

ВАКУУМНАЯ ОЧИСТКА КАНАЛИЗАЦИОННЫХ КОЛОДЦЕВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ ВЫХЛОПНОГО ГАЗА ТРАКТОРА

Касымбеков Ж. К.

VACUUM CLEANING OF SEWERAGE WELLS USING THE EXHAUST GAS ENERGY OF THE TRACTOR

Kassymbekov Zh. K.

Аннотация

Введение: изложены результаты разработки установки для вакуумной очистки канализационных колодцев и испытания ее в лабораторных и натурных условиях. В ней, в отличие от существующих способов, вакуумирование осуществляется за счет использования энергии выхлопного газа базового трактора с помощью эжекторного напорно-вакуумного устройства, устанавливаемого на выхлопной трубе. **Методы и материалы:** на основе испытания эжекторного устройства выявлено, что при малых значениях относительного перепада давлений, увеличение глубины всаса приводит к снижению коэффициента эжекции по воде, а при повышении перепада давлений, наоборот, значение коэффициента увеличивается. При стабильном режиме работы эжектора достигается нормализация степени эжекции отсасываемого газа, которая положительно влияет на всасывающую способность устройства по пульпе. Снижение степени сжатия особо не влияет на всасывающую способность эжектора. **Результат:** установлено, что предложенная конструкция работоспособна и может быть применена для очистки смотровых колодцев от песчано-гравелистых отложений крупностью до 10...15 мм со степенью очистки до 96–98 %.

Ключевые слова: смотровые колодцы, очистка, энергия выхлопного газа, вакуумно-эжекторная установка, испытание.

Введение

Эффективная и устойчивая работа водопроводной и канализационной сетей зависит от многих факторов, в том числе от регулярного проведения комплекса технических мероприятий, направленных на поддержание сооружений в работоспособном состоянии, включающих также очистку смотровых колодцев от наносов и посторонних предметов [1, 2].

Частое заиливание колодцев характерно на самотечных канализационных сетях с минимальными уклонами. Обязательной очистке подлежат преимущественно сооружения при заиленности их более на 30 % [3].

Abstract

Introduction: the article describes the results of the development of an installation for vacuum cleaning of sewage wells and testing it in laboratory and field conditions. In it, unlike the existing methods, evacuation is carried out by using the exhaust gas energy of the base tractor with the help of an ejector pressure-vacuum device installed on the exhaust pipe. **Methods and materials:** based on the test of the ejector device, it was found that for small values of the relative pressure drop, increasing the suction depth leads to a decrease in the water ejection coefficient, and when the pressure drop increases, the value of the coefficient increases. With a stable ejector operating mode, the ejection ratio of the suction gas is normalized, which positively affects the suction capacity of the device by the pulp. Reducing the compression ratio does not particularly affect the suction capacity of the ejector. **Results:** it is established that the proposed design is operable and can be used to clean manholes from sand-gravel deposits of fineness up to 10...15 mm with a degree of purification up to 96–98 %.

Keywords: inspection wells, cleaning, exhaust gas energy, vacuum-ejector unit, test.

Как показывает анализ, существующие способы очистки колодцев и специальные установки на базе автомашин преимущественно рассчитаны для больших объемов работ и они в составе имеют энергоемкие вакуумные насосы или механические приспособления [4–7].

В илососах на основе шасси КамАЗ управление всасывающей стрелой выполняется с помощью дистанционного пульта [5]. Такие машины имеют дополнительные емкости с водой, а также мощные насосы с высоким давлением, позволяющие струйно выполнять вымывание загрязнений.

Илососные машины компании MORO, предназначенные для вакуумной очистки колод-

цев, ливневой и канализационной сетей от ила и транспортировки его к месту выгрузки, производят все виды ассенизаторских работ, осуществляя откачку осадка, ила, сточных вод и жидких отходов из очистных сооружений и стационарных емкостей [6]. Выгрузка осадка осуществляется путем опрокидывания цистерны, которая отличается по принятому объему (от 4 до 20 м³).

