НАУЧНЫЕ РАБОТЫ

Московская государственная академия водного транспорта (МГАВТ)

70
И.И. Гордеев. **Воздействие движения судов на дно и берега канала, гидродинамическое взаимодействие судов и причальных сооружений**

74
В.Т. Коломейцев. **К расчету винтовых якорных систем плавучих буровых установок**

Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций (СПГУВК)

79
Е. Г. Барщевский, Ю. Я. Зубарев. **Особенности влияния полупроводниковых преобразователей на работу автоматизированных судовых электроэнергетических установок**

Волжская государственная академия водного транспорта (ВГАВТ)

81
Алексей Воробьев. **Обоснование и этапы разработки финансового ресурсного потенциала предприятий внутреннего водного транспорта**

85
В.В. Цверов. **Научные подходы к решению практических задач организации бункеровки судов нефтепродуктами на внутренних водных путях**

Новосибирская государственная академия водного транспорта (НГАВТ)

89
М.К. Романченко, Ю.П. Савинов. **Определение эффективности динамических гасителей колебаний**

УЧРЕЖДЕНИЕ: Московская государственная академия водного транспорта (МГАВТ)

ТЕМА: Воздействие движения судов на дно и берега канала, гидродинамическое взаимодействие судов и причальных сооружений

АВТОР: И.И. ГОРДЕЕВ, доцент кафедры «Судовождение»

АННОТАЦИЯ: В статье рассмотрены процессы, возникающие при движении судов по каналам и маневрировании у гидротехнических сооружений. Приведенные материалы могут быть полезны при расчетах ослабления структуры грунта и назначении укрепляющих конструкций

Как причальные сооружения, так и берега судоходных каналов находятся под постоянным воздействием со стороны проходящих судов и судов, осуществляющих различные маневры непосредственно вблизи причальных сооружений. Последствиями такого воздействия являются навалы различной тяжести, возникновение фильтрационных явлений под причальными сооружениями, волновое воздействие на коммуникации, проложенные на дне, выпоры грунта, явление суффозии, перемещение донных отложений.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОХОДЯЩИХ СУДОВ И ПРИЧАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Суда, проходящие на небольшом расстоянии от причального сооружения (рис. 1), вступают в гидродинамическое взаимодействие с ними, заключающееся в возникновении понижения уровня воды между судном и причальным сооружением большим, чем с наружного борта судна. Это обстоятельство приводит к возможности навалов судна на сооружение, возникновению фильтрационных явлений под сооружением и т. п.

На рис. 2А схематически показаны: величина понижения уровня воды Δh_1 при l_1 около сплошной стенки и величина Δh_2 при l_2 для берегов уреза.

На рисунке видно, что величина Δh зависит от расстояния от судна до сооружения (берега) и глубины h.

Поэтому при расчетах величины понижения Δh для сквозных причалов необходимо определять величины Δh_i для устоев при l_1 и берегового уреза при l_2.

В этом случае на причальной линии будет иметь место волновая поверхность. Результирующая средняя величина $\Delta h_{ср}$ может определяться по формуле:

$$\Delta h_{ср} = \frac{\Delta h_1 B_у n + \Delta h_2 B_б m}{B_у n + B_б m}, \qquad (1)$$

где: n – число отрезков $B_у$; m – число отрезков $B_б$.

На рис. 2Б представлена схема воздействия на ошвартованное к причальной стенке судно эффекта гидродинамического взаимодействия проходящего судна.

В этом случае при возникновении понижения уровня воды Δh возникает крен судна под углом Θ и просадка судна на величину Δh_i, эквивалентная понижению уровня воды непосредственно около судна. Величина Δh для схемы рис. 2Б должна определяться при $l=(l_1-B_c)$. Величина растягивающих усилий на швартовых определяется как сумма составляющей водоизмещения судна при просадке судна на величину Δh:

$$\alpha_{вл}\gamma B_c L_c \Delta h_i = P_1, \qquad (2)$$

где: $\alpha_{вл}$ – коэффициент полноты ватерлинии, составляющая веса судна при крене на угол Θ.

