

УДК 622.81

СОЗДАНИЕ СРЕДСТВ ПЫЛЕВЗРЫВОЗАЩИТЫ ДЛЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ВЫЕМОЧНЫХ И ПРОХОДЧЕСКИХ МАШИН НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Мерзляков В.Г., Деревяшкин И.В.

МГМУ (МАМИ), Москва, e-mail: mgou-vgm@mail.ru, robotron-04@mail.ru

Одним из основных источников взрывов газа и пыли при работе выемочных и проходческих комбайнов является воспламенение пылегазовоздушной смеси в результате фрикционного контакта режущего инструмента с абразивными породами и их включениями в угольном массиве. Взрывобезопасность работы инструмента и минимальное пылевыведение в процессе разрушения угля или горной породы обеспечиваются при высоконапорном орошении либо гидромеханическом способе разрушения. Высоконапорное орошение заключается путем подачи компактной струи воды давлением 10–20 МПа на след режущего инструмента, при гидромеханическом способе осуществляется комбинированное разрушение породного массива режущим инструментом совместно с высокоскоростной струей воды давлением 30–70 МПа и более. Разработаны инженерные методы расчета конструктивных параметров струеформирующих устройств и динамических и структурных характеристик формируемых в них высокоскоростных струй воды. Созданы эффективные малогабаритные струеформирующие устройства и насадки, обеспечивающие подачу компактных струй воды непосредственно в зону контакта инструмента с разрушаемым массивом, где при трении инструмента о породу образуется высокотемпературный раскаленный след, являющийся одним из основных источников взрывов газа и пыли.

Ключевые слова: выемочные и проходческие машины, воспламенение метана и угольной пыли, высоконапорное орошение, гидромеханический способ разрушения угля и горных пород, малогабаритные струеформирующие устройства и насадки, рациональные параметры

CREATION OF MILITRISSA FOR THE EXECUTIVE BODIES OF EXCAVATION AND TUNNELLING MACHINES IN COAL MINES

Merzlyakov V.G., Derevyashkin I.V.

MSMU (MAMI), Moscow, e-mail: mgou-vgm@mail.ru, robotron-04@mail.ru

One of the main sources of explosions of gas and dust during the work of excavation and tunneling is the ignition of dust-laden flue gas mixture in the result of the frictional contact of the cutting tool with abrasive rocks and their inclusions in the coal array. Explosion tool operation and minimal dust pollution in the process of fracture of coal or rock by high-pressure irrigation or hydro-mechanical destruction. High-pressure irrigation is to supply a compact water jet pressure of 10–20 MPa on the trail of a cutting tool, with hydro-mechanical method is combined with the destruction of the rock massif cutting tool together with the high-speed water jet pressure of 30–70 MPa and more. Developed engineering methods of calculation of design parameters truefinish devices and of dynamic and structural characteristics of being formed in their high-speed jets of water. Effective small stroiterminal device and the nozzle, providing a compact water jets directly into the zone of contact of the tool to destroy the array, where the friction of the tool about the breed forms a high temperature molten trail, which is one of the main sources of explosions of gas and dust.

Keywords: coal-mining and tunneling machines, the ignition of methane and coal dust, high-pressure irrigation, hydro mechanical method of destruction of coal and rocks, small stroiterminal device and the nozzle, the rational parameters

Безопасность ведения очистных и проходческих работ на угольных шахтах в существенной мере зависит от горно-геологических условий разработки угольных пластов и, в первую очередь, от их природной газоносности. Большинство разрабатываемых пластов (52,0%) имеют повышенную (16–25 м³/т) и высокую (свыше 25 м³/т) природную газоносность. До 90% угольных пластов, разрабатываемых в России, являются также опасными по взрывам угольной пыли [1].

Одним из основных источников взрывов газа и пыли при подземной добыче угля является воспламенение пылегазовоздушной смеси в результате фрикционного контакта режущего инструмента с абразивными по-

родами и их включениями в угольном массиве [2, 3].

