

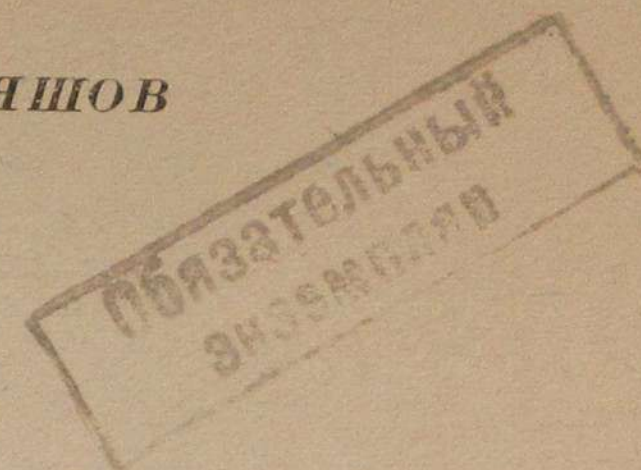
61180

Бесплатно.

ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОРДЕНА ЛЕНИНА
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ имени С. М. КИРОВА

Аспирант Н. Я. КУДРЯШОВ

Р 45
р 428



Исследование циклонных очистителей газогенераторных установок лесотранспортных машин

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ленинград
1956

Аспирант Н. Я. КУДРЯШОВ

ДР $\frac{45}{428}$

Исследование циклонных очистителей газогенераторных установок лесотранспортных машин

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Научный руководитель лауреат Сталинской премии,
доцент, кандидат технических наук

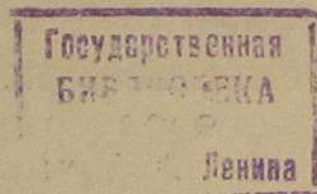
К. И. ВОРОНИЦЫН

Автореферат разослан _____ 1956 г.

Защита состоится _____ 1956 г.

Ленинград
1956

Экспериментальная часть работы выполнена в лаборатории
тяговых машин Архангельского ЛТИ



ВВЕДЕНИЕ

Использование газа, получаемого при газификации твердого топлива, для питания двигателей внутреннего сгорания возможно только после предварительного охлаждения, осушки и тщательной очистки его от механических частиц, увлекаемых газом из газогенератора, т. к. присутствие их в газе вызывает резкое повышение износа деталей двигателя.

Поэтому качественная очистка газа от механических частиц является одним из основных факторов повышения технической надежности и увеличения межремонтных сроков эксплуатации двигателей, работающих на генераторном газе.

Вместе с тем, очистка газа от механических частиц, особенно в транспортных установках, является довольно сложной проблемой. Объясняется это спецификой условий работы очистителей в транспортных установках, где при высокой степени очистки и минимальном сопротивлении необходимо иметь компактные аппараты, обладающие достаточной прочностью и удобством обслуживания. Одновременно с этим очистители должны обеспечивать хорошее качество очистки газа в любых дорожных условиях и на всех режимах работы двигателя.

Практика показала, что наиболее полно указанным требованиям отвечают центробежные очистители (циклоны), используемые в настоящее время для предварительной (грубой) очистки газа фактически на всех современных газогенераторных установках транспортного типа. Однако до настоящего времени исследование этих очистителей производилось совершенно недостаточно и ограничивалось выявлением только количественных показателей эффективности их работы.

Более того, несмотря на большую работу, проведенную рядом институтов по изучению циклонных очистителей применяемых для очистки газа и воздуха в промышленности, надежной теории пылеотделения и метода расчета их до сих пор нет, что объясняется значительной сложностью и недостаточной изученностью процессов, происходящих в циклоне.

В настоящей работе сделана попытка частично восполнить этот пробел и на основе расширенных исследований циклона конструкции НИОГАЗ—НАМИ дать метод расчета основных показателей эффективности работы циклонных очистителей, применяемых на современных газогенераторных установках транспортного типа.

Методика исследования

Соответственно задачам настоящего исследования экспериментальные работы включали два раздела: испытание циклона и определение дисперсного состава пыли.

1. С целью получения данных, позволяющих с необходимой надежностью произвести определение как общих (η_0), так и фракционных (η_{ϕ}) к. п. д. циклона во всем интервале эксплуатационных режимов его работы, испытания циклона производились в лабораторных условиях на специально разработанной опытной установке.

