

17. URL :<http://khd2.narod.ru/gratis/solbat.htm>(data obrashcheniya19.12.2019).
18. URL :http://www.leonics.com/support/article2_12j/articles2_12j_en.php(data obrashcheniya19.12.2019).
19. URL :<https://www.farpost.ru/vladivostok/home/electro/solnechnaja-batareja-silasolar-300vt-dolikrystallicheskaja-58396482.html>(data obrashcheniya19.12.2019)
20. Gramuzov, Ye.M. Analiz tekhniko-ekonomicheskikh pokazateley zashchity korpusnykh konstruktivnykh isudovotkorrozii / Ye.M. Gramuzov, A.V. Rod'kina, O.A. Ivanova // Vestnik Volzhskoy gosudarstvennoy akademii vodnogo transporta. – N. Novgorod: Izd-vo FGBOU VO «VGUVT». 2019. Vypusk 60. S. 77–90.

УДК 550.83

DOI: 10.34046/aumsuomt93/22

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТИРОВКИ ГАЗА ОТ КОМПРЕССОРА ДО ПНЕВМОИСТОЧНИКА

*Б.А. Штефан, доктор технических наук, профессор
И.С. Катрюк, кандидат технических наук, доцент
В.Н. Таламанов, кандидат технических наук, доцент
Г.Л. Козенкова, доцент*

Рассматриваются некоторые характеристики движения газа с дозвуковой скоростью по рукаву высокого давления от судовой компрессорной установки до пневматического источника. Приводится численное интегрирование системы уравнений движения газа в длинном трубопроводе методом характеристик и аналитическое решение линеаризованных уравнений неустановившегося движения газа.

Ключевые слова. Воздушный ресивер, рукав высокого давления, транспортировка газа, пневматический источник.

Some aspects of gas transmission with subsonic speed inside a high-pressure sleeve from a shipboard compressor unit to an air-gun were considered. A numerical integration of a set of equations of gas flow inside a long pipe by the method of characteristics and an analytical of linearized equations of unsteady gas flow were provide.

Keywords. Air receiver, high – pressure, gas transmission, air-gan.

Необходимость увеличения сырьевых ресурсов требует поиска и разведки новых месторождений полезных ископаемых и в первую очередь нефтегазовых. Решение этой проблемы связывается с открытием залежей в шельфовых зонах морей, а также глубоко залегающих перспективных комплексов осадочного чехла Мирового океана.

Расширение области применения геофизических методов вызывает необходимость разработки новых и совершенствования существующих методов морских сейсмических исследований, позволяющих получить достоверную информацию о строении среды в сложных геологических условиях. Поэтому особенно актуальным является решение задач, стоящих перед морской нефтяной геофизикой, требующих постоянного совершенствования методики и технологии работ, разработки и внедрения новейшей сейсмо-разведочной аппаратуры.

Теоретический анализ упругих волн, возбуждаемых источником в водном полупространстве, позволяет уточнить физические представления о происходящих в нем процессах, установить

зависимости между формируемым сейсмическим импульсом и конструктивными параметрами источника, сделать теоретические оценки отдельных характеристик, чтобы найти его оптимальные параметры. В целом анализ позволяет правильно ориентировать конструкторские разработки и методику использования источников, оценивать влияние каждого узла на оптимальную схему разрабатываемых источников.

При срабатывании источника в водной среде образуется расширяющаяся газовая полость, близкая к сферической [М.И. Балашканд, 1972]. Исходя из этого, для количественных расчетных оценок происходящих процессов достаточно использовать зависимости, полученные при решении задачи о расширении и пульсации сферической газовой полости в жидкости [Р. Коул, 1950; К. А. Наугольных и Н. А. Рой, 1971].

Рассматривая практическую задачу о выхлопе сжатого воздуха, необходимо принимать во внимание то, что из рабочего объема источника в расширяющуюся полость происходит переток сжатого воздуха, а это приводит к расхождению

между экспериментальными и расчетными данными. Однако их сопоставление позволяет уточнить связь между параметрами упругого сигнала и конструкцией источника.