При трении резцов о пирит возникает ореол воспламеняющегося облака пиритной пыли, образуемой одним резцом исполнительного органа комбайна. Воспламенение зарождается на расстоянии 0,1–0,2 м от резца, а иногда и ближе. Длина облака пламени достигала 0,4 м при диаметре 0,1–0,2 м. Отбрасываемые частицы пиритной пыли, нагретые при трении резцом до 350–400 °С, попадая в воздух, сгорают в нем в течение 0,2–0,3 с. Такие параметры свидетельствуют о большой энергии и длительности этого источника воспламенения, способного поджигать не только метан, но и угольную пыль.

В очистных забоях в развитые взрывы переходит до 1,5 % локальных вспышек метана, инициированных фрикционными искрами при работе выемочных машин, а в подготовительных выработках во взрывы метана и угольной пыли перерастает до 20 % вспышек при работе проходческих комбайнов. Фрикционное искрение по опасности возникновения взрывов (вспышек) метана занимает второе место при работе выемочных, проходческих и буровых машин.

Учитывая тяжесть последствий воспламенения или взрыва пылеметановоздушной смеси, создание систем, способных полностью исключить или хотя бы резко снизить количество вспышек и взрывов метана и угольной пыли, является одной из главных задач при создании выемочных и проходческих машин.

Результаты НИОКР, выполненных в РФ при нашем участии, и анализ тенденций создания современных систем пылевзрывозащиты за рубежом (в Германии, Англии, США и др.) позволяют сделать вывод, что значительно высокой эффективностью и надежностью обладают высоконапорные системы орошения с подачей на след резцов компактных водяных струй с давлением $P_0 = 10\div 20$ МПа [4, 5] и гидромеханические исполнительные органы, которые обеспечивают эффективность пылеподавления 96–99,9 % при работе выемочных и проходческих комбайнов [5, 6].

Вместо традиционных форсунок, в которых распыление жидкости достигается за счет искусственной турбулизации, в высоконапорных системах используются струеформирующие насадки (рис. 1, поз. 5), которые обеспечивают распыление струи за счет естественных процессов, вызванных повышением давления и увеличением скорости истечения. При

этом достигается более интенсивное эжектирование воздуха и тем самым активизируется удаление метана из зоны резания. Увеличение скорости водяного потока способствует более эффективному связыванию взрывоопасной пыли тонких фракций, увеличивается унос тепла и, следовательно, более эффективно охлаждается режущий инструмент и его раскаленный след в горной породе. Исследования показали, что доля пыли, способной проникнуть в лёгкие, уменьшается на 83,9 %, а концентрация крупной пыли – на 92,1 %.

Несмотря на очевидные достоинства высоконапорного орошения, следует признать, что максимальный эффект пылеподавления и взрывозащиты очистных и проходческих комбайнов может быть достигнут только при использовании гидромеханического комбинированного способа разрушения углепородного массива с использованием компактных струй воды давлением 30–70 МПа и более [5, 6].

Гидромеханический способ разрушения основан на комбинированном воздействии на горный массив высокоскоростной струи воды и механического инструмента скалывающего или режущего действия. Проникая в микро- и макротрещины, струя воды увлажняет продукты разрушения. Вследствие этого происходит не только резкое снижение пылеобразования (на 70–85 %), но и существенное снижение температуры резца и его следа. Высокая эжектирующая способность высокоскоростных струй воды, обеспечивающая вынос из забоя выделяющегося метана и образование вокруг исполнительного органа водяного тумана, резкое (в 1,5–2 и более раз) снижение нагрузок на механическом инструменте и искрообразование на 90–100 % – все это вместе обеспечивает эффективную взрывозащиту от фрикционного трения.

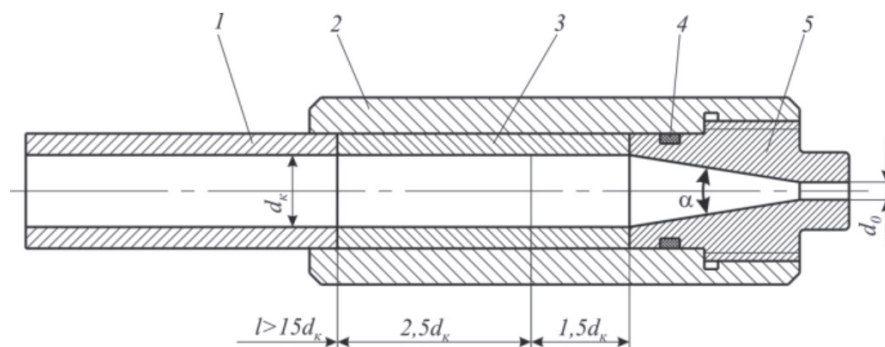


Рис. 1. Схема типового полноразмерного струеформирующего устройства:

1 – водовод; 2 – корпус; 3 – успокоитель; 4 – уплотнение; 5 – насадка;
 l – длина подводящего канала; d_0 – диаметр насадки; d_k – диаметр подводящего канала

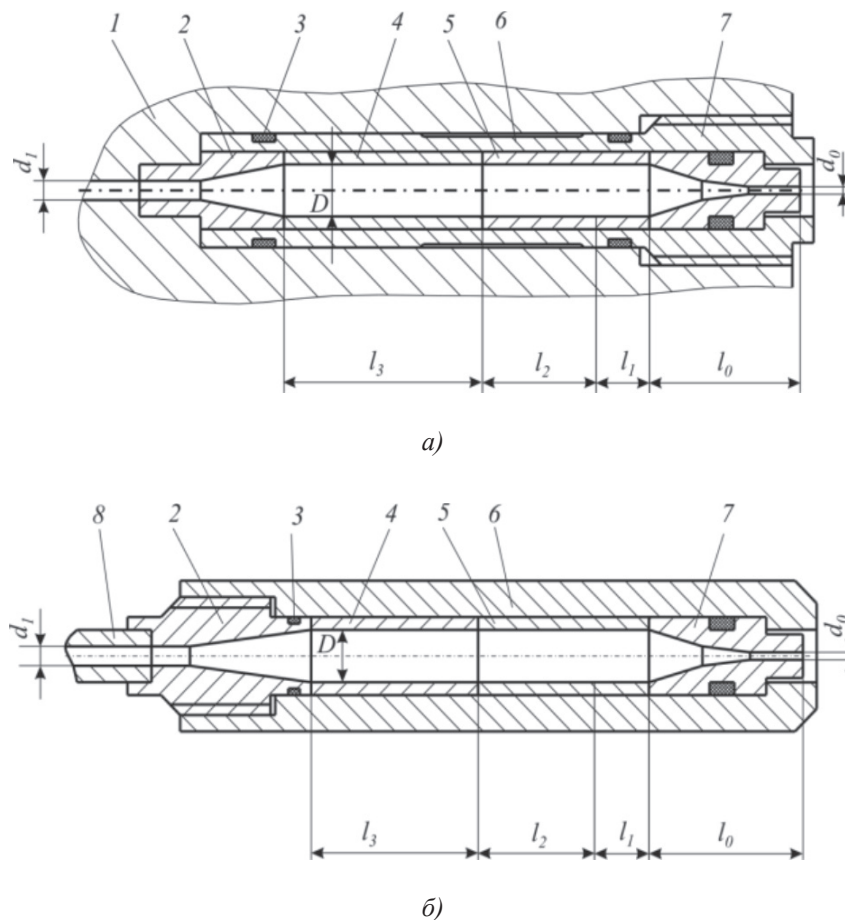


Рис. 2. Конструкции малогабаритных струеформирующих устройств: а – с внутренним подводом воды; б – с наружным подводом воды: 1 – корпус исполнительного органа; 2 – диффузор; 3 – уплотнение; 4 – задняя втулка; 5 – успокоитель; 6 – корпус; 7 – насадка; 8 – водовод

Рациональными параметрами струеформирующих устройств являются геометрические размеры отдельных элементов этих устройств и их сочетания, обеспечивающие формирование компактных высокоскоростных струй воды. За критерий компактности струи с достаточной достоверностью может быть принята безразмерная длина начального участка струи l_n/d_0 .

На рис. 1 представлена схема типового полноразмерного струеформирующего устройства, обеспечивающая максимальную компактность высокоскоростных струй воды, и рекомендованная для использования в гидравлических и гидромеханических исполнительных органах.

Указанное струеформирующее устройство отличается простотой и надежностью конструкции, и его использование предпочтительнее в тех случаях, когда на исполнительном органе горной машины имеется достаточное пространство для его размещения.

В случаях, когда монтаж полноразмерных струеформирующих устройств на исполнительных органах из-за ограниченности пространства для их размещения не представляется возможным, возникает задача разработки малогабаритных устройств, способных сформировать достаточно компактные водяные струи высокого давления.