В качестве объекта для исследования взят циклон газогенераторной установки УралЗИС—352 серийного производства. Для точного определения количества пыли, уловленной циклоном в течение опыта и правильного отбора проб для дисперсионного анализа, стандартный цельносварной пылесборник был заменен специально оборудованным съемным пылесборником.

В процессе проведения основных испытаний циклона опытами охвачен диапазон изменения производительности в пределах от 20 до 130 м³/час или, что то же, в пределах изменения скорости воздуха на входе в циклон ($w_{вх}$) от 3,3 до 21,6 м/сек.

Весь комплекс опытов состоял из 12 циклов. В состав каждого цикла входило три опыта.

В качестве экспериментальной принята древесноугольная пыль с плотностью 1,18 г/см³.

Пылесодержание воздуха, поступающего в циклон, во всех опытах сохранялось 2,5 г/м³, что соответствует средней величине пылесодержания генераторного газа при работе газогенератора с производительностью 60—70 м³/час.

Запыливание воздуха осуществлялось при помощи специального устройства, обеспечивающего непрерывную и равномерную подачу пыли при заданной дозировке ее, а также достаточно полное диспергирование пылевых частиц и равномерное распределение их в потоке воздуха, поступающего в циклон.

В течение каждого опыта на запыливание воздуха расходовалось 100 г экспериментальной пыли. Набор указанной навески из всего объема приготовленной пыли производился методом квартования.

Пыль, уловленная циклоном в течение каждого цикла опытов, подвергалась многократному квартованию, после чего отбиралась проба для дисперсионного анализа.

Проба исходной пыли отбиралась из образца экспериментальной пыли, набранного в процессе проведения всех цик-

лов опытов и пропущенного через запыливающую систему. Это позволило исключить ошибки, связанные с дополнительным дроблением пылевых частиц при прохождении ими запыливающей системы.

Дополнительно был проведен ряд циклов опытов по выяснению влияния на эффективность работы циклона вибрации, пульсирующего характера движения потока газа и степени наполнения пылесборника.

Вибрация создавалась неуравновешенным маховичком, установленным на опорной плите стойки крепления циклона.

Для получения пульсирующего потока в соединительной трубе устанавливалась заслонка, шарнирно связанная с эксцентриком, смонтированным на ведущем валике редуктора запыливающего устройства.

Наполнение пылесборника оценивалось расстоянием (h) от уровня пыли до нижнего края конуса циклона. Испытания включали три цикла опытов, проводимых при значениях $h=0$, 50 и 130 мм. Одновременно проводились и визуальные наблюдения на циклоне, оборудованном прозрачным пылесборником.

2. Для определения дисперсного состава пыли был избран весовой метод с применением стеклянных седиментометрических микровесов проф. Н. А. Фигуровского. Из числа приборов, основанных на принципе упругих микровесов, взят прибор с чашечкой, как наиболее полно удовлетворяющий требованиям седиментометрических измерений.

Изготовление основных деталей прибора, сборка и установка его производилась в соответствии с практическими указаниями проф. Н. А. Фигуровского.

В качестве дисперсионной среды применялся этиловый спирт, как жидкость, обеспечивающая хорошую смачиваемость угольных частиц при любой степени измельчения их и достаточно надежную устойчивость суспензии без добавки каких-либо стабилизирующих веществ.

При исследовании газоочистителей наиболее важно знать гидравлическую характеристику пылевых частиц, учитывающую как отклонение плотности отдельных частиц от средней, так и форму частиц, облегчающую или затрудняющую движение их в газовой среде. Однако в настоящее время дисперсность пыли принято выражать размерными интервалами частиц. Кроме того, ряд методов дисперсионного анализа вообще позволяют определять только размер частиц.

Учитывая, что в формуле Стокса, по которой производится пересчет скорости витания (W) на размер частиц, величина W находится под радикалом, при проведении дисперсионного анализа в качестве критерия фракционирования принята величина \sqrt{W} м/сек.

