периодического действия приведена без учета времени на загрузку смесителей и выгрузку смеси.

Для смесителей периодического действия - двухвального, одновального и барабанного - интенсивность перемешивания при до-

стижении смесью коэффициента неоднородности  $\nu = 5\%$  составила 3730, 400 и 1380 единиц соответственно и для экспериментального смесителя непрерывного действия 88.

Из приведенного сравнения, как и по сравнению удельных затрат энергии, следует, что процесс образования однородной смеси в смесителях непрерывного действия протекает значительно быстрее, чем в периодических. Последние более просты по устройству, не требуют специальных дозаторов и могут найти применение там, где приготовление удобрений ведется в небольших масштабах, причем следует отметить, что барабанные смесители могут применяться только для приготовления сухих сыпучих смесей без введения жидких добавок.

В пятой главе приведены результаты экспериментального исследования влияния на однородность торфоминеральной смеси размера частиц минеральных удобрений, соотношения перемешиваемых компонентов, влажности торфа и зависимости показателя однородности смеси от веса отбираемых проб.

Опыты проводились на лопастных смесителях периодического действия емкостью 35 и 2,5 дм<sup>3</sup>. Разделение хлористого калия на фракции осуществлялось на стандартных почвенных ситах. В табл. I приведены результаты опытов по установлению зависимости однородности смеси от фракционного состава минерального удобрения, полученные на смесителе емкостью 35 дм<sup>3</sup>. В таблице даны экспериментальные и теоретические коэффициенты неоднородности смеси, полученные при различном фракционном составе хлористого калия и времени перемешивания (концентрация в смеси хлористого калия  $\rho = 1\%$ , вес проб  $q = 50$  г).

Таблица I

Размер частиц, мм	Средний вес час-тиц $g_1$ , мг	Коэффициент неоднородности смеси: $\nu$ , % при времени перемешивания $t$ , мин					
		0,25	0,5	1	2	8	$\nu_r$ , %
0 - 0,25	-	21,2	12,5	2,1	1,5	1,0	-
0,25 - 0,5	0,15	36,0	15,2	2,5	2,3	1,5	1,7
0,5 - 1	1,1	32,5	17,0	4,2	4,0	1,7	4,6
1 - 2	3,5	38,5	25,7	1,2	6,5	2,8	8,3
2 - 3	9,0	41,3	27,0	16,4	15,9	14,0	13,4
3 - 5	19,6	36,7	25,5	22,1	20,8	21,3	20,0

Как видно из таблицы полное смешивание наступает уже через 1 мин. При этом времени перемешивания получается лучшее согласование опытных данных с теоретическими. Дальнейшее улучшение качества смеси, особенно мелких фракций, при длительном перемешивании, очевидно, происходит вследствие растворения хлористого калия во влажном торфе и дробления частиц в процессе перемешивания. Аналогичные результаты получены при перемешивании с торфом хлористого калия на смесителе емкостью 2,5 дцм<sup>3</sup>.

Опыты по установлению зависимости однородности торфоинеральной смеси от соотношения компонентов подтвердили теоретическую зависимость, согласно которой равномерность распределения компонентов улучшается с увеличением их концентрации в смеси. В табл. 2 приведены результаты опытов, проведенных на смесителе емкостью 2,5 дцм<sup>3</sup>. Размер частиц хлористого калия 2-3 мм ( $g_1 = 9,0$  мг); вес проб  $g = 25$  Г; время перемешивания  $t = 1$  мин.

Таблица 2

$\rho$ , %	0,5	1,0	2	5	10	20	50
$\nu_r$ , %	26,9	19,0	13,4	8,3	5,7	3,8	1,8
$\nu$ , %	24,4	18,0	14,3	7,9	5,1	4,3	2,2

Как показали эксперименты по перемешиванию торфа с хлористым калием заводского размола и фракцией 2 - 3 мм с увеличением веса проб коэффициент неоднородности смеси уменьшается. В табл. 3 показаны результаты опытов, проведенных с хлористым калием имевшим размер частиц 2 - 3 мм при его концентрации в смеси  $\rho = 1\%$ . Полученные результаты согласуются с теоретическими.

Таблица 3

Вес проб $g$ , Г	5	10	25	50	100	200
$\nu_r$ , %	42,4	29,8	19,0	13,5	9,6	6,7
$\nu$ , %	38,7	31,0	18,0	12,2	9,0	7,2

Исследование влияния на однородность торфоинеральной смеси влажности торфа проводилось с хлористым калием заводского размола и фосфоритной мукой. В опытах, проведенных при различном времени перемешивания и влажности торфа 30, 40, 55 и 70%, лучшая

однородность смеси получена при влажности торфа 55%. В табл.4 приведены результаты опытов по получению торфоминеральной смеси с торфом различной влажности при времени перемешивания 1 мин и концентрацией в смеси минеральных компонентов  $\rho = 1\%$ .

Таблица 4

Емкость смесителя, дцм <sup>3</sup>	Вид минерального удобрения	Коэффициент неоднородности смеси $\nu$ , % при влажности торфа $w$ , %			
		30	40	55	70
35 ( $g = 50Г$ )	Хлористый калий	6,7	5,4	3,8	5,9
	Фосмука	8,7	6,5	3,5	4,8
2,5 ( $g = 25Г$ )	Хлористый калий	8,8	3,5	2,4	2,8
	Фосмука	7,4	3,9	2,7	3,5

Снижение однородности смеси с уменьшением влажности торфа можно объяснить возникающим в смеси разделением компонентов, отличающихся по удельному весу и размеру частиц. Меньшая однородность смеси при влажности торфа 70% в сравнении с однородностью, полученной при влажности торфа 55% объясняется уменьшением подвижности смеси, о чем свидетельствует образование комков в процессе перемешивания более влажного торфа.