Для решения задач, связанных с оптимизацией габаритов, и обеспечения рационального использования энергии высокоскоростных струй воды создан типовой ряд высокоэффективных конструкций малогабаритных струеформирующих устройств (МСУ) и насадок, позволяющих получать водяные струи высокой компактности, обеспечивающие максимальную концентрацию энергии в зоне разрушения углеродного массива. На рис. 2 представлены некоторые из типов малогабаритных устройств с внутренним и внешним подводом воды, разработанные для гидромеханических исполнительных органов проходческих комбайнов.

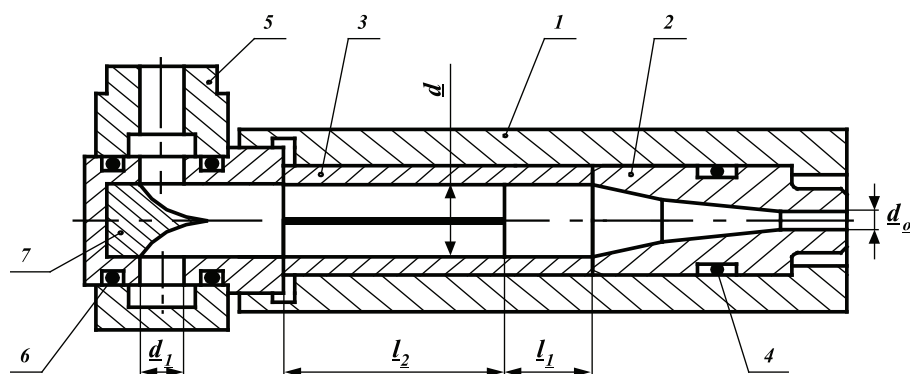


Рис. 3. Конструкция малогабаритного струеформирующего устройства с радиальным подводом воды: 1 – корпус, 2 – насадка, 3 – успокоитель, 4 и 6 – уплотнения, 5 – цапфа, 7 – направляющий конус; d – диаметр канала МСУ, d_0 – диаметр насадки, d_1 – диаметр (ширина) щели, l_1 – расстояние от успокоителя до насадки, l_2 – длина успокоителя

Таблица 1

Параметры МСУ с внутренним (рис. 2, а) и наружным (рис. 2, б) подводом воды

Типоразмер	d_0 , мм	d_1 , мм	D , мм	l_3 , мм	l_2 , мм	l_1 , мм	l_0 , мм	$l_{\min}$, мм	$l_{\max}$, мм
1	< 1	6	10–12	50–60	35–40	10–28	40	135	170
2	1–1,5	6–7	15	60–90	40–50	15–35	60	175	235
3	1,6–2,0	10	15–20	65–110	50–60	15–46	80	210	300
4	2,1–2,5	10–12	18–25	70–120	55–75	18–58	100	245	355
5	2,6–3	12–15	22–30	90–140	65–80	22–69	100	280	390

Малогабаритное струеформирующее устройство с радиальным подводом воды (рис. 3), разработанное в ННЦ ГП-ИГД им. А.А. Скочинского, предназначено для использования в гидромеханических исполнительных органах и системах высоконапорного пылевзрывозащитного орошения горных машин. Конструкция МСУ позволяет эффективно нейтрализовать турбулентные возмущения, вносимые радиальным подводом воды, за счет использования щелевого подвода на входе в струеформирующее устройство. Кроме того, использование направляющего конуса 7 позволяет обеспечить безударное слияние водяных потоков в основном канале устройства.

Выполненные под руководством к.т.н. В.Е. Бафталовского экспериментальные исследования позволили разработать инженерные методы расчета конструктивных параметров струеформирующих устройств и динамических и структурных характеристик формируемых в них высокоскоростных струй воды [5]. В табл. 1 приведены расчетные геометрические параметры пяти типоразмеров МСУ для насадок диаметром 1,0...3,5 мм при давлении воды 20...50 МПа.

