

## ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ПЫЛЕОТДЕЛИТЕЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ ЦИКЛОННЫХ ГАЗООЧИСТИТЕЛЕЙ

**Н. Я. КУДРЯШОВ**

Кандидат технических наук

(Архангельский лесотехнический институт)

Циклонные газоочистители (циклон), благодаря ряду положительных особенностей, широко используются в настоящее время для очистки газа и воздуха. Особенно заметны их преимущества перед другими типами газоочистителей при использовании на лесотранспортных машинах, где наряду с основными требованиями, предъявляемыми к очистителям, выдвигаются требования компактности, удобства в эксплуатации и обслуживании, а главное — надежности в работе при любых дорожных условиях и любых режимах работы двигателя.

По принципу работы циклоны являются газоочистителями инерционного типа, использующими для выделения пылевых частиц из газа центробежную силу инерции, возникающую при вращении газового потока в рабочей части циклона.

Засоренный пылевыми частицами газ, поступая в циклон по тангенциально присоединенному патрубку 1 (рис. 1), приобретает вращательное движение и перемещается по нисходящей спирали к вершине конуса 3. Под действием центробежных сил инерции пылевые частицы перемещаются в радиальном направлении и сосредоточиваются в периферийных слоях у внешней стенки цилиндра 2. Когда газ, в процессе нисходящего винтового движения, дойдет до нижнего края отводящего патрубка 5, внутренние, наиболее чистые слои его, продолжая вращение, начинают поступать в отводящий патрубок 4. Далее происходит изменение движения газа на восходящее винтовое, причем направление вращения сохраняется.

Пылевые частицы, отжатые центробежной силой к стенке циклона, перемещаются внешними слоями газа к вершине конуса и, скользя вдоль его стенок, сваливаются в пылесборник 5. Таким образом, в циклоне происходит не только выделение пылевых частиц, но и транспортировка их внешними слоями газа вплоть до пылесборочного бункера.

Сказанное подтверждается экспериментальными данными, свидетельствующими о возможности работы циклона практически при любом положении его в пространстве (6). Отметим, что перемещение выделенных частиц в пылесборник иногда неправильно объясняется действием

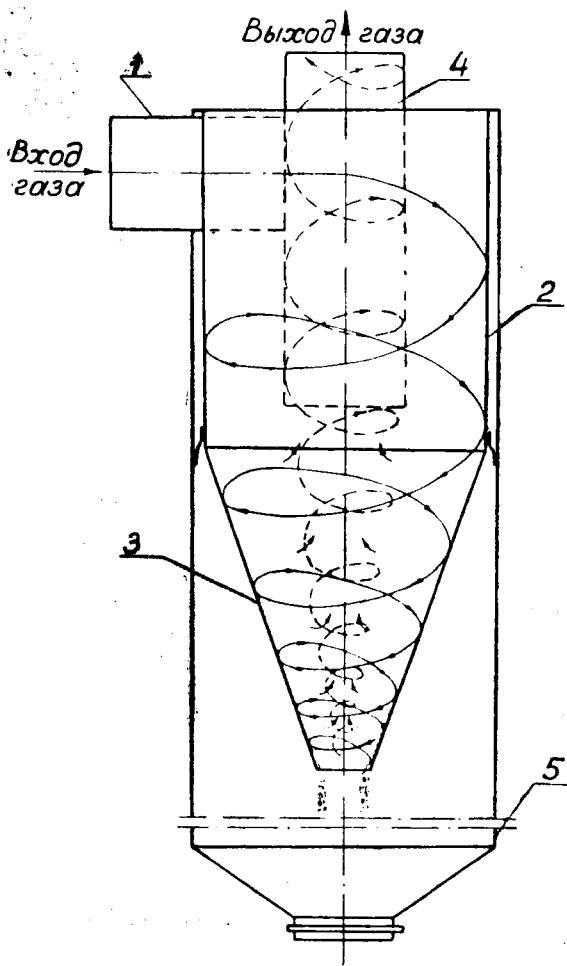


Рис. 1. Схема движения газа в циклоне.

силы тяжести, в то время как роль последней в этом случае незначительна.

