

# ОЦЕНКА ПЫЛЕОБРАЗУЮЩИХ СВОЙСТВ ЗЕРНОВОЙ МАССЫ

Марков Ю.Ф., канд. техн. наук; Палладиев А.А., ст. науч. сотр.;  
Ересько Л.Г., ст. науч. сотр.

Кубанский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки», г. Краснодар

**Аннотация.** Обоснована актуальность разработки инструментария для оценки пылеобразующих свойств зерновой массы и рассмотрены технические аспекты создания соответствующего испытательного стенда. Описан принцип работы испытательного стенда, представлены результаты его исследовательских испытаний.

Зерновая пыль является одним из наиболее существенных факторов, влияющих на взрыво- пожароопасность зерновых элеваторов и терминалов.

Для изучения в лабораторных условиях исходных пылеобразующих свойств проб зерновой массы и выявления влияния на эти свойства различных физико-химических методов связывания зерновой пыли разработан специальный испытательный стенд.

Конструкция испытательного стенда предусматривает продолжительное принудительное пересыпание исследуемой пробы зерновой массы с включенной в нее пылью, в результате чего происходит переход зерновой пыли во взвешенное состояние и витание этой пыли в воздухе, заполняющем внутренний объем пересыпающей камеры. Камера оснащена специально разработанными средствами оценивания количества витающей в ней пыли, которые позволяют проводить измерения и регистрацию в условных единицах текущей запыленности контрольного участка воздушной среды. Необходимость разработки указанных специальных средств контроля вызвана тем, что применение стандартных методов оценки концентрации пыли в воздухе пересыпающей камеры представляется невозможным ввиду незначительности массы исследуемой зерновой пробы и объема контрольной камеры относительно небольшого количества зерновой пыли, выделяющейся из этой ограниченной пробы зерна.

Кроме этого, стандартный метод, предусматривающий длительное просасывание исследуемого воздуха через пылевой фильтр с последующим повторным взвешиванием фильтра, позволяет получать только интегральные оценки и не позволяет исследовать динамические характеристики пылевыведения, в то время как характер движения взвешенных пылевых частиц в контрольной зоне пересыпающей камеры лабораторного стенда имеет существенную нестационарность.

Разработанный нами для решения задачи комплект измерительных средств обеспечивает двух-параметровый контроль показателя, характеризующего концентрацию пыли в воздухе контрольного участка пересыпающей камеры. В качестве этих двух параметров приняты следующие:

– количество пыли в воздухе, измеряемое посредством датчика пыли

GP2Y1010AUOF. Принцип действия датчика состоит в измерении интенсивности рассеивания инфракрасного светодиодного излучения на частичках пыли, попадающих в контрольный проходной канал датчика - выходной сигнал датчика импульсно-аналоговый;

- лазерный визуализатор пыли, в котором осуществляется визуальное отображение светового шнура, образованного рассеиванием на частичках пыли сфокусированного когерентного монохроматического луча твердотельного лазера, просвечивающего контрольный участок, через который выдувается витающая в камере пыль.

Оба названных показателя основаны на схожих оптических эффектах рассеивания светового потока, однако, у каждого из них имеются определенные особенности.

Так, в датчике пыли измерение осуществляется в закрытом для наблюдения оптическом канале, встроенном в датчик, а сам датчик разработан изготовителем именно для измерения концентрации пыли в воздухе и имеет настраиваемую калибровку по этой концентрации. Выходной сигнал указанного датчика характеризует концентрацию пыли в воздухе непосредственно в зоне расположения контрольного отверстия проходного канала датчика.

Лазерный визуализатор пыли, в отличие от описанного датчика, имеет открытую для наблюдения оптическую зону, причем в длину эта зона перекрывает значительное пространство контрольного участка пересыпающей камеры и сама оценка такой запыленности осуществляется с высоким пространственно координатным разрешением. Непосредственно визуализация светового шнура и его видео-регистрация осуществляется посредством цифровой видеокамеры с подсистемой регистрации. Такая система лазерной визуализации плотности пыли в воздухе обеспечивает высокую наглядность и может быть, при необходимости, дополнена видеографической обработкой и компьютерной тарировкой.

Таким образом, результаты цифровых измерений, выраженные в условных единицах, можно сопоставлять с визуально наблюдаемыми и синхронно регистрируемыми процессами витания подсвеченной лазером пыли.