На данный момент одной из прогрессивных машин является машина МОК-188, предназначенная для механизации трудоемких работ по очистке смотровых и дождевых колодцев глубиной до 4-х метров, повышения производительности труда и улучшения его условий [7]. Машина МОК-188 обеспечивает эффективную очистку смотровых и дождевых колодцев от наносных засорений (мусора, ила, песка, шлака и пр.). Объем грейферного ковша — 0,02 м³. Объем бункера для ила — 0,5 м³.

Новые экономические условия, особенно в сельских населенных пунктах, требуют наличия общедоступных и простых установок, пригодных для использования их собственными силами водопользователей без излишних энергозатрат.

Описание разработанной конструкции

Разработанная и освоенная на практике новая вакуумно-эжекторная установка (патент КЗ № 6394) на базе передвижного жижезбрасывателя ЗЖВ-3,2 проста в конструкции и в ней вакуумирование осуществляется за счет энергии вы-

хлопного газа базового трактора (рис. 1) без применения специального вакуумного насоса [8].

Основной отличительной особенностью установки является наличие рабочего органа в виде напорно-вакуумного устройства, которое устанавливается на выхлопной трубе трактора. При работе оно создает в цистерне (емкости) очистителя разрежение или избыточное давление за счет энергии выхлопных газов. Благодаря вакууму, образовавшемуся в цистерне, в нее засасывается пульпа из колодца. При этом рабочий насадок эжекторного устройства выполнен конфузорно-диффузорного типа с коноидальным переходом в месте сужения, а регулятор подачи выхлопного газа — в виде цилиндрического сосуда с коническим клапанным уплотнителем (рис. 2, а). Рабочий газ, выходящий из насадка в смесительную камеру с большой скоростью, через всасывающий патрубок и магистрали подкачивает и увлекает инжектируемый воздух из цистерны очистителя, а затем создает в нем разрежение-вакуум.

Устройство от существующих конструкций отличается исполнением рабочего сопла в виде конфузорно-диффузорного типа и конструкцией механизма регулирования.

Принцип действия заключается в следующем. При запуске в работу отработанные газы двигателя через выхлопную трубу подаются на сопло 2 напорно-вакуумного устройства. Рабочий газ, выходящий из указанного сопла в смеситель-

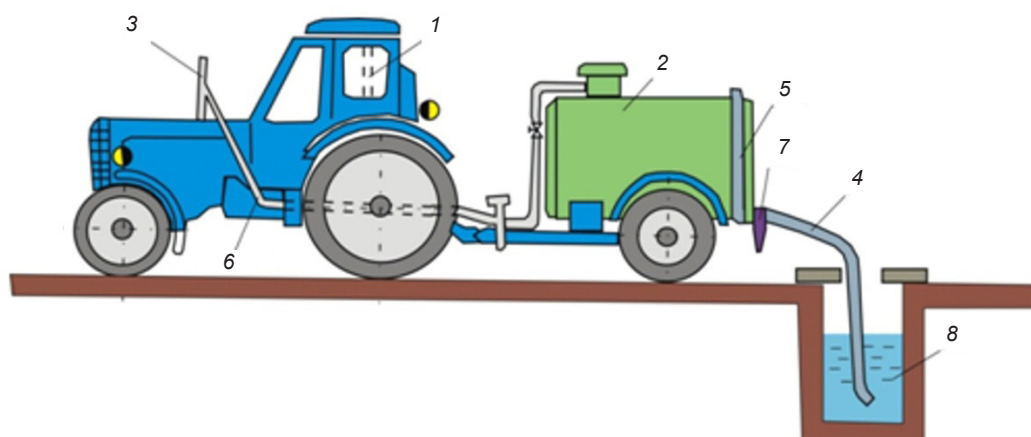


Рис. 1. Вакуумно-эжекторная установка для очистки смотровых колодцев на базе прицепного жижезбрасывателя: 1 — базовый трактор; 2 — цистерна с емкостью; 3 — напорно-вакуумное устройство; 4 — пульпотсасывающий шланг; 5 — ободок; 6 — соединительная труба; 7 — шланг для регулирования объема всасываемой пульпы; 8 — смотровой колодец