Наряду с изложенным общим принципом работы циклона следует учитывать, что сам по себе процесс сепарации пылевых частиц в циклоне весьма сложен, что прежде всего объясняется очень сложным характером движения газового потока в цилиндрической части и особенно — в конусе циклона, которое сопровождается рядом явлений, влияющих на ход пылеотделительного процесса. Наиболее характерным из этих явлений следует считать наличие в центральной части конуса и отводящего патрубка зоны отрицательного давления, а в циклонах, работающих на всасывание, зоны повышенного разрежения. Последнее подтверждается не только данными исследований, но и практикой эксплуатации циклонов [1], [5].

Анализируя результаты исследований П. Н. Смухина и П. А. Коузова [2], [5], можно сделать некоторые предположения о причинах возникновения указанной зоны. Так, согласно данным исследований, в конусе цикло-

на наблюдается увеличение касательных скоростей движения газа с одновременным изменением характера вращения, начинающего больше соответствовать закону динамического вращения. Следовательно, и характер распределения давлений должен соответствовать указанному изменению движения, то есть наряду с уменьшением среднего давления по всему сечению оно должно также уменьшаться по направлению к центру. Уменьшение избыточного давления в границах, определяемых радиусом, при котором все избыточное давление расходуется на сообщение газу кинетической энергии вращения. Это предельное значение радиуса в гидродинамике обычно называется ядром вихря.

Таким образом, на границе ядра вихря и по всему сечению ядра установится пониженное давление.

Кроме того, как и отмечалось ранее, в конусе циклона происходит одновременно и изменение направления поступательного движения газа с нисходящего на восходящее с сохранением направления вращения. Это изменение может происходить только при условии образования истекающего кольца газа в месте поворота данного слоя, так как угол на-

клона витка в этом сечении равен нулю. Образование истекающих колец газа происходит по всей высоте конуса, то есть в течение всего процесса изменения направления движения газа.

В результате эжекционного воздействия истекающих колец газа образуется разрежение в кольцевой области по границе ядра вихря, то есть не по оси циклона, а непосредственно около оси циклона.

Наличие зоны разрежения, при отсутствии тщательного уплотнения пылесборника, вызывает подсос воздуха через пылесборник и унос пыли в отводящий патрубок, что нарушает нормальную работу циклона и в конечном счете может привести к снижению эффекта очистки газа до нуля.

Однако указанное отрицательное влияние зоны разрежения на работу циклона не является существенным, так как оно легко устраняется путем герметизации пылесборника. Более того, у циклонов, работающих на всасывание, при недостаточном уплотнении пылесборника унос пыли происходил бы и без наличия зоны повышенного разрежения.

Более существенное влияние эта зона оказывает на интенсивность другого, не менее характерного явления, заключающегося в том, что, благодаря большой турбулентности потока, пылевые частицы отбрасываются поперечными вихревыми токами к центру, где, попадая в слои уходящего газа, уносятся в отводящий патрубок, то есть происходит как бы повторное витание частиц.

При разработке новых, более эффективных конструкций циклонов необходимо не только обеспечить соответствующие условия для максимального выделения пылевых частиц из газа, но и исключить возможность их повторного попадания в уходящие очищенные слои газа.

В результате значительного числа экспериментальных работ, проведенных в процессе исследований циклонных очистителей, был создан ряд конструкций циклонов с достаточно удачным соотношением основных элементов, которые обеспечивают довольно высокую степень очистки газа (до 95%) при относительно небольшом гидравлическом сопротивлении (80—100 мм вод. ст.). К числу таких газоочистителей относится циклон типа НИОГАЗ-НАМИ, разработанный в лаборатории очистки газа и воздуха Научно-исследовательского автомобильного и автомоторного института (НАМИ) под руководством кандидата технических наук М. С. Коренева. Этот тип циклона используется на газогенераторных установках лесотранспортных машин, для предварительной (полутонкой) очистки газа, а также предполагается применение его в качестве первичного воздухоочистителя на машинах, предназначенных для работы в особо пыльных условиях [3].

Вместе с тем, исследование этих циклонов проводилось явно недостаточно и ограничивалось только определением общей степени очистки газа. Это и послужило причиной постановки специальных расширенных исследований циклона типа НИОГАЗ-НАМИ на кафедре тяговых машин Архангельского лесотехнического института.

Результаты исследований позволили дать более полную оценку пылеотделительных способностей циклона во всем интервале производительности, соответствующем диапазону эксплуатационных нагрузок двигателя, а также разработать метод расчетного определения как качественных, так и количественных показателей эффективности пылеотделительного процесса циклонных очистителей [4].