Причем, в отличие от датчика пыли, дающего показания для ограниченной зоны оптического канала, лазерно-оптическая система позволяет наблюдать в динамике распределение концентрации пыли по пространственной координате. Т.е. цифровые показания датчика пыли могут быть сопоставлены с визуальной картинкой на экране монитора.

Для более полного представления принципа работы датчика пыли GP2Y1010AUOF ниже приведены некоторые данные из его технической документации [2].

Блок схема указанного датчика с чувствительным элементом в виде скрещенного под углом 60 градусов открытого оптического канала со встречно размещенными ИК излучателем-приемником, представлена на рис.1. На рис. 2, 3 представлены: временная диаграмма управления каналом засветки контрольного промежутка воздушной среды в измерительном канале и диаграмма обработки импульсного сигнала засветки, рассеиваемого на частичках пыли.

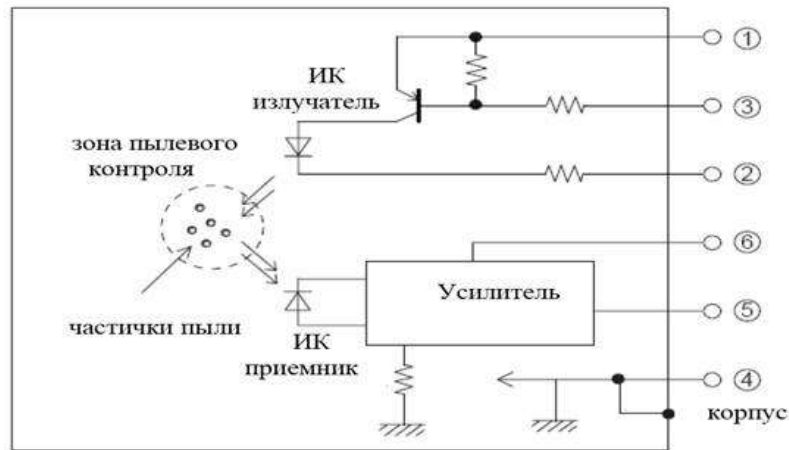


Рис. 1. Блок схема датчика концентрации пыли

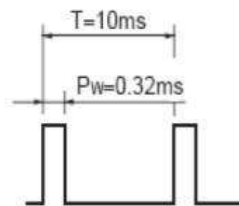


Рис.2. Диаграмма управления каналом засветки

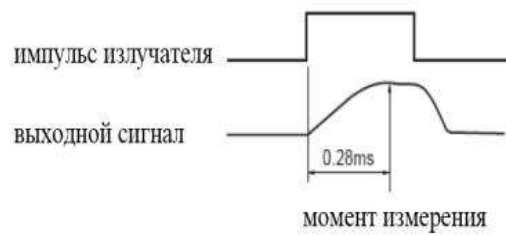


Рис.3. Временная диаграмма обработки импульсного выходного сигнала

На рис. 4 представлена нормированная передаточная характеристика: амплитуда импульсного выходного сигнала датчика - концентрация пыли в воздушном контрольном промежутке датчика.

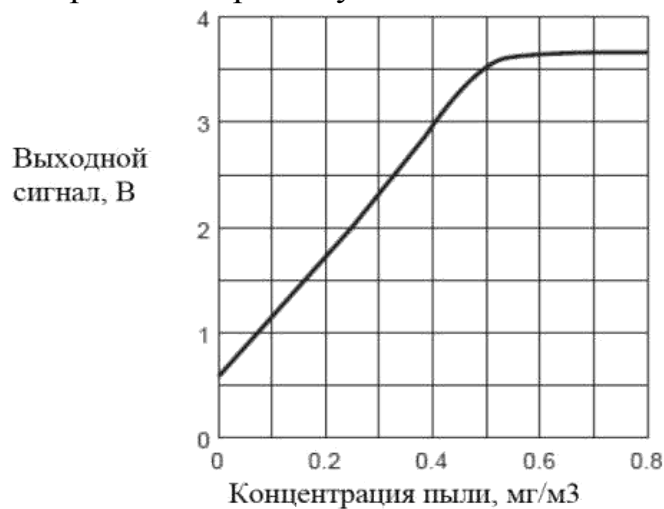


Рис.4. Типовая выходная характеристика датчика

На рис. 5, 6 приведены геометрические размеры (в миллиметрах) и внешний вид датчика.