Повышение эффективности геофизических методов разведки является главной задачей обеспечения страны нефтью и газом. Поэтому решение сложных задач, стоящих перед морской нефтяной геофизикой, требует постоянного совершенствования методики и технологии работ, разработки новейшей сейсморазведочной аппаратуры. Важным фактором в деле повышения эффективности морских геолого-геофизических исследований является применение более совершенных источников упругих волн.

Разработка морских источников нового поколения требует постановки и решения большого круга задач, в частности, оценки эффективности различных типов источников, изучения параметров, связывающих характеристики волнового поля с характеристиками источника, теоретического анализа различных схем источников и многих других.

Вышесказанное требует развития и усовершенствования теоретических методов исследования

динамических задач для жидкостного пространства с заглубленными источниками различных типов.

Теоретическое описание процесса формирования упругого сигнала в воде приведено в ряде работ [1-4]. Однако анализ транспортировки газа авторами этих работ не учитывался, хотя это является немаловажным фактором, так как зная время наполнения источника воздухом до рабочего давления, можно организовать работы таким образом, чтобы сейсморазведочное судно двигалось с оптимальной скоростью между интервалами срабатывания источника.

Определение расхода воздуха в системе ресивер-пневматический источник.

Рассмотрим движение газа с дозвуковой скоростью по рукаву высокого давления от судовой компрессорной установки до источника по схеме, приведенной на рисунке.

Процесс становившегося движения газа по длинному цилиндрическому трубопроводу при адиабатном и изотермическом течениях подробно рассмотрен в работе [В.Н. Погорелов, 1971].

Однако движение газа в пневматической установке, пренебрегая волновыми процессами, будем рассматривать как неустановившееся.

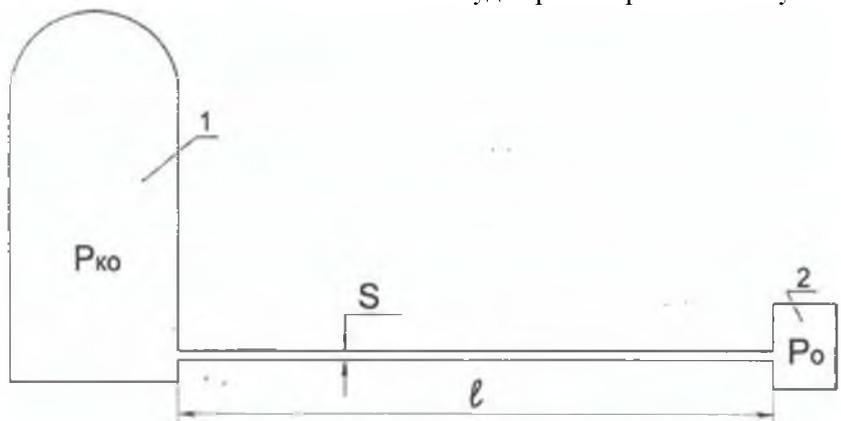


Рисунок 1 – К определению расхода воздуха в системе: 1 - воздушный ресивер; 2 - источник пневматический; S - сечение рукава высокого давления; l - длина рукава высокого давления

Пренебрегая изменением давления, соответствующим изменению скоростного напора [Н.А. Чарный, 1961; Г.Н. Абрамович, 1969], составим уравнение движения:

$$\begin{cases} -\frac{\Delta P}{\Delta x} = \frac{\Delta(\rho W)}{\Delta t} + \frac{\lambda}{8\delta} |W|(\rho W) \\ -\frac{\Delta P}{\Delta t} = C^2 \frac{\Delta(\rho W)}{\Delta x} \end{cases}, \quad (1)$$

где P – давление газа;

W – скорость газа;

ρ – плотность газа;

δ – гидравлический радиус рукава высокого давления;

λ – безразмерная характеристика гидравлического сопротивления, функция размера, формы и шероховатости рукава высокого давления;

C – удельная теплоемкость газа.