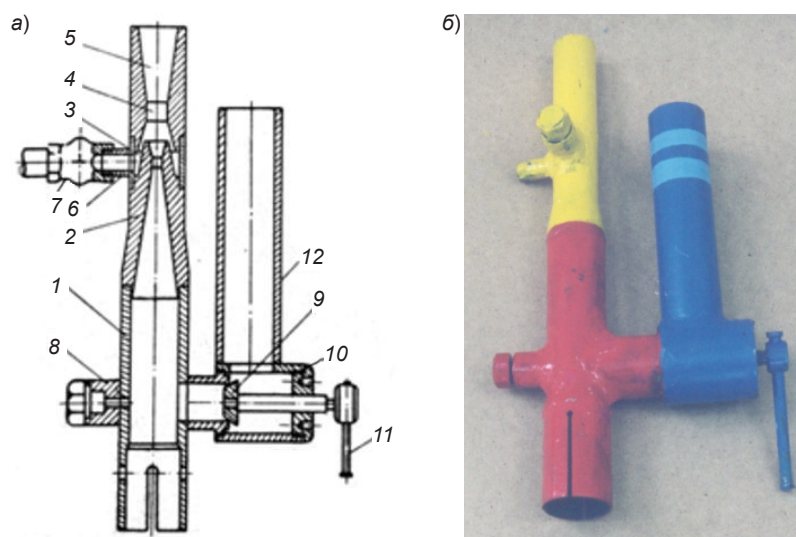


Рис. 2. Схема (а) и опытный образец (б) эжекторного напорно-вакуумного устройства: 1 — корпус; 2 — коническое сопло; 3 — приемная камера; 4 — смешительная камера; 5 — диффузор; 6 — патрубок; 7 — задвижка для соединения эжектора к магистрали очистителя; 9 — клапан; 10 — винт; 11 — ручка для регулировки давления выхлопного газа перед соплом; 12 — газоотводящий патрубок

ную камеру 4 с большой скоростью, через всасывающий патрубок 6 и магистраль подсасывает и увлекает инжeksiруемый воздух из цистерны очистителя и тем самым создает в нем разрежение-вакуум. За счет этого происходит всасывание пульпы из смотровых колодцев. Создание рационального режима исключает перегрев двигателя и сокращает потери его мощности, связанные с дополнительным сопротивлением на выходе выхлопных газов. По мере необходимости производится разгрузка выхлопной трубы трактора путем выпуска избыточного газа через клапан 9 и патрубок 12 в атмосферу. Регулировка давления перед рабочим соплом 2 производится ввинчиванием или вывинчиванием винта 10.

Контроль за наполнением цистерны пульпой осуществляется уровнемером и через смотровое окно визуально. Перемешивание водопесчаной пульпы в цистерне производится специальной мешалкой также за счет энергии выхлопных газов. Опорожнение цистерны осуществляется самотеком или с помощью напорно-вакуумного устройства.

Необходимость проверки основных положений теоретических выкладок, установление взаимосвязи между технологическими и конструктивными параметрами, определения рациональ-

ного режима работы разработанной установки с новым напорно-эжекторным устройством потребовала проведения опытов в лабораторных и производственных условиях. При этом особенности использования энергии выхлопных газов в различных целях были заимствованы из ранее выполненных работ по этому направлению [9–12].

