

расчета потерь по конкретным этапам и операциям технологии перевозочного процесса при производстве сельскохозяйственной продукции.

Выводы

1. Разработана система показателей для оценки эффективности технологического процесса перевозок грузов.

2. С помощью этих показателей можно определить потери выходных показателей работы транспорта на различных этапах и операциях технологического процесса перевозки грузов при производстве сельскохозяйственной продукции.

3. Объемная модель позволяет наглядно визуализировать потери транспортного процесса.

УДК 631.3:628.8/9

С.А. Андреев, канд. техн. наук

Н.И. Гурецкий

И.В. Белоусова

Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

АДСОРБЦИОННАЯ СУШКА ТВЕРДОГО ВЕЩЕСТВА В ОЗОНОВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ

С проблемой сушки твердого вещества приходится сталкиваться при осушении воздуха на объектах АПК посредством взаимодействия влажного воздуха с твердым (порошкообразным) адсорбирующим веществом и последующем удалении поглощенной влаги. Обычно на этапе регенерации используют сухой воздух, прокачиваемый через слой адсорбирующего вещества при температуре 120...150 °С. При этом в качестве адсорбирующего вещества успешно применяется силикагель. Силикагель помещается в специальную емкость, которая приводится в медленное вращение, обеспечивающее непрерывность процесса за счет периодического перемещения вещества через зоны поглощения и удаления влаги. На этом принципе основано действие многочисленных промышленных осушителей, используемых в складских, производственных и жилых помещениях [1].

При всей несложности технической реализации способа приходится признавать его высокую энергоемкость. Действительно, при осушении воздуха необходимо затрачивать энергию на осуществление четырех операций: подачу осушаемого воздуха, вращение емкости с адсорбирующим веществом, нагрев воздуха в рециркуляционном плече и его подачу. При этом наибольшие затраты энергии приходятся на нагрев воздуха в рециркуляционном плече. Известно, что объем прокачиваемого

Список литературы

1. Лейдерман, С.Е. Эксплуатация грузовых автомобилей / С.Е. Лейдерман. — М.: Транспорт, 1966. — 152 с.
2. Афанасьев, Л.Л. Единая транспортная система и автомобильные перевозки: учебник для студентов вузов / Л.Л. Афанасьев, Н.Б. Островский, С.М. Цукерберг. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1984. — 334 с.
3. Майборода, М.Е. Грузовые автомобильные перевозки: учебник / М.Е. Майборода, В.В. Беднарский. — Ростов н/Д: Феникс, 2007. — 442 с.
4. Степанов, А.Е. Показатели эффективности использования автомобиля / А.Е. Степанов // Повышение эффективности и качества автотранспортного обслуживания: сб. науч. тр. — М.: МАДИ, 1989. — С. 38–42.
5. Квитко, Х.Д. Эффективность использования грузовых автомобилей / Х.Д. Квитко; под ред. А.Н. Малышева. — М.: Транспорт, 1979. — 174 с.

сухого воздуха в зоне регенерации должен составлять примерно треть от объема воздуха, подаваемого в зону осушения. Используя это соотношение, можно легко оценить энергозатраты на нагрев. Так, например, при осушении воздуха в объекте, имеющего площадь 400 м² и высоту 4 м, потребуются энергозатраты на нагрев регенерационного воздуха с начальной температурой 20 °С в следующем объеме:

$$Q = Cm(T_{\text{кон}} - T_{\text{нач}}),$$

где C — теплоемкость воздуха, $C = 1$ кДж/кг·град; m — масса воздуха, $m = 1,29 \cdot 400 \cdot 4 \cdot 0,3 = 619,2$ кг; $T_{\text{кон}}$ и $T_{\text{нач}}$ — конечная и начальная температуры воздуха в рециркуляционном плече соответственно; $T_{\text{кон}} = 150$ °С, $T_{\text{нач}} = 20$ °С.

$$Q = 1 \cdot 2064 \cdot (150 - 20) = 89\,440 \text{ кДж.}$$

С целью уменьшения энергоемкости способа необходимо заменить нагрев регенерационного воздуха на иной прием интенсификации сушки адсорбирующего вещества. При этом определенные перспективы могут быть связаны с применением озона. Уже сегодня озоновоздушная смесь успешно применяется при сушке зерна [2]. Однако зерно по своим свойствам не эквивалентно силикагелю, а кроме того, оно является объектом биологического происхождения, при сушке которого могут проявляться специфические явления [3].