Полученная в результате проведенных опытов кривая распределения концентрации хлористого калия в пробах торфоминеральной смеси, согласуется с кривой, проведенной согласно распределению Пуассона.

Поскольку результаты, полученные по теоретической формуле определения коэффициента неоднородности смеси с достаточной точностью согласуются с результатами, полученными экспериментально, то настоящая формула может быть использована для определения максимального размера частиц минеральных компонентов

$$g_1 = \frac{\nu^2 \rho g}{1 - \rho} \quad (15)$$

Если принять, что вес отдельной порции должен определяться весом удобрения, приходящегося на площадь, занимаемую одним растением, то данная формула выражает зависимость степени измель-

чения компонентов, определяемую весом частиц, от коэффициента неоднородности смеси, соотношения компонентов, дозы внесения удобрения и удобряемой культуры.

#### КРАТКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. В качестве критерия равномерности распределения в торфе минеральных компонентов предлагается коэффициент неоднородности смеси, представляющий собой коэффициент вариации содержания минеральных компонентов в отдельных пробах.

2. Разработана методика ускоренного анализа проб для смеси торфа с двумя характерными видами минеральных удобрений - кристаллическим хлористым калием и фосфоритной мукой.

3. Исследование получения торфо-минеральных смесей в стандартных смесителях периодического действия показало, что смесь с коэффициентом неоднородности  $\nu = 5\%$  достигается в двухвальной лопастном смесителе при скорости вращения ротора  $n = 172$  об/мин в течение 2 мин, одновальном (при  $n = 152$  об/мин) за 0,5 мин и в барабанном через 2 - 3 мин. Эти смесители целесообразно применять в случае приготовления торфо-минеральных смесей в небольших масштабах.

4. В результате исследований установлены оптимальные параметры экспериментального лопастного смесителя непрерывного действия: скорость вращения вала  $n = 150 - 200$  об/мин (окружная скорость по концам лопастей 2,5 - 3,5 м/сек), угол установки лопастей к плоскости вращения вала  $\alpha = 45 - 50^\circ$ , коэффициент наполнения  $\varphi = 0,5 + 0,6$ , шаг установки лопастей  $H = 0,9 + 1,2D$  и их размер, длина желоба смесителя  $l + 1,5$  м.

5. Получены полуэмпирические формулы (10), (13) и (14) определения мощности, необходимой для перемешивания сыпучих материалов в лопастных смесителях, и производительности лопастного смесителя непрерывного действия.

6. Удельные затраты энергии для получения торфо-минеральной смеси составляют: для двухвального смесителя периодического действия 0,67 квт-ч на тонну смеси с коэффициентом неоднородности 5%, одновального - 0,15, барабанного - 0,41 и 0,03 квт-ч для экспериментального смесителя непрерывного действия.

7. Исследование влияния влажности торфа на однородность тор-

фоминеральной смеси при изменении влажности в пределах от 30 до 70% показало, что лучшая однородность смеси достигается при влажности торфа около 55%.

8. Согласно теоретической формуле (2) коэффициент неоднородности смеси уменьшается с уменьшением размера частиц, увеличением концентрации индикаторного компонента в смеси и увеличением веса отбираемых проб. Экспериментальные данные согласуются с полученными по настоящей формуле, что дает возможность использовать ее для определения необходимой степени дробления минеральных компонентов в зависимости от заданной степени однородности смеси, дозы внесения удобрения и удобряемой культуры.

9. Однородность смеси находится в тесной взаимосвязи с интенсивностью перемешивания, определяющейся как интенсивность деформаций по методу проф. Ф.А.Опейко, на основании которой можно объяснить ход процесса перемешивания и влияние на однородность смеси отдельных параметров смесителей, как периодического, так и непрерывного действия.

Результаты проведенных исследований положены в основу проектируемого в настоящее время в Институте торфа АН БССР опытно-промышленного образца смесителя непрерывного действия для получения торфоминеральногуминовых удобрений.

На основании данной работы определены параметры смесителя торфа с концентрированной серной кислотой торфогидролитной установки, испытание которого дало положительные результаты, что показывает возможность применения результатов настоящих исследований не только для приготовления торфоминеральных удобрений, но и в других отраслях народного хозяйства.

Основные положения диссертации доложены на XXVI научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава Белоружского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института (апрель 1970 г.) и опубликованы в следующих работах автора:

Л. Савко Ф.И. Испытание смесителей торфоминеральных удобрений. — В сб.: Использование торфа и торфяных месторождений в народном хозяйстве СССР. Тезисы докладов I<sup>й</sup> научно-технической мо-

лодежной конференции. М., 1965.

2. Савко Ф.И. Результаты испытаний смесителей торфоминеральных удобрений. - В сб.: Совершенствование сельско-хозяйственной техники, ее эксплуатации и ремонта. Минск, 1967.

3. Савко Ф.И. Методы анализа торфоминеральных удобрений при испытании смесителей. - В сб.: Комплексное использование торфа. Вып. 2, М., 1968.

4. Савко Ф.И. Влияние некоторых физических характеристик состава торфоминеральных удобрительных смесей на их однородность. - В сб.: Физико-химия торфа и торфяная механика. Минск, 1970.

АТ II233. Подписано в печать 19/IV-72г. формат 60x84<sup>I</sup>/16.

Объем 1,3 печ.л. 1,5 уч.-изд.л. Тир.200. Зак.478. Бесплатно.

БПИ. Минск, 27, Ленинский пр., 65.