Методы и результаты

Геометрические размеры испытываемых эжекторов в лаборатории изменялись в следующих пределах: общая длина $l = 490, 545, 630$ мм; расстояния от входного конца рабочего сопла до входной черты камеры смешения $l = 61, 89, 140$ мм, диаметр рабочего сопла $d_{PC} = 5; 7,5; 10$ мм, диаметр камеры смешения $d_{KC} = 20, 30$ мм. Геометрический параметр (соотношения площади поперечного сечения камеры смешения к площади поперечного сечения сопла) равнялся $m = 4,0; 7,11; 9,0; 16,0$, а глубина всаса — $1,0; 1,75; 2,5$ м.

Согласно рекомендациям предыдущих авторов [13–16], при критической степени расширения рабочего потока ($P_p/P_H^3 1/P_{XP*}$) основные размеры рабочего сопла (f_p, f_{p**}, f_{p1}) рассчитывались по тем же формулам, что и для струйных компрессоров. Это касается также расстояния сопла от камеры смешения l_c и длины камеры смешения l_k . Выявлено, что в рабочем сопле аппарата

при расчетном режиме происходит расширение рабочего потока от давления P_p перед соплом до давления P_H в приемной камере.

Для оценки работы устройства были приняты такие показатели, как коэффициенты эжекции по газу q_G , воде q_B и пульпе $q_{П}$, производительность по воде Q_B и по пульпе $Q_{П}$, относительный перепад давления $\Delta P_c / P_H$; степень расширения и степень сжатия. Здесь P_p — давление рабочего потока (у входа эжектора), МПа; P_H — давление инжектируемого потока, МПа; P_c — давление смешанного потока после диффузора, МПа.

Исходя из вышеизложенных положений, при принятых пределах глубины очищаемого колодца ($H_{гп} = 1,0; 1,75; 2,5$ м) и геометрического параметра ($m = 4,0; 7,11; 9,0; 16,0$), были определены расчетные характеристики исследуемого струйного эжектора. При этом коэффициенты эжекции принимались равными 0,5 и 1,0, а эжектируемой средой в первоначальном варианте — вода, а в последующих вариантах — пульпа. Установленные зависимости коэффициента эжекции или производительности от технологических параметров взаимодействующих потоков при заданных геометрических размерах проверялись при стендовых испытаниях эжекторного напорно-вакуумного устройства.

На рис. 3 приведены графические зависимости $\frac{\Delta P_c}{P_H} = f(q)$ при давлении рабочего потока $P_p = 0,4...0,7$ МПа, построенные по лабораторным данным.

Эти данные показывают идентичность изменения коэффициента эжекции при всех значениях P_p и высоты всасывания эжектора $H_{гп}$. Максимальное значение коэффициента инжекции по газу достигается при минимальных перепадах давления $\frac{P_c}{P_H}$, независимо от принятых параметров указанного режима работы. Графические зависимости в виде прямой линии отличаются друг от друга только угловыми коэффициентами. Причем чем выше значение P_p , тем круче проходит линия относительно оси абсцисс.

Изучением взаимосвязи давления рабочего потока P_p и коэффициента эжекции q_G установлено, что при значениях $P_p = 0,5...0,7$ МПа, $m = 4,0...16,0$ оно особо не отражается как на

функциональном изменении графиков, так и на численных значениях коэффициента эжекции.

Увеличение высоты всасывания $H_{гп}$ от относительного перепада давлений эжектора при различных геометрических параметрах 0,3 до 1,5 м требует некоторого повышения энергозатрат $\frac{\Delta P_c}{P_H}$ лишь при малых коэффициентах эжекции, а при работе в установившемся режиме, когда процесс эжекции проходит стабильно, влияние его на всасывающую способность устройства особо не заметно.

Рациональный режим работы эжекторного устройства при рассмотренных параметрах ($m = 4,0; 7,11; 16,0$) в первом приближении определяется областью треугольника на графиках, образованных пересечением прямых линий между собой. В других условиях требуется уточнение геометрических размеров эжектора исходя из необходимых технологических показателей, так как увеличение параметра до $m = 16,0$ и, следовательно, $q > 3,0...3,5$ приводит к работе установки в критическом режиме.