Однако в производственных условиях на пылеотделительный процесс циклона может оказывать влияние ряд факторов, возникающих в результате специфики условий эксплуатации газоочистителей на лесо-

транспортных машинах. К числу их прежде всего относятся вибрация стенок циклона, пульсирующий характер движения газового потока, обуславливаемый рабочим процессом двигателя внутреннего сгорания, а также резкое изменение скорости потока газа, происходящее в момент увеличения или уменьшения режима работы двигателя.

Чтобы выявить характер влияния перечисленных факторов на работу цикла, была проделана серия опытов, причем стенд, на котором проводились основные исследования, пришлось дополнить соответствующим оборудованием.

Так, для создания вибрации на опорной плите стойки крепления циклона устанавливался неуравновешенный маховичок с приводом от электромотора. Пульсирующий характер движения потока обеспечивался за счет того, что в соединительной трубе монтировалась вентиляторная заслонка с приводом от эксцентрика, устанавливаемого на валике редуктора приводного устройства запыливающей системы.

В условиях вибрации и пульсирующем потоке было проведено отдельно по три цикла в режимах 120, 100 и 80  $\text{м}^3/\text{час}$ . Постановка этих опытов обосновывалась предположением о возможном увеличении интенсивности появления явления повторного витания пылевых частиц в результате импульсивных толчков внешних стенок циклона при вибрации и увеличения турбулентности при пульсирующем характере движения потока.

Однако после обработки данных испытаний выяснилось, что указанные предположения не подтвердились, так как было установлено, что ни вибрация, ни пульсирующий характер движения газа практически не оказывают влияния на пылеотделительные свойства циклона. Правда, при вибрации циклона наблюдается некоторое снижение степени очистки, но абсолютная величина этого снижения не превышала 1—1,5%.

Следующая серия опытов проводилась с целью определения степени очистки газа, обеспечиваемой циклоном в момент увеличения или уменьшения производительности, то есть в момент изменения нагрузки на двигатель, что обусловлено спецификой дорожных условий в лесу.

Для проведения этих опытов необходимо было не только имитировать реальный характер изменения режима, происходящего в момент включения акселератора, но и обеспечить запыление воздуха, поступающего к циклону, только в момент изменения режима. Чтобы обеспечить такое сочетание, применялся специально оборудованный редуктор, на котором, кроме эксцентрика с тягой к заслонке, также эксцентрично устанавливался тяговый барабанчик для привода тележки запыливающего устройства. Это позволило синхронизовать накат тележки с пылью под всасывающую трубку запыливающего вентилятора с моментами открытия или закрытия заслонки. Одновременно, посредством изменения оборотов приводного электромотора, период, в течение которого производилось развитие режима с 30 до 120  $\text{м}^3/\text{сек}$ . (открытие заслонки), устанавливался 5 сек., а период снижения не более 1 сек.

Прежде чем говорить о полученных результатах, отметим, что при нормальной эксплуатации степень очистки газа, обеспечиваемая циклонными очистителями, всегда тем выше, чем больше скорость потока газа в его рабочей части, то есть чем больше производительность циклона. Последнее подтверждается не только данными исследований, но и практикой эксплуатации циклонов. Так, для исследуемого циклона степень очистки увеличивалась с 75 до 93% при возрастании  $V$  с 20 до 130  $\text{м}^3/\text{сек}$ .

Учитывая изложенное, следовало ожидать более высокую степень очистки в момент развития режима, чем в момент его снижения. В дейст-