Для того, чтобы замкнуть систему уравнений (1), необходимо добавить уравнение состояния идеального газа:

$$P/p = RT \quad (2)$$

где R – универсальная газовая постоянная, равная 8,314 Дж/(К моль);

T - абсолютная температура газа, равная

273,15 К, и уравнение притока тепла при политропном термодинамическом процессе, в котором удельная теплоемкость газа постоянна, т.е. $C = \text{const}$:

$$C^2 = n(P/p) \quad (3)$$

где $n = (C - C_p)/(C - C_v)$ - показатель политропы.

Считаем, что температура газа вдоль рукава высокого давления постоянна, следовательно, движение газа в системе будет изотермическим ($n=1$), тогда

$$P/p = C^2 = \text{const}.$$

С учетом этого запишем систему уравнений движения газа в длинном трубопроводе с дозвуковой скоростью течения, состоящую из трех уравнений для трех неизвестных функций P , p , W :

$$\begin{cases} -\frac{\Delta P}{\Delta x} = \frac{\Delta(\rho W)}{\Delta t} + \frac{\lambda}{8\delta} |W|(\rho W) \\ -\frac{\Delta P}{\Delta t} = C^2 \frac{\Delta(\rho W)}{\Delta x} \\ \frac{P}{\rho} = C^2 = \text{const}. \end{cases} \quad (4)$$

Введем граничные и начальные условия.

Рассматривая неустановившийся процесс транспортировки газа, следует допустить, что до момента времени $t=0$ движение газа отсутствовало, т.е. P и W для $t \leq 0$ не зависел от времени.

Начальные условия будут:

$$W = W(x)P = P(x) \quad \text{при } t \leq 0, \quad 0 < x < l, \quad (5)$$

где l - длина рукава высокого давления.

Граничные условия определяются характером возмущений потока на границе рукава высокого давления. В общем случае они представляют собой две заданные функциональные зависимости от времени при $x=0$, $t > 0$, $P=P_0$.

Выведем граничное условие для конца рукава $x=l$, где подключен пневмоисточник с объемом рабочей камеры V_k ,

$P|_{x=l} = P_k$, по уравнению состояния:

$$P_k = \frac{RT}{V_{kg}} G, \quad (6)$$

где G - весовое количество газа в рабочей камере источника.

Возьмем производную по времени от обеих частей уравнения (6):

$$\frac{\Delta P_k}{\Delta t} = \frac{RT}{V_{kg}} \cdot \frac{\Delta G}{\Delta t} \quad (7)$$

Весовое количество газа в рабочей камере

источника $G = G_1 + G_2$,

где G_1 - приток газа в камеру, а G_2 - отток газа из камеры в единицу времени, $G_1 = gS(\rho W)$, где S - площадь поперечного сечения рукава высокого давления.

Таким образом можно записать

$$\frac{\Delta P_k}{\Delta t} = \frac{RT}{V_{kg}} S(\rho W) - \frac{RT}{V_{kg}} \cdot G_2.$$

Учитывая систему уравнений (1), найдем:

$$(\rho W) + \frac{V_k}{S} \cdot \frac{\Delta(\rho W)}{\Delta x} = \frac{C^2}{gS} \cdot G_2, \quad (8)$$

являющееся искомым граничным условием на конце рукава высокого давления при $x=l$.

Задача численного интегрирования уравнений методом характеристик

Проведем численное интегрирование системы уравнений (4) методом характеристик, получившим широкое распространение в задачах механики сплошной среды и в газовой динамике [Д.Ю. Панов, 1949; Н.С. Березин, Н.П. Жидков, 1960].

Для этого перепишем систему уравнений

(1) в виде:

$$\begin{cases} -\frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{\Delta}{\Delta x} (\rho W) \\ -\frac{\Delta P}{\Delta x} = \frac{\Delta}{\Delta t} (\rho W) + \frac{\lambda}{8\delta c^2} (\rho W) |W|, \end{cases} \quad (9)$$

где $\frac{\lambda}{8\delta} = \frac{\lambda}{2d}$

Введем обозначения

$$\begin{cases} P = -F'_x \\ (\rho W) = \xi = F'_t, \end{cases} \quad (10)$$

где F'_x, F'_t - соответствующие частные производные некоторой функции.