При этом должны быть соблюдены следующие требования:

– рациональные параметры элементов МСУ, предназначенных для формирования компактных высокоскоростных струй воды с длиной начального участка $l_n \geq 70d_0$, должны иметь следующие значения: $D/d_0 = 6 \div 10$, $l_3 = (4 \div 6)D$, $l_2 = (2 \div 4)D$ и $l_1 = (1,0 \div 1,7)D$;

– для подвода высоконапорной струи воды к устройствам рекомендуется применять трубопровод меньшего сечения с соотношением диаметров $D/d_1 = 1,4 \div 2,0$;

– в конструкциях устройств рекомендуется использовать насадки с двумя углами конусности. Длина второго конфузора должна быть не менее $(8 \div 10)d_0$ при угле $12 \dots 14^\circ$ (рис. 2);

– коэффициент поджатия потока в насадке должен составлять $K_n = 6 \div 10$.

Компактность водяных струй, длина начального участка и другие динамические и структурные характеристики водяных струй значительно зависят при прочих равных условиях от формы профиля и качества изготовления струеформирующей насадки. Выполненные в ННЦ ГП-ИГД им. А.А. Скочинского экспериментальные исследования [5] позволили установить, что конусно-цилиндрическая форма профиля проточной части насадки (рис. 1, поз. 5) с углом конусности $\alpha = 13 \dots 14^\circ$ и длиной

цилиндрической части $(3\div 4)d_0$ является наиболее рациональной, поскольку позволяет добиться наилучшего качества водяных струй.

Необходимость в ряде случаев размещения струеформирующих устройств в ограниченном пространстве, имеющемся для этих целей, например, на гидромеханических исполнительных органах, выдвигает задачу установления рациональных параметров конструкций насадок с уменьшенными линейными размерами.

В связи с этим в ННЦ ГП-ИГД им. А.А. Скочинского с целью существенного уменьшения длины насадки при условии сохранения высокой компактности струи разработаны профиль ее проточной части с двумя углами конусности и двухступенчатый профиль (рис. 4).

На рис. 4, а приведена схема двухконусной насадки, состоящей из переходного конфузора с углом конусности $30^\circ \geq \alpha > 14^\circ$ и основного конфузора ($\alpha_1 \leq 13-14^\circ$) с цилиндрическим участком на выходе. Рекомендуемые параметры про-

точной части струеформирующих насадок с двухступенчатым профилем (рис. 4, б) на давление воды до 250 МПа с выходным диаметром $d_0 = 0,4\div 0,8$ мм представлены в табл. 2.

Качество высокоскоростной струи воды, сформированной в малогабаритном струеформирующем устройстве, оценивается длиной ее начального участка l_n , который определяется по формуле

$$l_n = 0,214 d_0^{0,62} \cdot \left(\frac{P_0}{\rho} \right)^{-0,071} \cdot l_2 \cdot l_3^{0,41} \cdot d_1^{0,52} \cdot D^{-0,13},$$

где ρ – плотность воды, $\rho = 10^4$ Н/м³.

Для численной оценки компактности струй предложено пять уровней безразмерных значений l_n/d_0 длины начальных участков струи воды:

- некомпактные струи – $(l_n/d_0) \leq 30$;
- недостаточно компактные струи – $30 \leq (l_n/d_0) \leq 50$;
- компактные струи – $50 \leq (l_n/d_0) \leq 70$;
- весьма компактные струи – $70 \leq (l_n/d_0) \leq 90$;
- высококомпактные струи – $(l_n/d_0) > 90$.

Таблица 2

Рекомендуемые параметры струеформирующих насадок с двухступенчатым профилем

Параметры	Значения параметров		
Диаметр насадки d_0 , мм	0,4	0,6	0,8
Давление воды P_0 , МПа	70...250	70...250	70...250
Диаметр входа D , мм	6,0	6,0	6,0
Угол 1-й ступени α_1 , град.	30,0	45,0	60,0
Первый переходный диаметр D_{cp}/d_0	2,50	2,50	2,50
Длина первого цилиндра L_{cp}/d_0	5,0	3,33	2,50
Угол второй ступени α_2 , град.	12,0	12,0	12,0
Длина второго цилиндра L_0/d_0	4,0	4,0	4,0