В соответствии с условиями проведения испытаний циклона для пересчета скорости оседания частиц в спирте (W_c см/сек) на величину \sqrt{W} м/сек (витание в воздухе) применялась формула:

$$\sqrt{W} \text{ м/сек} = 1,43 \sqrt{W_c} \text{ см/сек}.$$

Отделение грубых фракций с величиной критерия \sqrt{W} м/сек более 0,6 производилось методом отмучивания в цилиндре Сабанина.

С целью уменьшения возможности засорения тонких фракций более крупными частицами, что имеет место при сливе суспензии обычным сифоном, был изготовлен сифон иной конструкции, в котором слив производился через четыре боковых отверстия, открытых у нижнего конца сливной трубки.

Дальнейшее фракционирование грубых фракций не производилось, т. к. последние практически полностью улавливались циклоном на всех режимах его работы.

Обработка результатов анализов производилась путем построения кривых оседания с последующим расчетом их методом графического дифференцирования.

По данным расчета кривых оседания строились интегральные кривые распределения, по которым определялось содержание фракций в принятых интервалах значений критерия \sqrt{W} м/сек : 0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4; 0,4-0,5; 0,5 и более.

Результаты экспериментального исследования циклона

1. Гидравлическое сопротивление циклона (ΔH). При работе циклона на режимах, соответствующих максимальным нагрузкам двигателя* ($w_{вх}=20$ м/сек) величина ΔH не превышала 83 мм вод. столба. Такое сопротивление по сравнению с другими типами циклонных очистителей является незначительным, что указывает на достаточно удачное соотношение основных конструктивных элементов циклона.

Коэффициент гидравлического сопротивления ξ , определявшийся как отношение ΔH к скоростному напору потока при входе в циклон, оставался практически постоянным во всем интервале эксплуатационных режимов работы циклона и равным в среднем 3,21.

Стабильность коэффициента ξ указывает на то, что закон изменения гидравлического сопротивления циклона близок к квадратичному. Это позволяет использовать полученное значение ξ в качестве расчетного при определении ΔH на любых эксплуатационных режимах работы циклона.

*) Соответствие режимов работы циклона нагрузкам двигателя устанавливалось по величине среднего удельного расхода газа при работе двигателя ЗИС-21 на полном дросселе.

2. Общий или суммарный к. п. д. (η_o). На режимах работы циклона, соответствующих интервалу малых нагрузок двигателя ($w_{вх}=4-12$ м/сек), среднее значение η_o оказалось равным 0,8-0,85.

По мере перехода двигателя на средние нагрузки наблюдается относительно быстрый рост η_o , достигающего значения 0,92 при $w_{вх}=17$ м/сек.

С дальнейшим увеличением режима рост η_o замедляется и при $w_{вх}=20$ м/сек (максимальные нагрузки двигателя), достигнув значения 0,93, величина η_o стабилизируется. Отсюда следует, что форсирование режима работы циклона выше $w_{вх}=20$ м/сек нецелесообразно (при этом лишь увеличиваются гидравлические потери). Последнее необходимо учитывать в случае применения циклона данной конструкции на установках с более мощным двигателем.

Так как двигатели лесотранспортных машин по условиям эксплуатации работают в основном на средних и максимальных нагрузках (особенно при движении в грузовом направлении), то можно считать, что средняя степень очистки газа циклоном характеризуется величиной 0,90-0,93. Такое значение соответствует среднему снижению пылесодержания газа в 10-13 раз.

3. Фракционные к. п. д. (η_f). В настоящее время для наиболее полной характеристики газоочистителей применяется так называемая кривая фракционных к. п. д., выражающая зависимость η_f от размеров пылевых частиц. Однако применение указанной зависимости наряду с характеристикой очистителя во всем диапазоне дисперсности пылевых частиц ограничено тем родом пыли, на котором она получена.

Если выразить дисперсность не размером частиц, а скоростью витания их в данной среде (W) или значением критерия \sqrt{W} м/сек, то такая кривая позволит охарактеризовать очиститель при работе его с иным газом, запыленным частицами любой дисперсности и плотности. Однако для газогенераторных установок транспортные машины, работающих в условиях меняющихся нагрузок, и последняя зависимость недостаточна, т. к. кривая фракционных к. п. д. строится без учета режима работы очистителя.