Экспериментальная проверка сушки силикагеля в озонозооной среде показала наличие положительного эффекта при концентрации озона начиная с 10.15 мг/м^3 и его устойчивое повышение в интервале до 100 мг/м^3 . На сегодня еще рано говорить о радикальной замене нагрева воздуха на озонирование при сушке твердого адсорбирующего вещества. При сравнительной оценке способов необходимо принимать во внимание не только энергетические соображения, но также экономические и экологические показатели. Кроме того, следует учитывать вопросы удобства реализации способов и их влияние на безопасность персонала. Сушка силикагеля в озонозооной среде может рассматриваться как прогрессивный прием в составе процесса осушения воздуха адсорбционным методом.

Совершенствованию способа и разработке технических средств осушения воздуха по двухступенчатой схеме (воздух—силикагель—воздух) препятствует отсутствие единой теории, объясняющей механизм воздействия озона на процесс удаления влаги из твердого адсорбирующего вещества. Взгляды ученых, которые приведены ниже, являются всего лишь гипотезами, окончательное признание или отвержение которых может быть осуществлено только по результатам углубленных экспериментальных исследований. Формулируя эти гипотезы, авторы статьи допускали возможность одновременного действия нескольких перечисленных механизмов. При этом в зависимости от текущих условий доминирующее значение может перемещаться от одного из них к другому.

Первая, наиболее простая гипотеза, связана с изменением состояния воздушной среды, в которой находится осушаемый силикагель. Под влиянием озона происходит образование активных центров в газовой фазе. В этих центрах влага конденсируется, а составляющие ее молекулы объединяются в микрокапли. Эффективная концентрация воды в воздухе снижается, а влажностный напор на границе осушаемого силикагеля и воздушной среды возрастает. Под действием повышенного градиента влажности поглощение воды из силикагеля ускоряется. Таким образом, первая гипотеза объясняет косвенный механизм влияния озона на эффективность осушения силикагеля.

Вторая гипотеза обусловлена воздействием озона на энергетические свойства поверхностного слоя испаряющейся влаги. Эта гипотеза имеет, скорее, химическую природу.

Из биологии известно, что некоторые насекомые, имеющие небольшую массу, обладают способностью находиться на поверхности воды и свободно по ней перемещаться. При этом плотность тел этих насекомых остается выше плотности воды. Такой эффект объясняется поверхностным натяжени-

ем — явлением, хорошо изученным и описанным в теории физической химии. В то же время известно, что при внесении в воду какого-нибудь поверхностно активного вещества (например, мыла) поверхностное натяжение воды резко уменьшается, а находящиеся на ее поверхности насекомые начинают тонуть. При этом исходное поверхностно активное вещество может быть в жидкой, твердой или газообразной фазе. Разумеется, такое явление будет наблюдаться не только с насекомыми, но и с другими легкими предметами. Изменение величины поверхностного натяжения воды связано с изменением ее поверхностной энергии или энергии поверхностного слоя.

Учитывая это обстоятельство, можно предположить, что и озон, оказываясь в окрестности осушаемого силикагеля, играет роль такого поверхностно активного вещества. Являясь химически неустойчивым активным компонентом, озон либо вступает в химические реакции на поверхности содержащейся в силикагеле влаги, либо адсорбируется и забирает часть энергии с ее поверхности. Эта часть энергии необходима озону для перехода в более устойчивую, молекулярную форму.

Пояснить описываемое явление можно и таким образом. Известно, что вероятность преодоления молекулой воды силы поверхностного натяжения при испарении подчиняется распределению Гаусса. И в обычных условиях преодолеть энергию поверхностного слоя суждено только тем молекулам, энергия которых находится на пике или в окрестности пика этого распределения. При внесении озона в воздушную среду энергия поверхностного слоя уменьшается, а вероятность превышения собственной энергии молекул некоторого порогового значения возрастает. Преодолеть энергетический барьер теперь могут молекулы, имеющие меньшую энергию, т. е. процесс выделения влаги пойдет более интенсивно.

Использование озона по сравнению с твердыми поверхностно активными веществами более эффективно, так как газообразный озон обеспечивает гораздо большую равномерность воздействия. Кроме того, процедура получения озона на сегодня достаточно проста и не требует ощутимых энергетических затрат. Использованный в осушении озон своим присутствием, как правило, не нарушает основной технологический процесс и с течением времени разлагается. При этом никаких следов присутствия озона в осушаемой среде не остается.