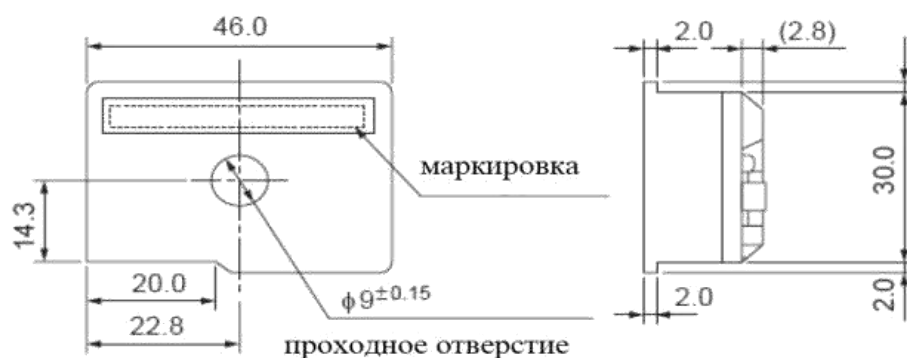


Рис.5. Геометрические размеры датчика



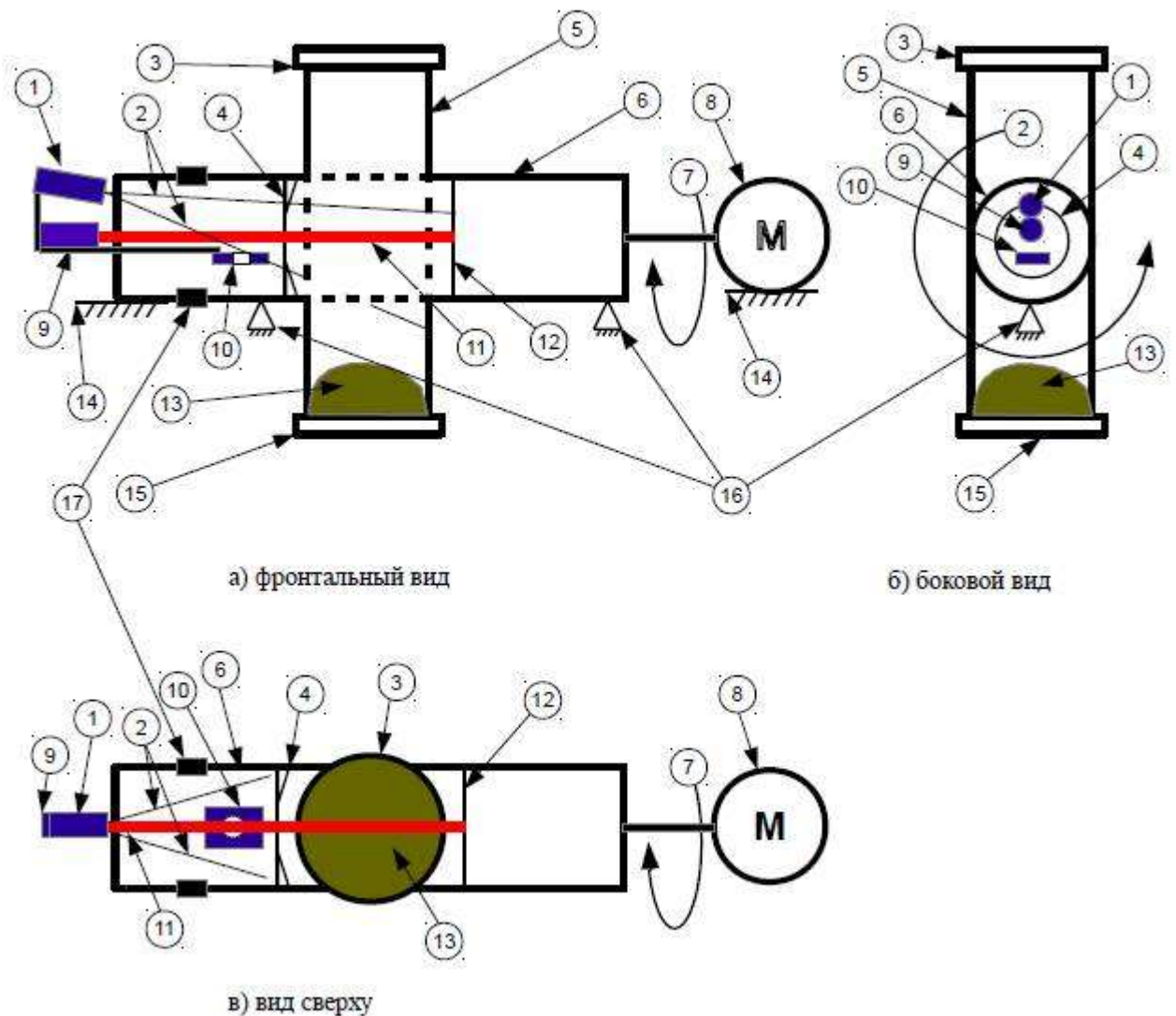
Рис. 6. Внешний вид датчика

Сам описанный датчик является только первичным преобразователем концентрации пыли в воздухе. Для обеспечения возможности его использования в измерительной системе изготовлен вторичный прибор, в котором реализовано формирование регламентированных документацией датчика сигналов, подаваемых на вход формирователя импульсов засветки датчика, а также измерение амплитуды импульсов, генерируемых фотодиодом в соответствии с вышеприведенной диаграммой. Также, задачей вторичного прибора является индикация измеренных значений, их цифровая обработка и передача по протоколу ModBus в систему регистрации.

Указанный вторичный прибор реализован на базе программируемого микроконтроллера Atmega8 и двухстрочного жидкокристаллического индикатора Winstar1602.

Датчик описанного измерителя концентрации пыли размещен на участке свободного витания пыли, выделяющейся в воздух в результате пересыпания пробы зерна.

Схема испытательного лабораторного стенда приведена на рис. 7.



- 3 — верхняя крышка реакторной камеры;
- 4 — ограничительная диафрагма;
- 5 — реакторная камера (вращение вокруг поперечной оси);
- 6 — несущий корпус (вращение вокруг продольной оси);
- 7 — направление вращения;
- 8 — привод вращения;
- 9 — твердотельный лазерный излучатель;
- 10 — датчик пыли;
- 11 — сфокусированный луч лазера;
- 12 — ограничительная перегородка — экран;
- 13 — зерновая проба;
- 14 — неподвижная опора;
- 15 — нижняя крышка реакторной камеры;