Установлено, что критическое значение эжектора с $m = 4,0$ достигается при $P_c = 0,15$ МПа. А увеличение параметра до $m = 7,11$ приводит к росту коэффициента эжекции $q_{ПР}$ до значения $q_{ПР} = 4,5$. Снижение степени сжатия в последнем случае, как и в первом, после установления $q_{ПР}$ не влияет на всасывающую способность эжектора (предельное состояние). Эти данные в определенной степени подтверждают вышеуказанное заключение о рациональном режиме работы эжектора в области полученного «треугольника».

Исследованиями установлено, что рациональному режиму работы эжектора соответствуют:

$$\begin{aligned} 1_c / d_c &= 8,0...11,0 \\ d_4 / d_c &= 6,0...8,0. \end{aligned} \quad (1)$$

Увеличение примеси воздуха в эжектируемой среде приводит к незначительному снижению коэффициента эжекции пульпы (твердого тела). При работе в производственных условиях этой разницей можно пренебречь, что позволяет произвести очистку колодца без большого заглубления всасывающего оголовка установки в водную среду с механическими примесями. Установленный возможный предел изменения КПД устройства при $m = 7,11$ колеблется до $h_v = 0,36$.

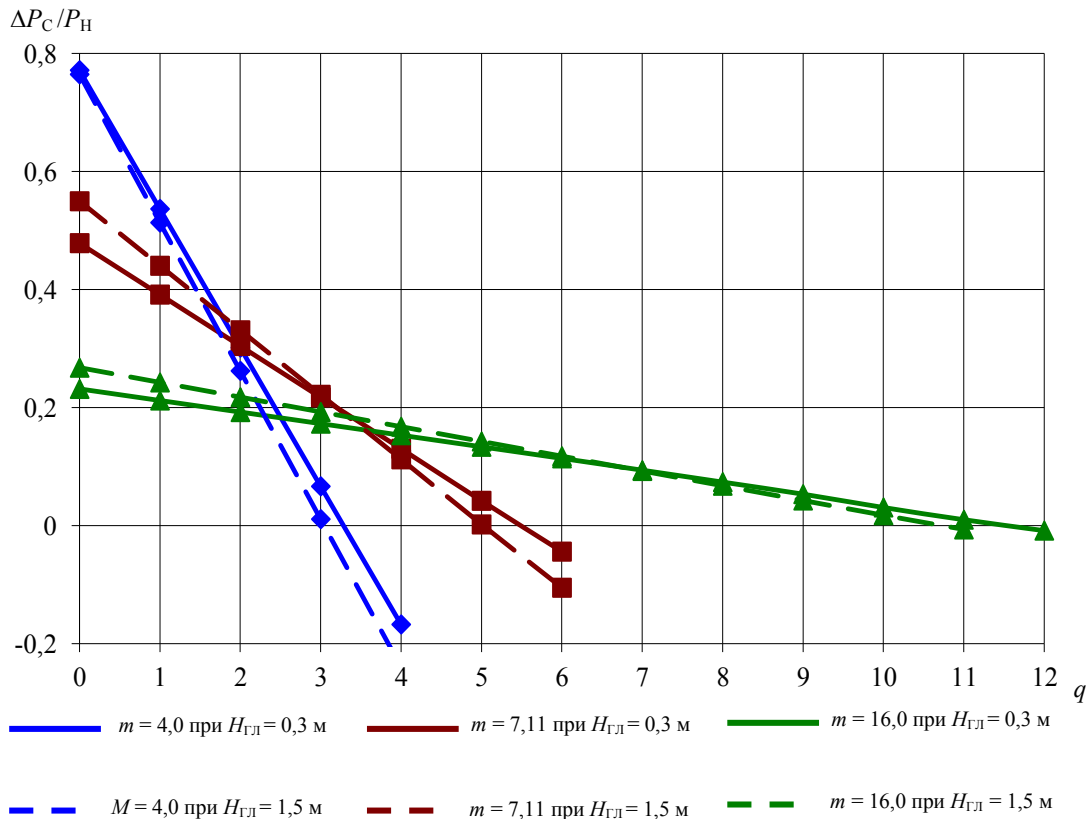


Рис. 3. Графические зависимости $P_c/P_n = f(q)$

При проведении производственных испытаний разрежение (вакуум) в цистерне очистителя измерялось вакуумметром точных измерений МВТП–160, класс точности 0,6. Объем поднятых наносов (V) определялся по данным фактических замеров на местах до и после очистки:

$$V = V_H - V_K, \text{ м}^3, \quad (2)$$

где V_H — начальный объем наносов в смотровом колодце, м^3 ; V_K — конечный объем наносов, м^3 .

$$V_H = h_H S_K - k_{\Pi} V_A, \text{ м}^3, \quad (3)$$

$$V_K = h_K S_K - k_{\Pi} V_A, \text{ м}^3, \quad (4)$$

где h_H — начальная толщина наносов, скопившихся в смотровом колодце (степень заиления), м; h_K — конечная толщина наносов, м; S_K — площадь поперечного сечения смотрового колодца, м^2 ; V_A — общий объем арматуры и водопроводных труб, находящихся в смотровом колодце, м^3 ; k_{Π} — коэффициент подтопления арматур и водопроводных труб.

В некоторых случаях производительность установки по грунту определялась объемным способом с помощью оттарированной емкости.

Общая производительность очистителя определялась по формуле

$$Q = \frac{V_H - V_K}{t}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (5)$$

где t — продолжительность работы очистителя, ч.

Высота наносов и глубина колодца измерялась мерной рейкой. Концентрация пульпы определялась путем отбора гидросмеси из всасывающего шланга, последующего фильтрования и взвешивания твердых частиц и жидкости (воды). Степень полноты очистки колодца достигалась повторением очистки. Время, затрачиваемое на выполнение рабочих операций, фиксировалась секундомером.

В производственных условиях колодец, глубиной 2,8 м, диаметром 1,0 м, и высотой гравийно-песчаных отложений 0,4 м, был очищен за 16 мин чистой работы вакуумного очистителя за три приема. При этом производительность установки по грунту (гравийно-песчаная смесь) составляла 1,3 $\text{м}^3/\text{ч}$. Следующий колодец с песчано-гравелистыми отложениями крупностью

до 25 мм, толщина которых составляла 0,5 м при глубине 3,2 м, был сухим, поэтому для преобразования отложений в гидросмесь добавлялась вода с объемом 0,5 м³. Очистка повторялась 6 раз и продолжалась 30 мин. Производительность установки по песчано-гравелистым отложениям составляла 0,8 м³/ч, а по гидросмеси — 6,6 м³/ч.

Как видно из вышеизложенного, производительность вакуумного очистителя зависит от плотности и твердости отложения, концентрации пульпы и глубины колодца. Процесс всасывания обеспечивается при вакууме более 0,04 кг/см². Некоторые полученные полевые данные приведены в табл. 1.

Таблица 1
Полевые данные по определению производительности установки в производственных условиях

№ п/п	Давление рабочее, P _р , МПа	Производительность установки			
		H _{гп} = 2,5 м		H _{гп} = 1,5 м	
		м ³ /ч	л/с	м ³ /ч	л/с
1	0,1	—	—	0,04	0,01
2	0,15	0,2	0,05	0,3	0,08
3	0,2	0,8	0,22	1,9	0,53
4	0,25	2,3	0,64	4,1	1,14
5	0,3	3,9	1,08	5,76	1,6

В целом испытания опытного образца показали, что предложенная конструкция работоспособна и может быть использована для очистки смотровых колодцев водопровода от песчано-гравелистых отложений крупностью до 10–15 мм. При этом вакуумирование позволяет очищать колодцы до 96–98 %, чего трудно достигнуть при очистке аналогичными очистителями.