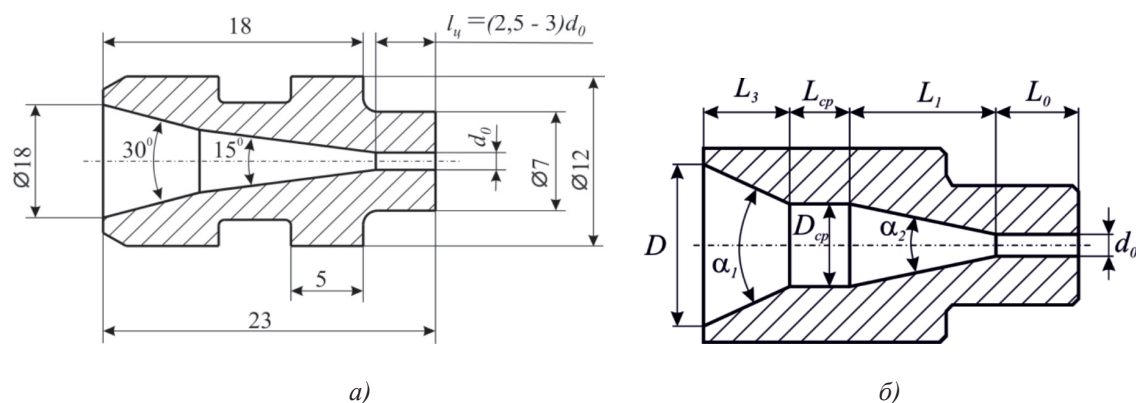


Рис. 4. Струеформирующие насадки для малогабаритных струеформирующих устройств: а – двухконусная; б – двухступенчатая

Одной из важнейших динамических характеристик высокоскоростных струй, определяющих их разрушающую способность, является безразмерное значение осевого динамического давления P_m в зоне контакта струи воды с разрушаемым массивом, которое можно определить с использованием зависимости

$$\frac{P_m}{P_0} = \left(\frac{l}{l_i} \right)^{\left[0,465 - 0,034 \left(\frac{l}{l_i} \right) + 0,0088 \left(\frac{l}{l_i} \right)^2 \right]}.$$

Диаметр струи воды D_c в зоне контакта с разрушаемым массивом на расстоянии l от насадки определяется по следующей формуле:

$$\frac{D_c}{d_0} = 0,85 \cdot \left(\frac{l}{l_i} \right)^{0,54} + 1,82.$$

Критерием оценки качества проектирования струеформирующего устройства являются расчетные значения длины начального участка формируемых струй и график изменения осевых динамических давлений по длине струи.

Геометрические параметры насадок с $d_0 = 0,4 \div 0,8$ мм, приведенные в табл. 2, получены при условии, что длина насадки постоянная ($L_H = \text{const}$). Параметры насадок следующего размерного ряда

с $d_0 = 1,0 \div 1,5$ мм могут быть определены с использованием безразмерных соотношений, также приведенных в табл. 2.

Использование разработанного инженерного метода расчета позволяет проектировать малогабаритные струеформирующие устройства гидромеханических проходческих и очистных комбайнов с учетом различных вариантов свободного пространства на исполнительных органах для их размещения.

Список литературы

1. Костарев А.П. О предупреждении взрывов метана и пыли и снижении взрывоопасности шахт // Уголь. – 2002. – № 1. – С. 57–62.
2. Линник Ю.Н., Мерзляков В.Г., Линник В.Ю. Прогнозная оценка условий безопасности ведения горных работ на шахтах в период до 2030 года. – ФГУП «Гипроцветмет» – «Маркшейдерский вестник», 2010. – № 5(79). – С. 12–17.
3. Мерзляков В.Г., Бафталовский В.Е. Физико-технические основы гидроструйных технологий в горном производстве. – М.: ННЦ ГПИ-ИГД им. А.А. Скочинского, 2004. – 645 с.
4. Мерзляков В.Г., Деревяшкин И.В. Гидромеханический способ разрушения горных пород и горные машины на его основе. – ФГУП «Гипроцветмет» – «Маркшейдерский вестник», 2014. – № 2(100). – С. 24–28.
5. Непецаев М.И., Любимова А.И., Петрухин П.М. и др. Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах. – М.: Недра, 1992. – 298 с.
6. Мерзляков В.Г., Бафталовский В.Е., Иванушкин А.В., Антипов В.В. Создание высоконапорных систем орошения для проходческих комбайнов избирательного действия. – М.: Из-во «Машиностроение» – «Горные машины и автоматика», 2002. – № 10. – С. 8–10.