- 16 — опора скольжения;
- 17 — муфта скольжения.

Рис.7. Схема испытательного лабораторного стенда

Пересыпающая камера 5, в которой размещается исследуемая проба зерна, выполнена в виде вертикального отрезка трубы диаметром 100мм. В верхней и нижней части камеры 5 имеются крышки 3 и 15, через одну из которых в камеру загружается (и выгружается) зерновая проба. Пересыпающая камера 5 имеет крестообразное сочленение с горизонтальным участком трубы того же диаметра, выполняющим функцию несущего корпуса 6, установленного на опорах скольжения 16 и вращающегося вокруг продольной оси посредством электропривода 8. Сам электропривод закреплен на неподвижном основании 14. На этом же неподвижном основании 14 закреплен противоположный торец корпуса 6, соединяющийся с вращающейся частью корпуса через кольцевую муфту скольжения 17. Для предотвращения выхода зерна за пределы вертикального отрезка трубы (камеры) 5 при его поперечном вращении - в зоне сопряжения корпуса 6 с камерой 5 установлены ограничительные диафрагмы.

Датчик пыли 10 закреплен на кронштейне и расположен в зоне выхода пыли из камеры 5. Проходной измерительный канал датчика пыли имеет вертикальную ориентацию для свободного прохождения через него витающей пыли.

Твердотельный лазерный излучатель 9 и цифровая видеокамера 1 закреплены на неподвижном торце корпуса. Лазерный луч 11 пронизывает все горизонтальное пространство корпуса, проходя и через пересыпающую камеру и формируя световую точку на ограничительной перегородке - экране. Сектор обзора видеокамеры 2 охватывает всю зону подсветки лазерного луча.