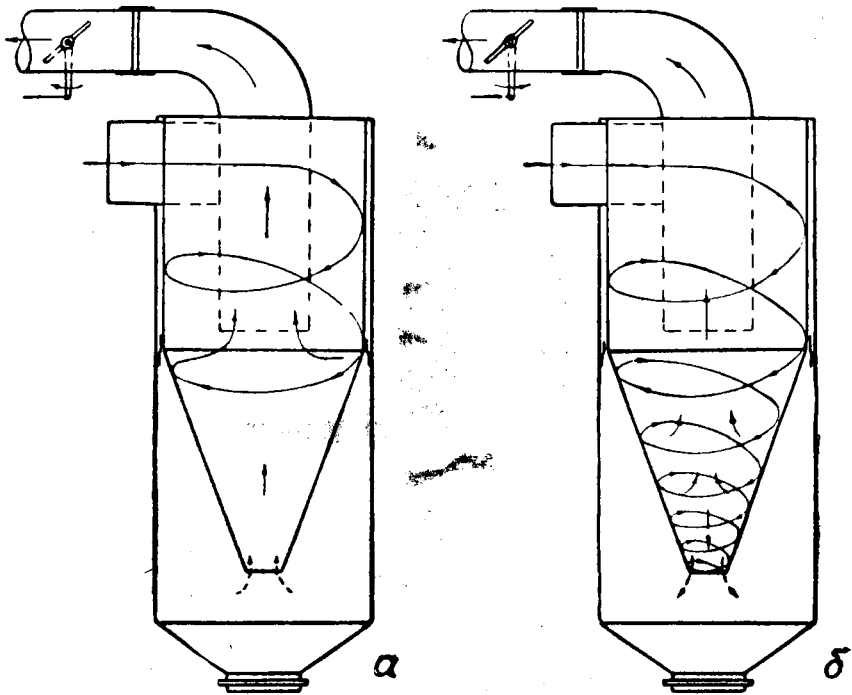


Рис. 2. Схемы движения газа и рабочей части циклона при развитии режима (а) и в момент снижения режима (б).

вительности же оказалось, что при развитии режима степень очистки на 16% ниже, чем ее значение, полученное при снижении режима. Так, в случае запыливания воздуха, поступающего в циклон только в момент закрытия заслонки, степень очистки достигала 96%, а при подаче пыли только в момент открытия величина ее не превышала 80—81%.

Для объяснения причин указанного изменения пылеотделительных способностей циклона в период увеличения и уменьшения режима его работы, необходимо учитывать те явления, которые имеют место в процессе движения газа в рабочей части циклонного очистителя.

Из схем движения газа, представленных на рис. 2, видно, что открытие заслонки, сопровождающееся увеличением расходного режима и повышением разрежения в соединительной трубке, вызывает интенсивный отсос газа из рабочей части циклона через отводящий патрубок. Это приводит к тому, что основная масса газа начинает поступать в отводящий патрубок непосредственно у нижнего края его, так как интенсивность нисходящего винтового движения газа в этот момент незначительна и соответствует еще малому режиму работы циклона. В результате этого не только ухудшается процесс выделения пылевых частиц из газа, но и исключается транспортировка их вдоль стенок конуса в пылесборниках. Кроме того, увеличивающееся в этот момент разрежение в отводящем патрубке вызывает частичное перетекание газа из пылесборника в конус, что также препятствует отводу пылевых частиц в пылесборник.

В момент снижения режима происходит явление, обратное изложенному, так как закрытие заслонки сопровождается увеличением давления в соединительной трубке и уменьшением отсоса газа из рабочей части

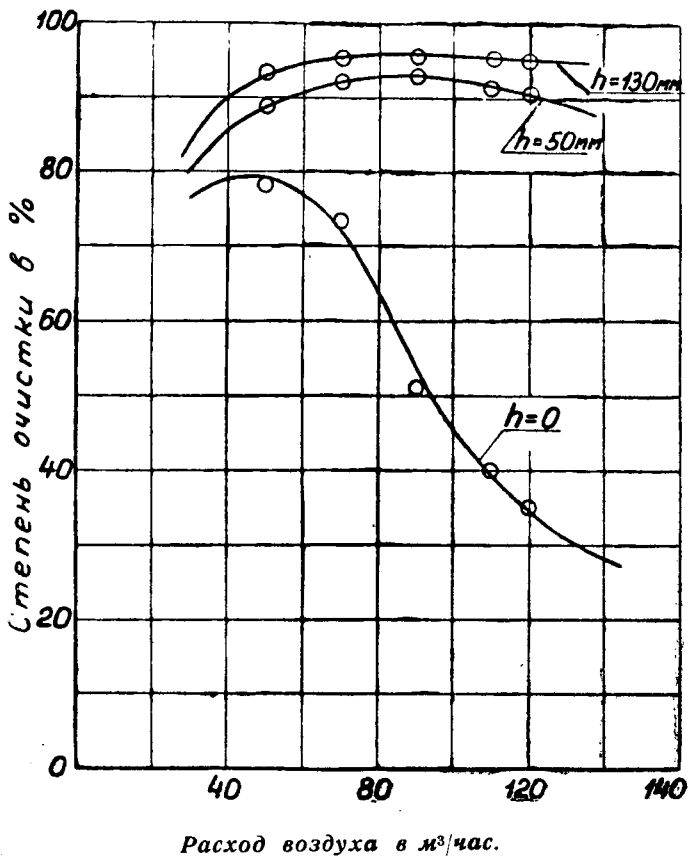


Рис. 3. Влияние наполнения пылесборника на пылеотделительный эффект циклона.