Считая, что F'_{xt}, F'_{tx} , из (9) и (10) получим гиперболическое уравнение:

$$C^2 F''_{xx} - F''_{tt} = (-\lambda/2d) \cdot (F'_t/F'_x) F'_t. \quad (11)$$

Метод характеристик дает

$$C^2 dt^2 - dx^2 = 0 \quad (12)$$

Интегрируя уравнение (12) в предположении, что $C = \text{const}$, найдем:

$$\begin{cases} x = Ct - \text{прямая характеристика} \\ x = -Ct - \text{обратная характеристика} \end{cases} \quad (13)$$

$$dP + \frac{d\xi}{c} + dx \frac{\lambda}{2d} \cdot \frac{1\xi}{PC^2} = 0 \quad (14)$$

$$dP - \frac{d\xi}{c} + dx \frac{\lambda}{2d} \cdot \frac{1\xi}{PC^2} = 0. \quad (15)$$

Уравнения (14) и (15) - соответственно уравнения вдоль прямой и обратной характеристики.

Переходя в данных уравнениях от дифференциалов к конечным разностям, найдем:

$$(P_3 - P_1) + \frac{1}{c} (\xi_3 - \xi_1) + \frac{\lambda}{2dc^2} \cdot \frac{I\xi_1 I\xi_1}{P_1} (x_3 - x_1) = 0, \tag{16}$$

$$(P_3 - P_1) - \frac{1}{c} (\xi_3 - \xi_2) + \frac{\lambda}{2dc^2} \cdot \frac{I\xi_2 I\xi_2}{P_2} (x_3 - x_2) = 0, \tag{17}$$

Решив эту систему уравнений относительно P_3 и ξ_3 будем иметь:

$$P_3 = \frac{1}{2} \{P_1 + P_2 - C_1 (\xi_2 - \xi_1) - C_2 \left[\frac{I\xi_1 I\xi_1}{P_1} (x_3 - x_1) + \frac{I\xi_2 I\xi_2}{P_2} (x_3 - x_2) \right]\},$$

$$\xi_3 = \frac{1}{2C_1} \{P_1 - P_2 + C_1 (\xi_1 - \xi_2) + C_2 \left[\frac{I\xi_2 I\xi_2}{P_2} (x_3 - x_2) - \frac{I\xi_1 I\xi_1}{P_1} (x_3 - x_1) \right]\},$$

где $C_1 = \frac{1}{c}$, $C_2 = \frac{\lambda}{2dc^2}$.

Для рассматриваемого случая начальные условия будут $t \leq 0$,

$$0 < x < l, W = 0, P = P_0;$$

Граничные условия при $t > 0$:

$$x = 0, P = P_0,$$

$$x = l, \xi + \frac{v_k}{s} \cdot \frac{\Delta \xi}{\Delta x} = \frac{c^2}{qs} G_2, \tag{18}$$

где G_2 - находится из уравнений (8) и (10),

$$G_2 = \varepsilon \ln \sqrt{2q \frac{k}{k+1} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{2/(k-1)}} \gamma_k P_k.$$

Уравнение (18) также переписывается в разностном виде и используется совместно с уравнением вдоль прямой характеристики (16) в соответствующих граничных точках. Таким образом, находятся значения P и (ρW) . При изотермическом течении газа

$$W = (\rho W) C^2 / P.$$

Рассчитаем работу сил трения и к.п.д. рукава высокого давления.

Работа сил трения на участке в единицу времени есть [А.Н. Богомолов, К.А. Михайлов, 1965]

$$A = \pi d \xi W dx,$$

где $\xi = (\lambda/8)\rho W^2$ - касательное напряжение сил трения.