Третья гипотеза основана на проявлении физического эффекта. Еще в 30-е годы XX столетия для улучшения показателей некоторых технологических процессов профессор А.Л. Чижевский предлагал ионизировать воздушную среду [4]. По общепринятой теории ионизированные молекулы воздуха способны изменять электрические свойства

поверхностей. Например, известно, что на поверхности клетки растительного или животного происхождения имеется так называемый двойной подвижный электрический слой. Этот слой образуется ионами одного знака внутри пленки и другого знака — на ее поверхности. Кроме того, электрический слой с обеих сторон клеточной мембраны может быть образован ионами одного знака, но при их различных концентрациях. Например, в физике хорошо описан процесс проникновения ионов натрия в клетку или уход из нее. Этот процесс меняет напряжение электрического слоя и приводит к запираанию диффузии через клеточную мембрану. А диффузия, в свою очередь, предотвращает либо проникновение вещества внутрь, либо его выход наружу. Таким образом, ионизация среды способна как ускорять, так и замедлять сушку. Доказательством справедливости гипотезы является зависимость интенсивности сушки от концентрации озона. Можно предположить, что при превышении концентрации озона некоторого критического значения эффект сушки будет менять свой знак, а интенсивность процесса будет уменьшаться.

Если сушке подвергнуть не силикагель, а какой-нибудь объект биологического происхождения, например, зерно, то описываемый механизм дополнится некоторыми особенностями. При сушке зерна часть влаги выделяется из капилляров зерна, а часть — с поверхности клеток. Надо полагать, что на поверхности зерна доля клеточных мембран будет гораздо больше доли межклеточных каналов. Поэтому диффузия воды через стенки будет играть более существенную роль, чем ее движение через капилляры.

Силикагель представляет собой коллоидную силикатную структуру, которая поглощает воду за счет многочисленных и довольно разветвленных пор. Своеобразие структуры силикагеля определяет большую вероятность именно физической гипотезы сушки. Дело в том, что силикагель — это твердый коллоидный раствор поликремниевых кислот, степени окисления кремния и водорода в которых максимальна, а вероятность окисления озоном кислорода в степени окисления — невелика. Также невелика вероятность химических процессов, происходящих за счет примесей или инородных элементов. Однако в классическом силикагеле доля таких примесей очень мала. Поэтому эффекты запираания или ускорения движения заряженных молекул, проявляющиеся в замедлении или ускорении сушки, можно рассматривать как следствие явлений физической природы.

Четвертая гипотеза, расширяющая область применения рассмотренных закономерностей, заключается в непосредственном использовании ионизации для осушения среды. Главный привлекающий фактор такого подхода заключен в ис-

ключительной дешевизне реализации тлеющего разряда. В то же время применение любых поглощающих фильтров (физических или химических) требует ощутимых затрат на их регенерацию.

Под воздействием тлеющего разряда в воздушной среде создаются центры конденсации воды, а далее процесс может идти по нескольким направлениям. Во-первых, сосредоточенная в этих центрах влага может сама по себе оседать в виде капель. Тогда на первый план выступает инженерная задача по удалению этих капель из зоны осушения. Технически это можно реализовать с помощью циркуляционного насоса или вентилятора. Во-вторых, ионизация воздуха, достигнутая в результате тлеющего разряда, может приводить к конденсации противоположного характера. Ведь электрический разряд ускоряет разделение физических фаз. Это происходит за счет появления небольшой избыточной энергии. В этом случае стабильность в системе повышается, так как разделение фаз по механизму является не чем иным, как переходом в энергетически более выгодное состояние. Например, частицы, взвешенные в жидкости, обладают большей потенциальной энергией, чем осевшие частицы. Это объясняется тем, что при оседании частицы теряют часть потенциальной энергии. Кроме того, дополнительное уменьшение потенциальной энергии дает конденсация воды. Вода, которая находится в газообразном состоянии, в воздухе, обладает заметно большей энергией, чем та же вода в виде капель. При охлаждении газа получают жидкость, при дальнейшем охлаждении жидкость превращается в твердое вещество. Это происходит в соответствии с принципом наименьшей энергии, а в соответствии с этим принципом вещество переходит в состояние с меньшей потенциальной энергией. Если формируют какой-то физический или химический толчок (в том числе и с помощью электрического разряда), то разделение фаз ускоряется. Фактически сушка и сводится к тому, что вода из воздуха выделяется в виде жидкости и суммарная энергия этой системы снижается. Таким образом, становится очевидным, что в присутствии внешнего толчка процесс сушки активизируется.

С целью проверки гипотез, по мнению авторов статьи, необходимы следующие эксперименты.