Благодарности

Результаты работы включены в целевую программу Министерства образования и науки Республики Казахстан «Создание основ серийного производства казахстанских источников возобновляемой энергии мирового уровня» (BR 05236263, НАН РК).

Литература

1. Алексеев, М. И., Ермолин, Ю. А. (2010). Надежность систем водоотведения. СПб.: СПбГАСУ, 165 с.
2. Дрозд, Г. Я. (1997). Повышение эксплуатационной долговечности и экологической безопасности канализаци-

онных сетей. Донбасская гос. академия строительства и архитектуры.

3. Минрегион России (2012). СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. М.: Росстандарт, 91 с.
4. Zenitov, N. A. (2000). Mashiny i oborudovaniya dlya soderzhaniya kanalizatsionnykh i vodostochnykh setey. Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika, № 9, ss. 17–22.
5. (2003). Sovremennyye kommunalnye mashiny dlya soderzhaniya vodostochnykh i kanalizatsionnykh setey. Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika, № 2, s. 16.
6. Mashiny dlya vakuumnoy oчитки smotrovyykh kolodtsev (2009). [online] Dostupno po sсылке: <https://vektorpro.ru/catalog> [дата обращения 17.02.2018].
7. Mashina dlya oчитки smotrovyykh i doждевyykh kolodtsev МОК–188 (2017). [online] Dostupno po sсылке: <http://www.oborudunion.ru/mashina-dlya-oчитki-smotrovyyh-i-doждevyyh-kolodtsev-mok-188-999800836> [дата обращения 17.02.2018].
8. Kасымбеков, Ж. К. (2003). Gидроциклонно-эжекторные технологии подъема воды и oчитки сооружений сельскохозйственного водоснабжения. Тараз.
9. Solov'ev, A. (2012). Ispol'zovanie energiyi vykhlopnyykh gazov v silovykh gazovykh turbinakh. [online] Dostupno po sсылке: http://www.magistrblog.ru/view_post.php?id=787 [дата обращения 17.02.2018].
10. Kургинян, А. (2014). Энергия выхлопных газов. [online] Dostupno po sсылке: <http://trial-news.ru/zdorovie/energiya-vykhlopnuyh-gazov/> [дата обращения 11.03.2018].
11. Vахитов, Ю. Р. (2012). Агрегаты наддува двигателей. Уфа: УГАТУ, 158 с.
12. Kолчин, А. И., Демидов, В. П. (2008). Расчет автомобильных и тракторных двигателей. М.: Высшая школа, 496 с.
13. Iсаев, С. В. (2013). Процесс эжекции и смешения потоков газа в аппаратах циклонного типа. Санкт-Петербург.
14. Lagutkin, M. G., Iсаев, С. В. (2012). Расчет параметров работы вихревого эжектора. В: XXV Международная научная конференция «Математические методы в технике и технологиях». Волгоград: ВолгГТУ, сс. 29–30.
15. Seitasanov, I. S. (2014) Issledovanie zakрученnoгo techeniya v gidроэлеваторах. Молодой ученый, № 1, сс. 116–119.
16. Сыченков, В. А., Панченко, В. И., Халиулин, Р. Р. (2014). Исследование многофазных эжекторов. Вісник НТУ «ХП», № 13 (1056), сс.72–76.

References

1. Alekseev, M. I., Ermolin, Yu. A. (2010). Nadezhnost' sistem vodootvedeniya [Reliability of water disposal systems]. SPb.: SPbGASU, 165 p. (in Russian).
2. Drozd, G. Ya. (1997). Povyshenie ehkspluatatsionnoj dolgovечnosti i ehkologicheskoy bezopasnosti kanalizatsionnykh setey [Increase of operational durability and ecological safety of sewer networks]. Donbasskaya gos. akademiya stroitel'stva i arhitektury. (in Russian).
3. Minregion Rossii (2012). SP 32.13330.2012. Kanalizatsiya. Naruzhnye seti i sooruzheniya [Sewerage. External networks and facilities]. M.: Rosstandart, 91 p. (in Russian).
4. Zenitov, N. A. (2000). Mashiny i oborudovaniya dlya soderzhaniya kanalizatsionnykh i vodostochnykh setey [Machines and equipment for the maintenance of sewer and drainage

networks]. Water Supply and Sanitary Technique, № 9, pp. 17–22. (in Russian).

