РАЗДЕЛ III. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Арефьев Н.Н.¹, Казаков В.А.², Матвеев Ю.И.¹

**Методика расчета потребляемой мощности рыхлителем шнековой
грунтонасосной установки при заборе илистых грунтов**

¹ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта»
(Россия, Нижний Новгород)

²Горный институт НИТУ МИСИС
(Россия, Москва)

doi:10.18411/sciencepublic-12-07-2019-04

idsp: sciencepublic-12-07-2019-04

В настоящее время одним из эффективных средств для подводной разработки илистых грунтов являются земснаряды, оснащенные шнековыми грунтонасосными установками [1, 2, 3]. Известно, что энергетическая эффективность земснарядов повышается с увеличением концентрации засасываемой водогрунтовой смеси. При разработке илистых грунтов шнековыми грунтонасосными установками забираемый со дна ил вообще не разбавляется водой – забирается естественной влажности, поэтому достигается высокая эффективность. Разновидностью илистых грунтов является сапропель – это пресноводный ил, включающий органические соединения не менее 15%. Запасы сапропеля составляют в России не менее 230 млрд. м³. Сапропель широко используется в сельском хозяйстве, медицине, ветеринарии, промышленности строительных материалов. Кроме того, при добыче сапропеля очищаются и возвращаются к жизни отмирающие озера. Поэтому исследование шнековых грунтонасосных установок является актуальной задачей.

Схема шнековой грунтонасосной установки, включающей конический рыхлительный и нагнетательный цилиндрический шнеки, установленные на одном валу [4, 5], приведена на рис. 1, где: 1 – нагнетательный цилиндрический шнек; 2 – конический рыхлительный шнек; 3 – ребра направляющего аппарата, 4, 5 – подшипниковый узел; 6 – насос для подачи воды на смазку подшипника и наружной поверхности ступицы нагнетательного шнека; 7 – корпус; 8 – приводной вал; 9 – вал конического шнека; 10 – опора приводного вала; 11 – опора вала конического шнека.

Для проектирования, изготовления и эксплуатации перспективных шнековых грунтонасосных установок необходимо разработать математические модели, описывающие отделение грунта от донного массива предвключенным коническим рыхлительным шнеком, обеспечивающим загрузку шнекового нагнетателя. При этом рыхлительный шнек должен обеспечить подачу не менее подачи грунтонасосной установки. Требуется также рассчитать мощность, потребляемую рыхлительным шнеком. Схема конического рыхлительного шнека, размещенного в скрепере, приведена на рис. 2.

В качестве геометрических расчетных параметров можно принять (рис. 2): D и d – наружные диаметры соответственно большего и меньшего оснований нарезки шнека; d_1 и d_2 – диаметры соответственно меньшего и большего оснований ступицы; $D_{\text{ш}} = (D+d)/2$ – средний диаметр нарезки шнека; $d_{\text{ст}} = (d_1+d_2)/2$ – средний диаметр ступицы, D_c – диаметр скрепера.

Рис. 1. Схема шнековой грунтонасосной установки

Рис. 2. Схема конического рыхлительного шнека

Мощность на резание грунта N_p . Грунт отрезается от донного массива торцевой частью грунтозаборного шнека. Усилия резания (рис. 3) для элементарного участка ножа можно определить в соответствии с исследованиями [6, 7, 8] для составляющих, действующих по касательной dP_τ и нормали dP_N к траектории движения ножа в данной точке, по формулам, Н:

$$dP_\tau = (k'_4 \delta_c + k'_5 t_n) dr ; \quad (1)$$

$$dP_N = [k'_4 \delta_c \operatorname{ctg}(\gamma_n + \mu) - k'_5 t_n \operatorname{ctg}(\gamma_3 + \mu)] dr , \quad (2)$$

где k'_4 и k'_5 - приведенное удельное сопротивление грунта соответственно сдвигу и смятию, Н/м²;

δ_c - толщина срезаемой ножом стружки грунта в данной точке ножа, м;

t_n - толщина сминаемого ножом слоя грунта, равная толщине затупленной режущей кромки ножа, м;

dr - длина элементарного участка режущей кромки ножа, м;

μ - угол внешнего трения грунта;

γ_n - передний угол резания;

γ_3 - угол наклона площадки износа задней поверхности ножа к траектории его движения.