В настоящей работе качественная оценка эффективности пылеотделительного процесса циклона (т. е. оценка по фракциям) представлена в виде серий кривых, из которых каждая характеризует степень улавливания циклоном частиц данной фракции во всем интервале эксплуатационных режимов его работы.

Построение кривых проведено для фракций со средним значением критерия \sqrt{W} м/сек = 0,05; 0,15; 0,25; 0,35 и 0,45.

Из упомянутых кривых следует:

а) пылевые частицы со средним значением критерия фракционирования более 0,35 при $w_{вх}=10-12$ м/сек (малые нагрузки двигателя) улавливаются циклоном полностью;

б) при увеличении $w_{вх}$ до значения 17 м/сек (средние нагрузки двигателя) полностью улавливаются и частицы фракции 0,25. Для остальных фракций (0,15 и 0,05) $\eta_{ф}$ соответственно достигает значений 0,94 и 0,82;

в) дальнейшее увеличение $w_{вх}$ сопровождается относительно небольшим ростом $\eta_{ф}$ для остальных фракций. Так при увеличении $w_{вх}$ с 17 до 20 м/сек (переход на максимальные нагрузки) значение $\eta_{ф}$ для фракции 0,15 возрастает на 0,02, а для фракции 0,05 только на 0,05. Последнее согласуется с данными, полученными при определении общего к. п. д.

Таким образом, в диапазоне основных эксплуатационных нагрузок двигателя циклоном не улавливаются только 5—6% частиц фракции 0,15 и 16—18% частиц фракции 0,05. Это указывает на высокие пылеотделительные качества данного типа очистителя.

4. Влияние эксплуатационных факторов. Результаты дополнительных испытаний показали, что вибрация и пульсирующий характер движения потока газа практически не оказывают влияния на эффективность работы циклона. Правда, при вибрации циклона наблюдалась некоторая тенденция к снижению η_0 , однако абсолютная величина этого снижения не превышала 0,02—0,015.

Более существенное снижение η_0 , особенно на повышенных режимах работы циклона ($w_{вх}=18-20$ м/сек) обнаружено при повышении уровня пыли в пылесборнике. Так при наполнении пылесборника до значения $h=50$ мм, снижение η_0 составляло 0,12—0,13. Дальнейшее наполнение пылесборника сопровождалось еще более резким снижением η_0 , а при $h=0$ вообще прекращалась нормальная работа циклона.

Визуальными наблюдениями и опытами установлено, что основной причиной указанного снижения эффективности работы циклона является наличие вихревого движения газа в пылесборнике, которое вызывает взмучивание и унос пыли из него в отводящий патрубок. Так как интенсивность уноса резко возрастает по мере наполнения пылесборника, то своевременная очистка его является важнейшим мероприятием, обеспечивающим нормальную работу циклона. Наряду с этим наблюдения за работой автомобиля УралЗИС—352 показали, что рекомендуемая заводом-изготовителем периодичность очистки пылесборника через 250—300 км пробега автомобиля является завышенной, т. к. при работе газогенератора на чур-

ке из мягких пород древесины основной объем пылесборника заполняется через 5—6 часов работы. Последнее позволяет рекомендовать снижение периодичности очистки пылесборника в два раза.

Обоснование метода расчета основных показателей эффективности работы циклона

Несмотря на то, что разработка методов расчета фракционных и общего к. п. д. циклонных очистителей является важной задачей, имеющей большое практическое значение для техники циклонного пылеотделения, решение ее не дано по настоящее время. Последнее объясняется сложностью пылеотделительного процесса циклонных очистителей, что значительно затрудняет решение поставленной задачи только теоретическим методом. В свою очередь, ввиду большого количества факторов, влияющих на эффективность работы циклона, значения η_0 , определенные экспериментальным путем, носят частный характер, а следовательно и область их применения ограничена условиями проведения эксперимента.

Действительно, ход процесса пылеотделения в циклоне зависит от следующих основных факторов: плотности (ρ_2) и размера пылевых частиц (δ), вязкости (μ), плотности (ρ_1) и скорости газа (w_r), а также от размера циклона (R), т. е. в общем виде η_0 можно выразить следующей зависимостью:

$$\eta_0 = f(\rho_2, \delta, \mu, \rho_1, w_r, R) \quad (I)$$

Раскрытие указанной зависимости экспериментальным путем представляет чрезвычайно трудную задачу, практическое разрешение которой потребует постановки очень большого числа самых разнообразных экспериментов.