При включенном состоянии электропривода 8 корпус 6 совершает вращение вокруг своей продольной оси. При этом пересыпающая камера 5 осуществляет вращение вокруг своей поперечной оси. Зерновая проба 13, находящаяся в камере 5 совершает при этом периодические возвратно-поступательные движения, перманентно пересыпаясь от одного торца поперечно вращающейся камеры до противоположного ее торца. В процессе такого пересыпания из зерновой пробы во внутреннее пространство (5, 6) выделяется находящаяся в зерновой пробе пыль. Эта витающая в воздухе рабочего пространства (5,6) пыль проходит через ограничительную диафрагму 4 и попадает в контрольный проходной канал датчика пыли, который и измеряет концентрацию пыли в воздухе. Параллельно, видеокамерой 1 осуществляется регистрация изображения участка пространства (5, 6), через которое проходит лазерный луч 11.

Пылинки, витающие в воздухе, подсвечиваются лазерным лучом, что позволяет наблюдать плотность расположения частичек пыли в подсвеченном лазером световом шнуре и характер движения этих частичек. Самофокусирующийся, за счет своей когерентности и монохроматичности, лазерный луч дает четкую визуализацию распределения плотности пыли по всей длине пространственной координаты сектора обзора видеокамеры.

Методика проведения экспериментов на описанном лабораторном стенде состоит в следующем. В пересыпающую камеру загружают пробу зерна. Осуществляют запуск привода и ведут регистрацию показаний датчика пыли и видеорегистрацию лазерного визуализатора пыли. Вращение камеры

осуществляют до достижения стационарных значений измеряемых показателей.

Далее, в зерновую пробу распылителем вводят пылеподавляющий реагент, сопровождая это вращением камеры и пересыпанием зерна, в результате чего достигается равномерная обработка пылеподавляющим реагентом всей зерновой пробы. После этого проводят измерения запыленности воздуха в контрольном промежутке. Эксперименты проводят в нескольких повторностях для проверки воспроизводимости. В качестве дозатора и распылителя масла использован лабораторный распылитель компрессионного типа.

В качестве системы сбора и регистрации данных на компьютере применена SCADA система “MasterScada” производства фирмы “Insat”. При этом во вторичном электронном блоке датчика пыли реализован протокол обмена данных в формате ModBus с передачей данных по линии последовательного интерфейса RS-485. Передача данных осуществлялась через OPC сервер “LectusOPC”.

Для увеличения информативности получаемых данных показания датчика пыли выведены в виде двух значений: усредняемого на интервале времени в 500мс выходного сигнала датчика и максимального значения сигнала датчика на этом же интервале времени. Такой подход позволяет оценивать как текущее сглаженное значение показателя запыленности среды, так и разброс значений этого сигнала, что косвенно позволяет делать вывод о размере единичных частичек пыли, проходящих через контрольное проходное отверстие датчика. При этом каждый из совмещенных графиков этих показаний может быть включен или отключен при последующем анализе данных. Система видеорегистрации использует USB камеру VideoCam и программу VLC MediaPlayer.

С использованием описанного испытательного стенда нами проведены серии экспериментов с зерновыми пробами и пылеподавляющими реагентами. Подробные результаты, полученные в этих экспериментах, предполагается опубликовать в отдельной статье.

Разработанный стенд может быть использован также и для других целей, связанных с исследованиями выделения пыли из сыпучих материалов. Желающим воспользоваться нашей разработкой — предлагаем сотрудничество.

Для иллюстрации возможностей разработанного испытательного стенда - на рис. 8-11 попарно приведены изображения полученных результатов для пробы зерна с естественной запыленностью и для такой же пробы, обработанной пылеподавляющим реагентом.