5. (2003). Sovremennyye kommunal'nye mashiny dlya sodержaniya vodostochnyh i kanalizacionnyh setej [Modern communal machines for the maintenance of drainage and sewage networks]. Vodospabzheniya i sanitarnaya tekhnika, № 2, p. 16. (in Russian).

6. Mashiny dlya vakuumnoj ochistki smotrovyyh kolodcev [Machines for vacuum cleaning of inspection wells] (2009). [online] Available at: <https://vektormpo.ru/catalog> [accessed on 17.02.2018]. (in Russian).

7. Mashina dlya ochistki smotrovyyh i dozhdnykh kolodcev MOK-188 [The machine for cleaning inspection and rainwater wells MOK-188] (2017). [online] Available at: <http://www.oborudunion.ru/mashina-dlya-ochistki-smotrovyyh-i-dozhdnykh-kolodcev-mok-188-999800836> [accessed on 17.02.2018]. (in Russian).

8. Kasymbekov, Zh. K. (2003). Gidrociklonno-ehzhektornyye tekhnologii pod»ema vody i ochistki sooruzhenij sel'skohozyajstvennogo vodospabzheniya [Hydrocyclone-ejector technologies for water lifting and cleaning of agricultural water supply facilities]. Taraz. (in Russian).

9. Soloviev, A. (2012). Ispol'zovanie ehnergii vyhlopnyyh gazov v silovykh gazovykh turbinah [Use of energy of exhaust gases in power gas turbines.]. Available at: http://www.magistrblog.ru/view_post.php?id=787 [accessed on 17.02.2018]. (in Russian).

10. Kurginyan, A. (2014) Energiya vyhlopnyyh gazov [Energy of exhaust gases]. Available at: <http://trial-news.ru/zdorovie/energiya-vyhlopnyyh-gazov/> [accessed on 11.03.2018]. (in Russian).

11. Vahitov, Yu. R. (2012). Agregaty nadduva dvigatelej [Units of supercharging engines: a training manual]. Ufa: UGATU, 158 p. (in Russian).

12. Kolchin, A. I., Demidov, V. P. (2008). Raschet avtomobil'nyh i traktornykh dvigatelej [Calculation of automobile and tractor engines]. M.: Vysshaya shkola, 496 p. (in Russian).

13. Isaev, S. V. (2013). Process ehzhekcii i smesheniya potokov gaza v apparatah ciklonnogo tipa [The process of ejection and mixing of gas flows in a cyclone type apparatus]. Sankt-Peterburg. (in Russian).

14. Lagutkin, M. G., Isaev, S. V. (2012). Raschet parametrov raboty vihrevogo ehzhektora [Calculation of the parameters of the vortex ejector]. In: XXV Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya "Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyah". Volgograd: VolgGTU, pp. 29–30. (in Russian).

15. Sejtasanov, I. S. (2014) Issledovanie zakruchennogo techeniya v gidroehlevatorah [Investigation of swirling flow in hydroelevators]. Molodoj uchenyj, № 1, pp. 116–119. (in Russian).

16. Sychenkov, V. A., Panchenko, V. I., Haliulin, R. R. (2014). Issledovanie mnogofaznykh ehzhektorov [Investigation of multiphase ejectors]. Visnik NTU «HPI», № 13(1056), pp. 72–76. (in Russian).

Автор

Касымбеков Жужбай Кожабиевич, д-р техн. наук
Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева
E-mail: jkk2004@mail.ru

Author

Kassymbekov Zhuzbay Kozhabaevich, Doctor of Engineering
Kazakh National Research Technical University after K. I. Satpayev
E-mail: jkk2004@mail.ru