Согласно работе [9] значения k'_4 и k'_5 можно определить по выражениям:

$$k'_4 = k_4 \frac{\cos \varphi_{mp} \sin(\gamma_n + \mu)}{\cos^2 \left(\frac{\gamma_n + \mu + \varphi_{mp}}{2} \right)} ;$$

$$k'_5 = k_5 \frac{\sin(\gamma_3 + \mu)}{\cos \mu} ,$$

где k_4, k_5 – удельное сопротивление грунта соответственно сдвигу и смятию, Н/м²;
 φ_{mp} – угол внутреннего трения грунта.

Момент резания шнека M_p определяется по выражению, Н·м

$$M_p = z \int_{\frac{d_1}{2}}^{\frac{D}{2}} r dP_r, \quad (3)$$

где z – число лопастей шнека.

Мощность, затрачиваемая на резание грунта, определяется по известному выражению, Вт: $N_p = M_p \cdot \omega$, где ω – угловая скорость вращения шнека, с⁻¹. Тогда после интегрирования (3) с учетом (1), получим

$$N_p = \frac{1}{8} z (k'_4 \delta_c + k'_5 t_n) (D^2 - d_1^2) \omega.$$

Рис. 3. Схема сил резания грунта затупленным ножом

Нормальное усилие P_N , действующее на режущий торец шнека, определится с учетом (2)

$$P_N = z \int_{d_1/2}^{D/2} dP_N = \frac{1}{2} z (D - d_1) [k'_4 \delta_c \operatorname{ctg}(\gamma_n + \mu) - k'_5 t_n \operatorname{ctg}(\gamma_3 + \mu)].$$

Для шнековых рыхлителей можно принять $\gamma_n = \varphi$, где φ – угол подъема винтовой поверхности шнека на среднем диаметре нарезки на входе в шнек $(D + d_1)/2$. При этом следует учесть, что в соответствии с исследованиями [6] оптимальное значение $\gamma_n = 20 - 30^\circ$, при этом должно выполняться условие $\gamma_n \leq \mu$, а угол заточки ножа $\beta = 15 - 20^\circ$. Угол наклона площадки износа задней поверхности ножа к траектории его движения принимается в расчетах в соответствии с исследованиями [10] равным $\gamma_3 = 17 - 25^\circ$. Угол внешнего трения μ для сапропеля в соответствии с исследованиями [11] зависит от его плотности, на основании чего для плотности до 1063 кг/м³ в расчетах можно принять для скольжения по неокрашенному металлу $\mu = 40^\circ$. Угол внутреннего трения сапропеля φ_{mp} в соответствии с исследованиями [12] зависит от его влажности и может быть определен по выражению, град:

$$\varphi_{mp} = \frac{32,5}{1 + \frac{W}{100}},$$

где W – массовая влажность сапропеля, %.

Значение W определяется в соответствии с [12, 13] по выражению:

$$W = \frac{m_6}{m_{св}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где $m_6, m_{св}$ – массы соответственно воды и сухого вещества в пробе грунта.

В то же время существует понятие относительной влажности W_o , которая определяется из соотношения

$$W_o = \frac{m_e}{m_e + m_{св}} \cdot 100\%. \quad (5)$$

Значения влажностей в соответствии с (4) и (5) находятся в следующей зависимости:

$$W_o = \frac{W}{1 + \frac{W}{100}} \quad \text{или} \quad W = \frac{W_o}{1 - \frac{W_o}{100}}.$$

Удельное сопротивление сапропеля сдвигу k_4 и смятию k_5 определим в соответствии с исследованиями [12] по выражениям, МПа:

$$k_4 = 0,31 - 0,328 \frac{W}{100 + W};$$

$$k_5 = 25 k_4.$$

Толщину срезаемой ножом стружки грунта δ_c в данной точке ножа определим с учетом скорости перемещения земснаряда по станковому канату в процессе грунтозабора и частоты вращения шнека, м:

$$\delta_c = \frac{v_{cm}}{nz} \cos \alpha,$$

где v_{cm} – скорость перемещения земснаряда вдоль траншеи, м/с;

n – частота вращения грунтозаборного шнека, с⁻¹;

α – угол наклона оси шнека к горизонту.