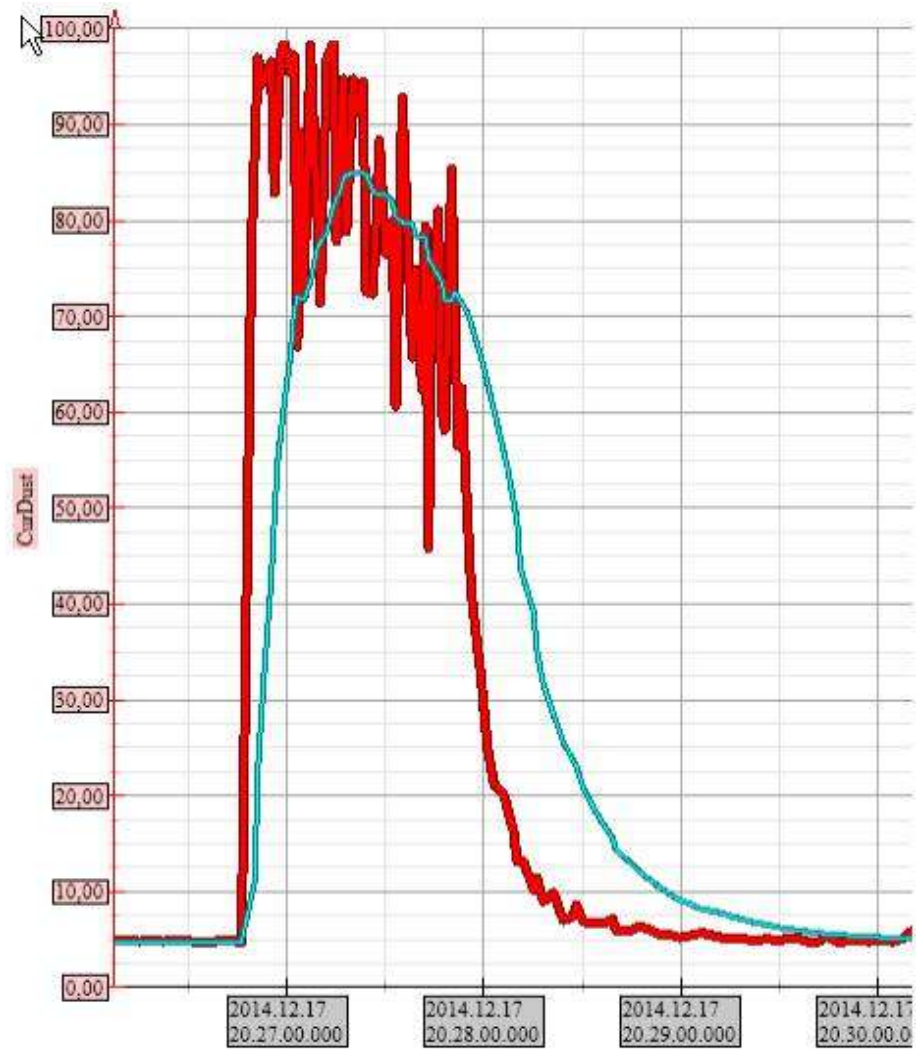


Рис. 8. Графики изменения концентрации пыли и ее сглаженных значений при естественной запыленности зерновой пробы