Полная работа сил трения за время T равна:

$$A = \int_0^1 \int_0^T \frac{\lambda}{8} \pi d \rho W^3 dx dt = \frac{\lambda}{8} \pi d C^4 \int_0^1 \int_0^T \frac{(\rho W)^3}{P^2} dx dt. \tag{19}$$

Коэффициент полезного действия рукава высокого давления запишется в виде

$$\eta = \frac{V}{V+A}, \tag{20}$$

где $V = \frac{1}{k-1} (P_0 - P_{ko}) V_k$ полезная энергия, сообщаемая пневматическому источнику в течение одного цикла наполнения, начиная с давления P_{ko} и до давления P_0 .

Аналитическое решение линеаризованных уравнений неуставившегося движения газа

Уравнения (1) не линейны и аналитическое решение возможно только в случае их линеаризации. Для дозвуковых скоростей течения газа известно несколько таких способов, изложенных в работах [Н.А. Чарный, 1961; Г.Н. Абрамович, 1969].

Принимаем $\frac{\lambda}{2a} \overline{W} = 2a$, где $\overline{W} = \frac{1}{T} \int_0^T W(t) dt$ - среднее по времени значение скорости газа на любом участке рукава высокого давления, которое использовалось при численном интегрировании уравнения (19).

Линеаризованные уравнения (1) принимают вид

$$\begin{cases} -\frac{\Delta P}{\Delta x} = \frac{\Delta(\rho W)}{\Delta t} + 2a(\rho W) \\ -\frac{\Delta P}{\Delta t} = C^2 \frac{\Delta(\rho W)}{\Delta x}. \end{cases} \tag{21}$$

Нелинейный член $\frac{\lambda}{8\delta} (\rho W)|W|$ уравнения (1) заменен на $2a(\rho W)$.

Ищем решение системы уравнений (21) при следующих начальных и граничных условиях.

Начальные условия $t \leq 0$, $0 < x < l$ зададим в виде

$$\begin{cases} \frac{\Delta P}{\Delta x} - \delta(x - l)(P_0 - P_{ko}), \\ (\rho W)(x) = 0 \end{cases} \tag{22}$$

где P_{ko} - давление в рабочей камере источника в начальный момент.

Граничные условия с использованием уравнения (18), когда оттока нет и $G_2 = 0$:

$$\begin{cases} x = 0, P = P^0 \\ x = l, \\ (\rho W) + \frac{v_k}{s} \cdot \frac{\Delta(\rho W)}{\Delta x} = 0. \end{cases} \tag{23}$$

Будем искать решение уравнения

$$\frac{\Delta^2(\rho W)}{\Delta t^2} + 2a \frac{\Delta(\rho W)}{\Delta t} = C^2 \frac{\Delta^2(\rho W)}{\Delta x^2}, \tag{24}$$

которое получается из исходной системы (21)

исключением Р.

Начальные условия:

$$\begin{cases} (\rho W) = 0 \\ \frac{\Delta(\rho W)}{\Delta t} = \delta(x - \ell)(P_0 - P_{ko}) \end{cases} \quad (25)$$

Второе условие системы (25) получается из (22) с учетом системы уравнений (21).

Граничные условия:

$$\begin{cases} x = 0, P = P_0 \\ x = \ell, (\rho W) + \frac{V_k}{S} \cdot \frac{\Delta(\rho W)}{\Delta x} = 0, \end{cases} \quad (26)$$

где $h = V_k/S$.

Применяя метод Фурье, найдем:

$$(\rho W) = (P_0 - P_{ko})e^{-at} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{\gamma_j}{b_j} (\cos \mu_j x \cdot \cos \mu_j \ell \cdot \sin bt), \quad (27)$$

где μ_j - суть корни уравнения.

$$\cos \mu_j \ell - \mu h \sin \mu_j \ell = 0; \quad b_j = \sqrt{\mu_j^2 c^2 - a^2} \quad (28)$$

$$\gamma_j = \frac{2(1 + h^2 \mu_j^2)}{h + \ell(1 + h^2 \mu_j^2)}$$

$$P(xt) = P_0 - (P_0 - P_{ko})e^{-at} \sum_{j=1}^{\infty} \gamma_j (b_j \cdot \mu_j \cdot \cos \mu_j \cdot \ell \cdot \sin \mu_j \cdot x(a \cdot \sin b_j t + b_j \cos t))$$

Полученные выражения позволяют с помощью формул (19) и (20) оценить к.п.д. рукава высокого давления.