циклона при наличии еще достаточно высокой интенсивности винтового движения газа. Поворот газа к отводящему патрубку начинается значительно ниже и винтовое движение его распространяется вплоть до пылеотводящего отверстия конуса, а это приводит к увеличению времени воздействия центробежной силы на пылевые частицы и значительно улучшает условия отвода частиц в пылесборник, чему благоприятствует обратное перетекание части газа из конуса в пылесборник при повышении давления в отводящем патрубке.

Из приведенных выше данных видно, что снижение степени очистки газа в момент развития режима происходит более интенсивно (на 12—13% по сравнению с максимальным значением степени очистки). Следовательно, в период маневрирования автомобиля средняя степень очистки газа циклоном во всех случаях снижается, что подтверждается и результатами специальных опытов, проведенных при меняющихся режимах и непрерывном запыливанием воздуха. Так, если средняя величина степени очистки для интервала производительности 30—130 м³/час составляет 90,6%, то при меняющихся режимах в пределах того же интервала производительности, значение ее снижается на 4—5% и не превышает в среднем 86%.

Последующие испытания производились с целью выявления пылеотделительной способности циклона при различном наполнении пылесборника пылью.

Испытания включати три цикла опытов, проводимых при разных режимах работы циклона: 50, 70, 90, 110 и 120 м<sup>3</sup>/час. При этом для каждого цикла опытов устанавливалось соответствующее наполнение пылесборника, которое оценивалось расстоянием ( $h$ ) от уровня пыли в пылесборочном стакане до нижнего края конуса циклона.

Из представленных на рис. 3 результатов этих испытаний видно, что наполнение пылесборника до значения  $h = 130$  мм практически не оказывает заметного влияния на пылеотделительный эффект циклона\*. Когда уровень пыли доходит до значения  $h = 50$  мм, наблюдается снижение степени очистки, которое становится особенно заметным на повышенных режимах. Так при  $V = 120$  м<sup>3</sup>/час величина степени очистки снижалась с 95% до 90%.

Дальнейшее наполнение пылесборника резко влияет на снижение пылеотделительной способности циклона, а при  $h = 0$  (уровень пыли доходит до края конуса) процесс пылеотделения, особенно на повышенных режимах, почти полностью прекращается. В частности, при  $V = 100—120$  м<sup>3</sup>/час величина степени очистки снижается до 35%.

С целью выявления причин, вызывающих снижение степени очистки при наполнении пылесборника, проводилось визуальное изучение работы циклона, обрудованного прозрачным пылесборником, в который помещались подкрашенные мелкие опилки.

Наблюдения показали, что вращательное движение потока газа в конусе передается и в пылесборник, вызывая взмучивание собранной в нем пыли и интенсивно увеличивающийся по мере возрастания режима унос наиболее мелких частиц в отводящий патрубок (даже при относительно небольшом наполнении пылесборника). Так, полоски бумаги, покрытые тонким слоем краски и помещенные в центральной части пылеотводящего отверстия конуса, покрывались пылью через 5—8 минут.

Для того, чтобы сравнить количество пыли, уносимой из пылесборника при различном его наполнении, были повторены все три цикла опытов, но без запыливания воздуха, поступающего в циклон (продувка чистым воздухом).

Унос определялся как разность веса пыли в пылесборочном стакане до и после опыта. Каждый опыт проводился в течение 10 минут. Первоначальный вес пыли в пылесборочном стакане при значениях  $h = 0,50$  и 130 мм составляли 890, 642 и 231 г.

Представленные на рис. 4 результаты испытаний показывают, что основной причиной уменьшения степени очистки при наполнении пылесборника является повторный унос пыли в отводящий патрубок. При этом интенсивность уноса особенно резко возрастает в среднем и максимальном режимах работы циклона и по мере приближения уровня пыли к пылеотводящему отверстию конуса.

Следовательно, своевременное удаление пыли из пылесборника является важнейшим мероприятием, обеспечивающим нормальную работу циклона и качественную очистку газа на основных эксплуатационных нагрузках двигателей.

Вместе с тем, установленная заводом-изготовителем периодичность очистки пылесборника (через 250—300 км пробега автомобиля) явно не соответствует размеру пылесборника. Так, согласно специальным наблюдениям за работой автомобиля Урал ЗИС-352 было установлено, что

\* Более высокие значения степени очистки, полученные при этих испытаниях, объясняются применением пыли с малым содержанием мелких фракций.