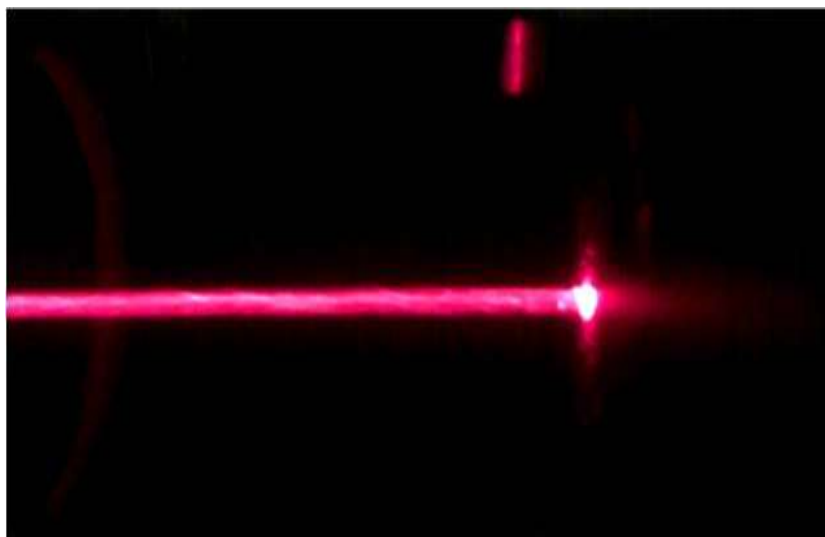


Рис. 9. Кадр выхода пыли из камеры – естественная запыленность пробы



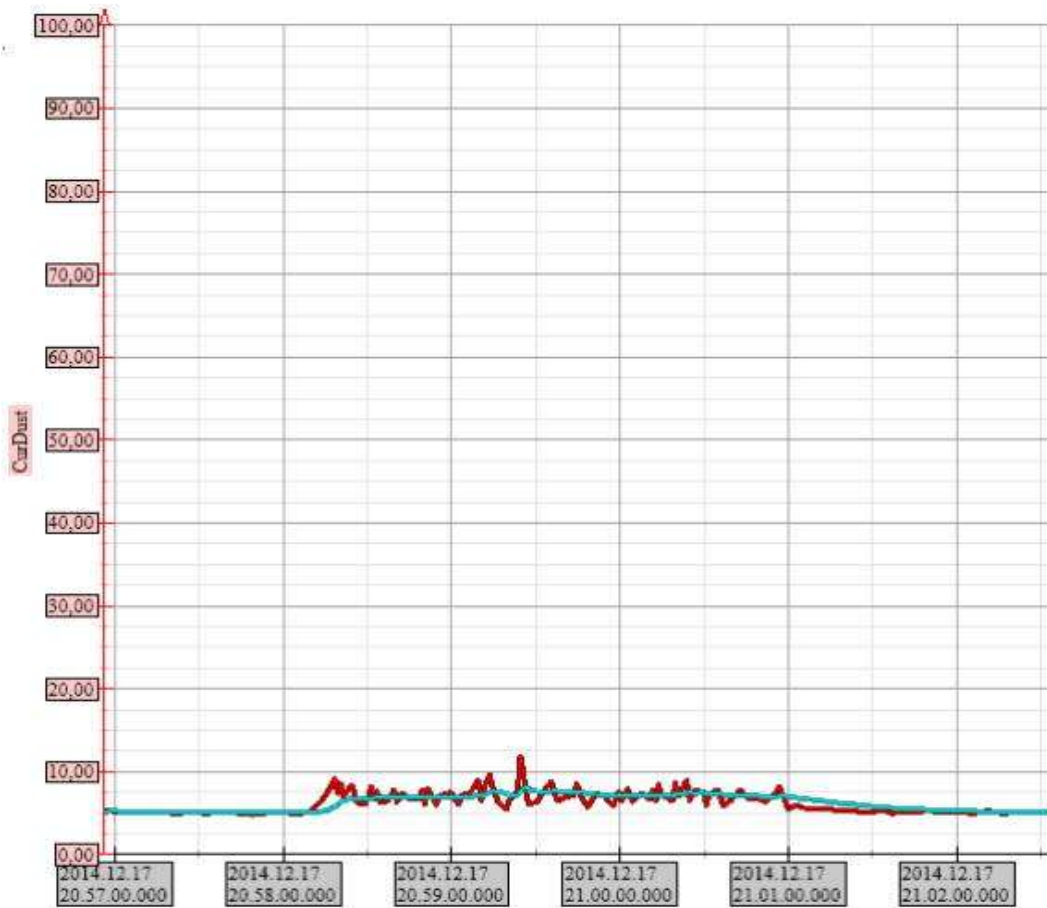


Рис. 10. Графики изменения концентрации пыли и ее сглаженных значений при естественной запыленности зерновой пробы и обработки пылеподавляющим реагентом

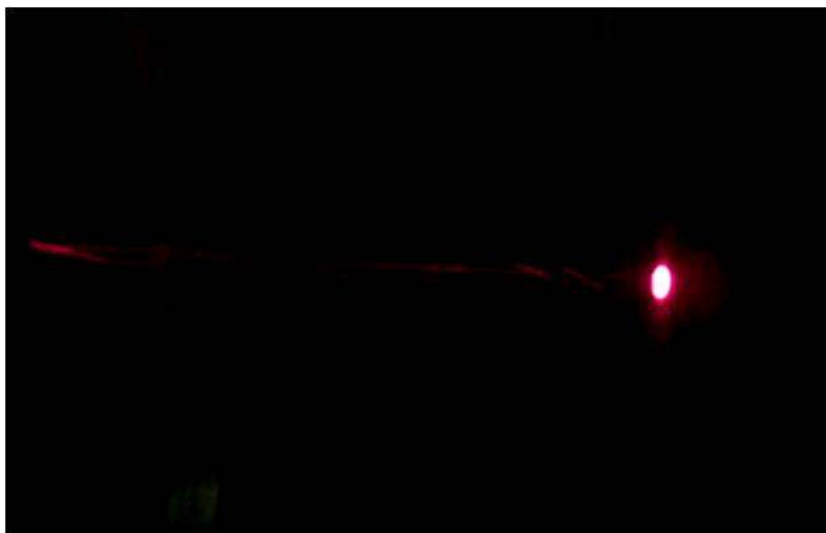


Рис. 11. Кадр выхода пыли из камеры - естественная запыленность пробы с обработкой реагентом