Расчет работы силы трения при квазиустановившемся изотермическом режиме течения газа

Запишем работу сил трения за единицу времени в виде [А.Н. Богомолов и др., 1965]

$$A = \zeta x \ell V, \quad (29)$$

где ζ – удельная сила трения;

x – периметр;

ℓ – длина рукава высокого давления;

V – установившаяся по всей длине рукава для данного момента t скорость.

Сила трения в турбулентном потоке может быть записана в виде

$$\zeta = \gamma \frac{\psi}{4} \cdot \frac{v^2}{2q}, \quad (30)$$

где γ – удельный вес газа;

ψ – коэффициент Дарси.

Перепишывая уравнение (29) для рукава

круглого сечения диаметром d , найдем:

$$A = \pi d \ell \zeta V. \quad (31)$$

По формуле (Дарси) имеем:

$$P_0 - P_k = \psi \frac{\ell}{d} \cdot \gamma \frac{v^2}{2q} = 4\zeta \frac{\ell}{d}, \quad (32)$$

где P_0 – давление в начальном сечении рукава;
 P_k – давление в конечном сечении рукава, равное давлению газа в рабочей камере пневмоисточника.

Уравнение Клайперона – Менделеева состояния газа в рабочей камере пневмоисточника запишется в виде:

$$P_k = \frac{G_k}{V_k} RT, \quad (33)$$

где G_k – весовое количество газа в рабочей камере источника;

V_k – объем рабочей камеры.

Так как весовой расход газа G_k в рукаве высокого давления в единицу времени равен скорости изменения весового количества газа в рабочей камере источника, то можно записать:

$$\frac{dG_k}{dt} = G. \quad (34)$$

Учитывая формулу (8), запишем:

$$\frac{G}{S} = \sqrt{\frac{(P_0^2 - P_k^2)g}{\left(\psi \left(\frac{\ell}{d}\right) + 2 \ln \left(\frac{P_0}{P_k}\right)\right)RT}}. \quad (35)$$

При наличии местных сопротивлений приведенная длина $\psi(\ell/d)$ перейдет в $\psi(\ell/d) + \xi_j$, берется из таблиц [В.С. Яблоновский, 1961]

Учитывая формулы (33) и (34), найдем:

$$\frac{dP_k}{dt} = G \frac{RT}{V_k} = \frac{RT}{V_k} S \sqrt{\frac{((P_0^2 - P_k^2)g)}{\left(\psi \left(\frac{\ell}{d}\right) + 2 \ln \left(\frac{P_0}{P_k}\right)\right)RT}}. \quad (36)$$

Известно, что в длинных газопроводах при дозвуковых скоростях течение газа

$\psi(\ell/d) \gg 2 \ln(P_0/P_k)$, поэтому, отбрасывая $2 \ln(P_0/P_k)$ и интегрируя уравнение (36), получим:

$$P_k = P_0 \sin(\omega t + B), \quad (37)$$

где

$$\omega = \frac{S}{V_k} \sqrt{\frac{RTg}{\psi \left(\frac{\ell}{d}\right)}}; \quad (38)$$

Учитывая (32) и (37), можно определить удельную силу трения ζ .

Так как расход газа вдоль рукава постоянен ($G = V\gamma S = \text{const}$), то

$$(V_k / RT) \cdot (dP/dT) = G = V\gamma S. \quad (40)$$

Из этого уравнения найдем V:

$$V = \frac{V_k}{S} \cdot \frac{1}{P} \cdot \frac{dP}{dt}. \quad (41)$$

Теперь задача об определении работы силы трения в единицу времени решена:

$$A = \pi d \ell \zeta V = P_0 V_k \omega c t q (\omega t + B) [1 - \sin(\omega t + B)]. \quad (42)$$

Или за время заполнения источника до рабочего давления:

$$A = P_0 V_k \int_B^{\pi/2} (ctg\varphi - \cos\varphi) d\varphi \quad (43)$$

где $\varphi = \omega t + B$.