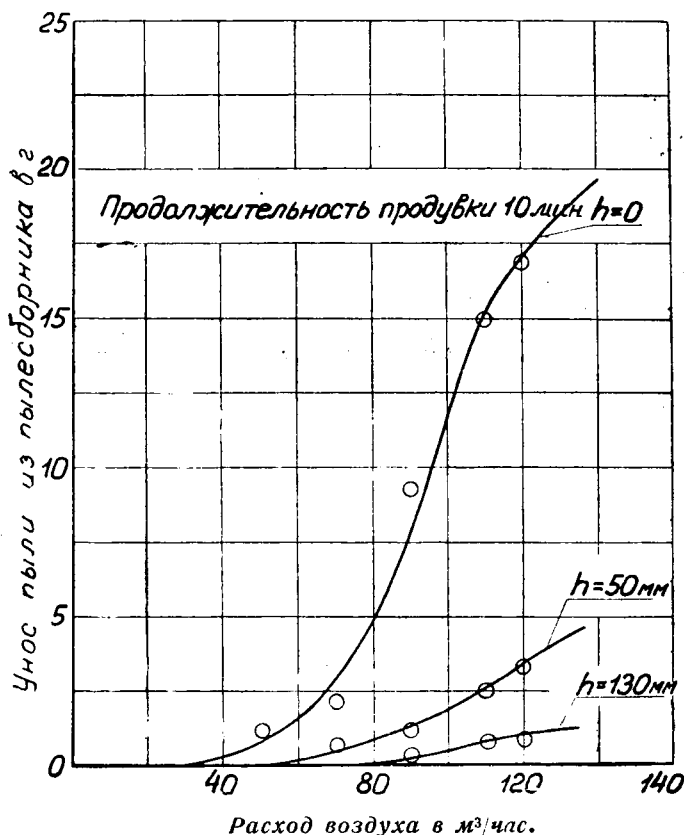


Рис. 4. Кривые повторного уноса пыли при различном наполнении пылесборника.

основной объем пылесборника циклона практически заполняется через 5—6 часов работы машин.

Если наряду с изложенным учесть транспортные условия эксплуатации циклона, при которых интенсивность взмучивания пыли в пылесборнике может значительно увеличиться за счет тряски и толчков, то можно полагать, что периодическая очистка пылесборника должна проводиться минимум через 100—120 км пробега. Последнее тем более обосновано, что для выполнения этой операции не требуется никаких специальных приспособлений и производится она с незначительными затратами времени (всего 5—8 мин.).

Таким образом, в результате проведенных исследований представилось возможным не только в некоторой степени расширить существующие представления об истинных процессах, происходящих в циклонных очистителях, применительно к условиям их работы на лесотранспортных машинах, но и обоснованно подойти к установлению периодичности обслуживания циклонов.

Анализ полученных экспериментальных данных позволил вскрыть дополнительные пути возможного повышения пылеотделительной способности циклонных очистителей за счет принудительного отсасывания части газа из пылесборника непосредственно в соединительную трубу или в подводящий патрубков.

Несомненно, что целесообразность этого мероприятия может быть обоснована только после соответствующих экспериментальных работ.



Однако на основе анализа ранее приведенных данных можно полагать, что происходящее при отсасывании постоянное перетекание некоторой части газа из конуса в пылесборник не только улучшит условия отвода выделенных пылевых частиц из конуса, но и уменьшит возможность их повторного уноса из пылесборника.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. С. Е. Бутаков. Аэродинамика систем промышленной вентиляции. Профиздат, Л., 1949. [2]. П. Коузов. Очистка воздуха от пыли в циклонах. Л., [3]. М. С. Корнев. Система очистки воздуха при работе автомобиля на пыльных дорогах. «Автомобиль» № 6, 1952. [4]. Н. Я. Кудряшов. Исследование циклонных газоочистителей типа НИОГАЗ-НАМИ применительно к условиям их работы с двигателями внутреннего сгорания, «Труды АЛТИ», XVII, Архангельск, 1957. [5] П. Н. Смухнин и П. Коузов. Центробежные пылеотделители — циклоны, ОНТИ, М.—Л., 1935. [6]. Труды совещания по очистке промышленных газов. Metallurgizdat, 1941.

Поступила в редакцию  
13 марта 1958 г.