При этом скорость v_{cm} можно определить по выражению

$$v_{cm} = \frac{4Q_n}{\pi D_c^2 \cos \alpha},$$

где Q_n – подача шнекового насоса, м³/с;

D_c – диаметр грунтоприемного отверстия скрепера, м.

Мощность на создание осевого потока грунта N_{on} . После отделения грунта от массива он разгоняется рыхлительным шнеком до скорости v_{on} входа в направляющий аппарат перед нагнетательным шнеком. На это расходуется мощность, которую можно определить по выражению, Вт

$$N_{on} = \rho \frac{v_{on}^2}{2} Q_n,$$

где ρ – плотность отделенного от массива илистого грунта, кг/м³.

Скорость осевого потока определяется с учетом производительности шнекового насоса и площади входного сечения перед ним, м/с:

$$v_{on} = \frac{4Q_n}{\pi(D_{em}^2 - D_{cm}^2)\psi},$$

где D_{em} , D_{cm} – диаметры соответственно втулки и ступицы нагнетательного шнека, м;

ψ – коэффициент стеснения входа в насос ребрами направляющего аппарата.

Значение ψ можно определить по формуле

$$\psi = 1 - \frac{2kb}{\pi(D_{em} + D_{cm})},$$

где k , b – соответственно количество и толщина, м, ребер направляющего аппарата.

Мощность на разрушение структуры грунта. Энергия, затрачиваемая на разрушение структуры отделенного от массива грунта, зависит от его состояния (жидкообразное, текучее или пластичное), от его дисперсного состава, от количественного отношения органических веществ к минеральным, от степени его переработки [14, 15, 16, 17]. Затраты мощности на вязкое течение определяют по выражению [16]: $N = N_m + \Delta N$, где N_m - мощность течения системы с ньютоновской вязкостью, ΔN - мощность разрушения структуры системы. Как показывают исследования [16] илистые грунты, обладающие высокой тиксотропией, достигают ньютоновской вязкости при градиенте скорости сдвига 5000 с^{-1} и выше. Испытания [16], проведенные при скорости 1312 с^{-1} (частота вращения 12535 об/мин), показали, что эффективная вязкость дисперсий грунта снижается только после нескольких часов обработки. Аналогичные результаты были получены при исследовании торфа [14]: значения предельного напряжения сдвига при влажности торфа 92% снизились после одной переработки на 1%, при влажности 91% - на 2%, при влажности 90% - на 7%. Следовательно, при переработке дисперсий илистого грунта разрушение их структуры происходит медленно, в течение длительного времени. Учитывая, что время взаимодействия рыхлительного шнека с грунтом не превышает нескольких секунд, можно предположить, что значением мощности на разрушение структуры грунта можно пренебречь.

Мощность на трение грунта о поверхности рыхлителя. В соответствии с исследованиями [2] затраты мощности на преодоление сил трения грунта о поверхности рыхлителя пропорциональны давлению, создаваемому им. Так как величина давления, создаваемого рыхлительным шнеком, незначительна, то мощностью на трение грунта можно пренебречь.

Суммарная мощность рыхлителя $N_{ш}$. Суммарную мощность, потребляемую шнековым рыхлителем, можно определить как сумму всех рассмотренных выше мощностей по формуле

$$N_{ш} = m \cdot (N_p + N_{on}),$$

где m - коэффициент запаса мощности ($m = 1,15 - 1,25$).

Разработанная методика расчета применялась при проектировании шнековых грунтонасосных установок земснарядов для добычи сапропеля проектов 6000, 44.001, 258СШ, построенных на ОАО «Завод Нижегородский теплоход», ОАО «Судоремонтный завод «Память Парижской Коммуны» и ООО «Октябрьский ССРЗ-НН» и показала высокую сходимость с практическими результатами.