Выполняя интегрирование, найдем:

$$A = P_0 V_k \left(\frac{P_k}{P_0} - \ln \frac{P_k}{P_0} - 1 \right). \quad (44)$$

Учитывая, что потенциальная энергия рабочего объема источника со сжатым газом, находящимся под давлением P, есть PV/(k - 1), где k = C_p / C_v, получим выражение для к.п.д.:

$$\eta = \frac{1 - \left(\frac{P_k}{P_0}\right)}{(k-1) \ln \left(\frac{P_k}{P_0}\right) + (2-k) \left(1 - \frac{P_k}{P_0}\right)}. \quad (45)$$

Во всем предыдущем расчете существенную роль играло предположение о мгновенном установлении скорости по длине рукава высокого давления. Это позволяло получать достаточно простую формулу для к.п.д., где он не зависит от начального и конечного значений давлений и не зависит от других параметров процесса. Все прочие параметры (V_k, ℓ, d) определяют время заполнения пневматического источника T₀, равное

$$T_0 = \pi / 2\omega, \quad (46)$$

где ω определяется формулой (38)

Таким образом, зная время заполнения пневматического источника сжатым газом до рабочего давления, можно определить оптимальную скорость движения сейсморазведочного судна по профилю с максимальной суточной производительностью.

Кроме того, важным фактором является планирование плотности пунктов взрыва и приема сейсмических колебаний, которые располагаются, например, через 50 м при проведении геофизических работ на акваториях.

Рассмотрим два примера.

1. При заполнении источника сжатым газом за 25 с. скорость движения судна по профилю составит 2м/с, что соответствует 4 узлам или 7,4 км/ч.

При круглосуточной работе судно могло бы проходить около 178 км.

2. При заполнении источника за 35 с. скорость движения судна по профилю будет 1,43 м/с, что составляет 2,86 узла или 5,3 км/ч.

В этом случае судно может пройти за сутки только 127 км.

В первом случае при прочих равных условиях суточная производительность на 51 км больше по сравнению со вторым.

Рассматривая оба случая, можно заключить, что такая высокая производительность никогда не достигается, так как сейсморазведочное судно, буксирующее приемное устройство, вследствие течений и ветрового сноса никогда не движется точно по расчетному профилю.

Поэтому, планируя работы, необходимо заранее знать плотность измерений, объем используемых пневмоисточников, количество и мощность установленных на судне компрессоров.

Литература

1. Морская сейсморазведка (Текст)/М.И. Балашканд и др. – М.: ООО Геоинформмарк, 2004.– 237 с.
2. Гуленко В.И. Технологии морской сейсморазведки на предельном мелководье и в транзитной зоне (Текст)/ В.И. Гуленко, Б.В. Шумский.– Краснодар: КубГУ, 2007.– 111 с.
3. Бондарев В.Н Сейсморазведка: учебник для вузов: В 3 кн. Кн. 2.– Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 2006.
4. Штефан Б.А. Пневмогидравлические источники для морской сейсморазведки и сейсмоакустики: монография.– Геленджик: ГП НИПИ океангеофизика, 2008.– 144 с.
5. Каракаев А.Б., Хекерт Е.В., Луканин А.В. Разработка методологии, методов и моделей анализа влияния различных вариантов построения структуры и режимов поддержания и восстановления работоспособности судовых электроэнергетических систем (Часть 2) // Эксплуатация морского транспорта.– 2016.– № 4 (81)– С. 85-95.
6. Астерин В.В., Хекерт Е.В. Принципы координации подсистем судна для предупреждения столкновений // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова.– 2013.– № 2 (21)– С. 13-22.
7. Studenikin D.E., Khekert E.V., Modina M.A. [Estimation of vessel's movement with the aid of fuzzy logic based hierarchy systems \(in english\)](#). [Модские интеллектуальные технологии](#). 2018. Т. 1. № 1 (39). С. 205-208.
8. Кондратьев С.И., Печников А.Н., Хекерт Е.В. Эргономический подход к оцениванию деятельности судовых специалистов: суть проблемы и

подход к ее решению//Морские интеллектуальные технологии.– 2018.– № 4-4 (42).– С. 166-174.