Во-первых, желателен выяснить, будет ли иметь место угнетающий характер озона при значительном повышении его концентрации (более 100 мг/м^3). Если такая зависимость проявится, то с большой вероятностью можно утверждать, что исследуемое явление носит электрофизический характер. Это связано с изменением полярностей взаимодействующих сред.

Во-вторых, необходимо изучить зависимость эффективности сушки от температуры озонородной смеси в рециркуляционном плече. Впол-

не возможно, что экономическая эффективность сушки окажется максимальной при нагреве смеси до небольшой температуры. В таком случае техническое средство, реализующее способ, будет сочетать в себе некоторую комбинацию двух интенсифицирующих приемов.

В-третьих, большой интерес представляет возможная зависимость эффективности сушки от расхода озонородушной смеси. С одной стороны, мы можем утверждать, что с ростом этого расхода интенсивность сушки увеличится, как это происходит при традиционном подходе. С другой стороны, увеличивая расход озонородушной смеси (как и увеличивая ее температуру), создают условия для ускоренного самораспада озона. Последнее приведет к уменьшению концентрации озона и замедлению сушки адсорбирующего вещества.

В-четвертых, принимая во внимание явление самораспада (разложения) озона, необходимо выяснить, насколько оно окажется значимым и каковы должна быть производительность озонатора для обеспечения требуемой концентрации в зоне сушки адсорбирующего вещества. Можно ожидать, что при различных количествах этого вещества производительность озонатора будет различной. Однако важно знать общий характер зависимости, позволяющей рассчитать параметры установки для наиболее качественной сушки при минимальных затратах энергии на озонирование среды.

В-пятых, несмотря на результаты теоретических расчетов, необходимо экспериментально оценить величину энергетических затрат на сушку адсорбирующего вещества и сравнить ее с энергозатратами при традиционной сушке нагретым воздухом.

УДК 635.21:631.51

В.И. Старовойтов, доктор техн. наук

О.А. Старовойтова, канд. с.-х. наук

Х.Н. Насибов

Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства Россельхозакадемии

ВЛИЯНИЕ ПРЕПОСАДОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НА УРОЖАЙНОСТЬ КАРТОФЕЛЯ

Исследования последних лет показывают, что с учетом изменяющегося климата наибольший экономический эффект могут дать ранние посадки картофеля. Последние дают возможность более эффективно использовать весеннюю влагу, развитие растений и уборка проходят в более благоприятных условиях. Но сдерживающим фактором ранних посадок часто является предпосадочная подготовка почвы, на выполнение которой требуется опре-

На основании рассуждений можно сделать следующие выводы:

1. Сушка твердого адсорбирующего вещества в стадии регенерации может осуществляться без нагрева (или при незначительном нагреве), если вместо обычного воздуха использовать озонородушную смесь. Указанные изменения технологии приведут к упрощению и удешевлению процесса вследствие исключения энергоемкой операции нагрева воздуха.

2. Для объяснения механизма интенсификации сушки в озонированной среде можно применить химический, физический или электрофизический подход. Однозначный ответ о природе явления можно получить в результате экспериментальных исследований по перечисленным направлениям.

3. Накопленный к настоящему времени материал позволяет сделать вывод о возможности использования описываемого явления в системах искусственного осушения воздуха с применением адсорбционного эффекта.

Список литературы

1. Андреев, С.А. Энергосберегающее управление влажностью воздуха на объектах АПК / С.А. Андреев, Ю.А. Судник, И.В. Белоусова. // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. — 2010. — № 2(41). — С. 7–12.

2. Беляев, П.С. АСУ влажностно-тепловыми параметрами / П.С. Беляев, И.Ф. Бородин, Б.И. Герасимов. — М.: Росагропромиздат, 1988. — 224 с.

3. Троцкая, Т. П. Электроактивирование процессов сушки растительных материалов: автореф. дис. ... доктора техн. наук: 05.20.02 / Т. П. Троцкая. — М., 1998. — 32 с.

4. Чижевский, А.Л. Руководство по применению ионизированного воздуха в промышленности, сельском хозяйстве и в медицине / А.Л. Чижевский. — М.: Госпланиздат, 1959. — 56 с.

деленное время. Из-за позднего схода снега и весенних дождей упускаются сроки ранних посадок. И посадки картофеля часто заканчиваются в начале июня. Это приводит к более поздним срокам уборки и возможным потерям урожая и качества клубней картофеля из-за дождей. Правда, более ранние посадки таят опасность попадания всходов под летние заморозки. Однако новые технологии ухода и культиваторы позволяют присыпать на этот пери-