1. Арефьев Н.Н. Движение илистых грунтов в каналах шнековых грунтонасосных установок землесосных снарядов: Монография. – Н.Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2017. 146 с.
2. Арефьев Н.Н. Научное обоснование технических решений и разработка на их основе средств повышения эффективности судовых энергетических установок землесосных снарядов. / Дисс. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук. – Н. Новгород, 2011. 390 с.
3. Арефьев Н.Н. Новые конструкции технологического оборудования плавучих установок для очистки водоемов. Научн. ж-л Российского НИИ проблем мелиорации, №2(10), 2013. http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb13-rec185-field6.pdf.
4. Патент РФ на изобретение № 2014401 «Грунтозаборное устройство земснаряда». Бюл. № 11, 15.06.94. (Автор Арефьев Н.Н.).
5. Патент РФ на изобретение № 2351714 «Грунтозаборное устройство земснаряда». Бюл. № 10, 10.04.2004. (Автор Арефьев Н.Н.).
6. Зеленин А. Н. Основы разрушения грунтов механическими способами. – М.: Машиностроение. 1968. 376 с.
7. Иванов В. А. К расчету усилий, возникающих при работе фрезерных разрыхлителей.// Научн.тр./ ГИИВТ, 1970. Вып. 110. С. 8 – 16.
8. Огородников С. П. Гидромеханизация разработки грунтов. – М.: Стройиздат, 1986. 255 с.
9. Огородников С. П. Некоторые вопросы теории подводной разработки грунтов. // В сб.: Гидромеханизация при разработке тяжелых грунтов. – М.: ЦНИИСТРОМ, 1968. С. 9 – 41.
10. Иванов В. А., Лукин Н.В., Разживин С. Н. Суда технического флота. – М.: Транспорт, 1982. 366 с.

11. Бакшеев В.Н. Механизация добычи и использования сапропеля в животноводстве. Дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. – Новосибирск, 1987. 215 с.
12. Амарян Л. С. Свойства слабых грунтов и методы их изучения. – М.: Недра, 1990. 220 с.
13. Зеленин А. Н., Баловнев В. И., Керов И. П. Машины для земляных работ (основы теории разрушения грунтов, моделирования процессов, прогнозирование параметров). М.: Машиностроение, 1975. 424 с.
14. Воларович М.П., Марков С.Н. Исследование изменения предельного напряжения сдвига торфа в процессе его переработки. // Торфяна промышленность. 1951. №10. С. 23-24.
15. Косаревич И.В. Структурообразование в дисперсиях сапропелей. Мн.: Наука и техника, 1990. 248 с.
16. Косаревич И.В., Битюков Н.Н., Шмавонянц В.Ш. Сапропелевые буровые растворы / Под ред. И.И. Лиштвана. Мн.: Наука и техника, 1987. 191 с.
17. Штин С.М. Озерные сапропели и их комплексное освоение. М.: Изд-во МГГУ, 2005. 372 с.

Асланов З.Ю., Мамедова Гю.А.

**Определения оптимального уровня качества и конкурентоспособности
машиностроительной продукции**

*Азербайджанский Государственный Экономический Университет UNEC
(Азербайджан, Баку)*

doi:10.18411/sciencepublic-12-07-2019-05

idsp: sciencepublic-12-07-2019-05

Аннотация

Рассмотрены особенности методов определения оптимального уровня качества и конкурентоспособности машиностроительной продукции. С использованием экспертных методов получены уравнение регрессии для оценки конкурентоспособности изделий нефтяного машиностроения с учетом технического, эксплуатационного и экономического уровней качества. Выведены формулы для оценки оптимальных уровней качества и выявлены характерные зависимости показателей качества машиностроительной продукции. С использованием теории оценивания и рейтинговых методов получена формула для определения интегрированного рейтинга СК.

Ключевые слова: оптимальный уровень качества, конкурентоспособность, машиностроительная продукция, экспертные методы, уравнение регрессии, интегрированный рейтинг

Abstract

Features of methods of definition of an optimum level of quality and competitiveness of machine-building production are considered. With use of expert methods are received the regression equation for an assessment of competitiveness of products of oil mechanical engineering taking into account technical, operational and economic levels of quality. Formulas for an assessment of optimum levels of quality are deduced and characteristic dependences of indicators of quality of machine-building production are revealed. With use of the theory of estimation and rating methods the formula for definition of the integrated rating of SK is received.

Keywords: an optimum level of quality, competitiveness, machine-building production, expert methods, the regression equation, the integrated rating

Введение. При определении оптимального уровня качества машиностроительной продукции решающую роль играет избранный метод оценки. В советский период в оценке качества применялся народнохозяйственный подход [1]. Создана была теоретическая основа измерения и разработаны различные методы оценки, что позволило создать реально применимые методы оценки качества промышленной продукции [2]. Практическую основу всех методов составляют дифференциальный, комплексный и смешанный методы [3, 4].