References

1. Morskaya sejsmorazvedka (Tekst)/M.I. Balashkand i dr. – М.: ООО Geoinformmark, 2004.– 237 s.
2. Gulenko V.I. Tekhnologii morskoy sejsmorazvedki na predel'nom melkovod'e i v tranzitnoj zone (Tekst)/ V.I. Gulenko, B.V. SHumskij. Krasnodar: KubGU, 2007. 111 s.
3. Bondarev V.N Sejsmorazvedka: Uchebnik dlya vuzov: V 3 kn. Kn. 2. Ekaterinburg: Izd-vo UGGU, 2006.
4. SHtefan B.A. Pnevmodravlicheskie istochniki dlya morskoy sejsmorazvedki i sejsmoakustiki. Monografiya, Gelendzhik. GP NIPi okeangeofizika. 2008. 144 s.
5. Karakaev A.B., Hekert E.V., Lukanin A.V. Razrabotka metodologii, metodov i modelej analiza vliyaniya razlichnykh variantov postroeniya struktury i rezhimov podderzhaniya i vosstanovleniya rabotosposobnosti sudovykh elektroenergeticheskikh sistem (CHast' 2) / Eksploatatsiya morskogo transporta. – 2016.– № 4 (81).– S. 85-95.
6. Studenikin D.E., Khekert E.V., Modina M.A. Estimation of vessel's movement with the aid of fuzzy logic based hierarchy systems (in english). Morskije intelektual'nye tekhnologii.– 2018.– T. 1.– № 1 (39).– S. 205-208.
7. Asterin V.V., Hekert E.V. Principy koordinacii podsystem sudna dlya preduprezhdeniya stolkovenij // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova.– 2013.– № 2 (21).– S. 13-22
8. Kondrat'ev S.I., Pechnikov A.N., Hekert E.V. Ergonomicheskij podhod k ocenivaniyu deyatelnosti sudovykh specialistov: sut' problemy i podhod k ee resheniyu//Morskije intelektual'nye tekhnologii.– 2018.– № 4-4 (42).– S. 166-174.

УДК 629.12-8

DOI: 10.34046/aumsuomt93/23

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ИНДИКАТОРА ДЛЯ СУДОВЫХ ЧЕТЫРЁХТАКТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ И ДВС БЕРЕГОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

А.Г.Таранин, кандидат технических наук

Данная статья освещает следующие задачи: Правильное использование электронного индикатора во время индицирования четырёхтактных двигателей внутреннего сгорания; правильный перенос результатов индицирования и диаграмм на ПК; корректировка ВМТ индикаторной диаграммы и правильный расчёт выходных параметров индицирования, таких как P_{MI} –средне–индикаторное давление, P_{ME} –средне–эффективное давление, N_{IND} –индикаторная мощность и N_{EFF} –эффективная мощность для каждого цилиндра и двигателя в целом.

Ключевые слова: Индицирование двигателя, параметры индицирования, электронный индикатор, средне–индикаторное и средне–эффективное давление, индикаторная и эффективная мощность.

The present publication illuminate the tasks as follows: Electronic indicator proper usage at four–stroke internal combustion engines (diesel engines) indication; Indication results & diagram proper transfer to PC; indicator diagram top dead center TDC correction and engine performance data output values such as P_{MI} –mean indicated pressure, P_{ME} –mean effective pressure, N_{IND} –indicated power and N_{EFF} –effective power proper calculations for each cylinder and engine total.

Keywords: Engine indication, performance data, electronic indicator, mean–indicated pressure, mean–effective pressure, indicated power, effective power.

Introduction

Currently on the worldwide fleet motor–vessels and shore diesel power plants for internal combustion engines–diesel engines indication and performance data measurement readings carrying–out the

micro–processing gauging and systems, such as Doctor–Engine, Diesel–Doctor and Electronic indicators (different kind of brands and manufacturers) are used in most of cases. However, actually they are not car-