Наличие метода, позволяющего обобщить характер влияния отдельных факторов, значительно облегчило бы решение поставленной задачи и сократило бы объем экспериментальных работ, необходимых для ее разрешения. При этом, с точки зрения практической ценности, такое решение наиболее важно иметь для фракционных к. п. д., т. к. располагая методом расчета $\eta_{ф}$ и данными о дисперсном составе исходной пыли, можно определить расчетным путем и общий к. п. д. циклона.

Основываясь на принципе работы циклона и используя основные положения существующей упрощенной теории циклонного пылеотделения, получено следующее обобщенное уравнение для фракционного к. п. д. циклона:

$$\eta_{ф} = \varphi\left(W \cdot \frac{w^2_{к}}{r}\right)$$

где W — скорость вращения пылевых частиц данной фракции; w_k и r — касательная скорость движения и радиус вращения частицы.

Заменяя w_k пропорциональной ей скоростью газа на входе в циклон ($w_{вх}$), а r определяющим размером циклона R получаем:

$$\eta_{\Phi} = \varphi \left(W \cdot \frac{w_{вх}^2}{R} \right) \quad (2)$$

Нетрудно видеть, что раскрытие полученной зависимости (2) экспериментальным путем несравнимо проще, чем зависимости, выраженной уравнением (1). Более того на современных газогенераторных установках транспортного типа применяются циклоны НИОГАЗ—НАМИ, имеющие одинаковый определяющий размер ($d=120$ мм), следовательно для данных циклонов величина R является постоянной и может быть исключена из зависимости, тогда:

$$\eta_{\Phi} = \varphi (W \cdot w_{вх}^2)$$

Учитывая ранее изложенное о преимуществах использования в качестве критерия фракционирования величины $\sqrt{W_{м/сек}}$, целесообразно независимую переменную ввести под корень, т. е.

$$\eta_{\Phi} = f(\sqrt{W} \cdot w_{вх})$$

В результате математической обработки экспериментальных данных, проведенной методом наименьших квадратов, получено следующее уравнение:

$$\eta_{\Phi} = 0,85 (\sqrt{W} \cdot w_{вх})^{0,12}$$

Указанная аналитическая зависимость справедлива в интервале значений величины $(\sqrt{W} \cdot w_{вх})$ от 0 до 4,3 (размерность W и $w_{вх}$ — м/сек).

Так как указанным интервалом охватываются все значения η_{Φ} , включая 0 и 1, то:

а) полученное уравнение позволяет рассчитать фракционные к.п.д. циклона во всем интервале возможных значений их;

б) пылевые частицы, для которых при данном режиме работы циклона величина $(\sqrt{W} \cdot w_{вх})$ больше или равняется 4,3, улавливаются циклоном полностью.

* *

*

С целью сравнения данных о величине η_{Φ} , полученных экспериментальным и расчетным путем, проведены дополнительные испытания циклона при запыливании воздуха торфяной ($\rho_{т} = 1,38$ г/см³) и кварцевой ($\rho_{к} = 2,64$ г/см³) пылью.

Выбор указанных видов пыли обосновывался тем, что по дисперсному составу, плотности и строению частиц эти пыли значительно отличались как между собой, так и от древесноугольной, применявшейся при основных испытаниях.

В результате расчетного и экспериментального определения общего к.п.д. циклона получены следующие данные:

№№ п.п.	Производительность, м ³ /час	Скорость воздуха на входе в циклон, м/сек	Торфяная пыль		Кварцевая пыль	
			Экспериментальные	Расчетные	Экспериментальные	Расчетные
1	30	4,9	0,815	0,837	0,986	0,992
2	50	8,30	0,857	0,875	0,989	0,997
3	70	11,63	0,890	0,899	0,988	0,998
4	90	14,95	0,915	0,913	0,992	0,999
5	100	16,61	0,922	0,919	—	1,00
6	110	18,27	0,925	0,925	0,993	1,00
7	115	19,10	0,940	0,928	—	1,00
8	120	19,93	0,935	0,930	0,993	1,00
9	125	20,76	0,942	0,933	—	1,00
10	130	21,59	—	0,936	—	1,00

Как видно из таблицы, полученные данные характеризуются хорошим совпадением экспериментальных и расчетных значений η_{Φ} , что позволяет рекомендовать практическое применение предложенного метода расчета фракционных и общего к.п.д. циклона на любых эксплуатационных режимах его работы.

ВЫВОДЫ

В итоге проведенных исследований получены следующие основные результаты:

1. По оценке циклона

1) Определены значения общего к.п.д. на всех эксплуатационных режимах работы циклона. На режимах, соответствующих средним и максимальным нагрузкам двигателя, величина общего к.п.д. циклона при очистке воздуха, запыленного древесноугольной пылью, достигает значения 0,90—0,93, что равносильно снижению пылезадержания в 10—13 раз. При этом общие гидравлические потери в циклоне не превышают 80—82 мм вод. столба.

Учитывая относительно высокую дисперсность и малую плотность частиц экспериментальной пыли, полученные значения общего к.п.д. и гидравлических потерь позволяют отнести этот тип циклона к числу наиболее совершенных аппа-

ратов, используемых для предварительной очистки газа в транспортных газогенераторных установках.

2) Получена качественная характеристика, позволяющая дать оценку циклона с точки зрения эффективности улавливания им основных фракций пыли на различных режимах работы.

Построение кривых характеристики проведено по скорости газа на входе в циклон, т. е. с учетом режима работы циклона, что наиболее полно соответствует условиям работы газоочистителей с двигателем внутреннего сгорания.

3) Установлено, что при работе циклона на повышенных режимах, благодаря распространению вихревого движения газа из конуса в пылесборник, происходит сильное взмучивание пыли собранной в нем и частичный унос ее в отводящий патрубок. Интенсивность уноса резко возрастает по мере увеличения уровня пыли в пылесборнике, вызывая значительное снижение общего к. п. д. циклона.

Как показали наблюдения, при работе газогенератора на чурке из мягких пород древесины пылесборник циклона заполняется через 5—6 часов работы автомобиля. В связи с этим рекомендацию завода-изготовителя о периодичности очистки пылесборника через 250—300 км пробега следует признать неудачной. Пылесборник циклона должен подвергаться очистке после пробега автомобилем 120—150 км.

II. По методу расчета основных показателей работы циклона

1) Установлено, что при работе циклона на различных режимах полнота выделения им из газа отдельных пылевых частиц зависит только от скорости витания этих частиц в данной среде и скорости газа на входе в циклон.

Полученная функциональная зависимость, устанавливающая связь между указанными величинами, дает возможность упростить экспериментальное изучение циклонных очистителей и распространить область применения полученных при этом данных как на весь диапазон дисперсности пыли, так и на весь интервал эксплуатационных режимов работы циклона. Последнее является особенно важным для очистителей газогенераторных установок транспортного типа, т. к. они работают в условиях значительного изменения рабочих режимов двигателя в интервале максимальных и минимальных нагрузок.

2) Путем математической обработки экспериментальных данных получена формула, позволяющая рассчитать фракционные к. п. д. циклона во всем интервале режимов его работы при очистке газа от пыли любого дисперсного состава и плотности частиц.

Располагая значениями фракционных к. п. д. и данными о дисперсном составе пыли, вносимой с газом в циклон, представляется возможным рассчитать и общий (суммарный) к. п. д. на любом режиме работы циклона.

Хорошее совпадение расчетных значений общего к. п. д. с экспериментальными значениями для различных видов пыли позволяет рекомендовать использование полученной формулы при определении как качественных, так и количественных показателей эффективности работы циклона.

3) Выявлено, что коэффициент гидравлического сопротивления циклона, отнесенный к средней скорости потока в наименьшем сечении входного патрубка, практически остается постоянным во всем интервале эксплуатационных режимов работы циклона. Это позволяет использовать полученное осредненное значение коэффициента при расчетном определении гидравлического сопротивления циклона на различных режимах его работы.

Ответственный за выпуск Н. Я. Кудряшов

сл 00113 Архангельск. Сдано в произв. 25/VI 1956 г. Подписано к печати
11/VII-56 г. Тир. 110. Объем 1 л. л. Зак. 291 Типография АЛТИ
Петроградский 33. ф. 9.