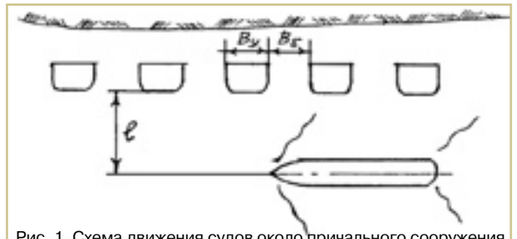

Рис. 1. Схема движения судов около причального сооружения

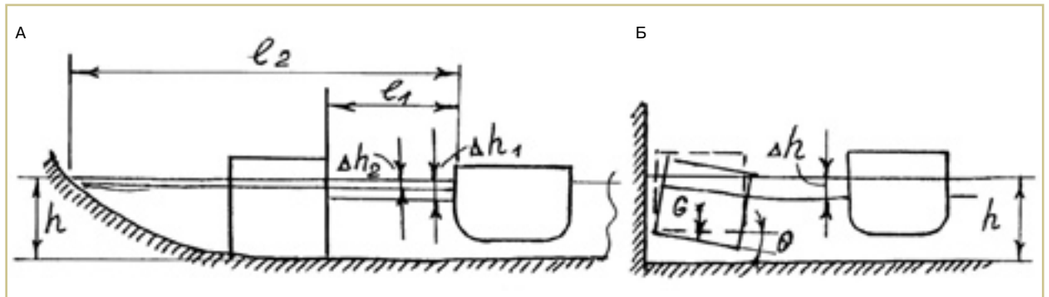

Рис. 2. Понижение уровня воды при гидродинамическом взаимодействии между судном и причальными сооружениями (А); взаимодействие понижения Δh на ошвартованное судно (Б)

$$G_c \sin\theta = P_2.$$

$$P_\Sigma = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 - 2P_1P_2\cos(\widehat{P_1P_2})}, \qquad (3)$$

Если угол $(\widehat{P_1P_2})$ менее 90°, что чаще всего будет иметь место, то учитывая, что

$$(\widehat{P_1P_2}) = 90^0 - \theta,$$

имеем:

$$\cos(\widehat{P_1P_2}) = \cos(90^9 - \theta) =$$

$$= \cos 90^0 \cos\theta + \sin 90^0 \sin\theta = +\sin\theta.$$

Подставляя это выражение в (2), получаем:

$$P_\Sigma = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 - 2P_1P_2\sin\theta}. \qquad (4)$$

Причальные сооружения находятся под постоянными гидродинамическими нагрузками при подходе судов на швартовку и при отходе их от причалов. Здесь особенно необходимо обращать внимание на береговые примыкания к причальным линиям.

Таким образом, кроме сил и моментов, действующих на судно, суда сами воздействуют на причальные сооружения, причиняя им повреждения различной величины.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ СУДОВЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СУДОВЫЕ ХОДА

При движении судна по каналу судовые хода подвергаются:

– гидродинамическому воздействию судовых волн и потоку обтекания;

– воздействию от работы винтовых движителей.

Движение в кильватер. Судовые волны распространяются от судна самостоятельно, без наложения друг на друга. Здесь может иметь место случай, когда заднее судно, более крупного водоизмещения создает систему волн более крупных, чем впереди идущее судно. При уменьшении скорости движения заднего судна волны, возмущенные им, освобождаются от него и распространяются самостоятельно. Если такие волны имеют скорость распространения, превышающую скорость впереди идущего судна, возможно наложение волн, т. е. интерференция.

Обгон. Встречное движение. В этом случае возможно наложение волны обгоняющего судна на волну обгоняемого судна; при встречном движении происходит наложение судовых волн, движущихся навстречу друг другу.

Поэтому при оценке волнового воздействия на дно судового хода следует учитывать наложение друг на друга судовых волн.

В водоемах конечной глубины волновому воздействию подвергаются донные отложения и коммуникации, проложенные по дну (дюкеры, кабели и т. д.).

Оценка волнового воздействия на дно (рис. 3, 4) может быть сделана на основе решения известного волнового уравнения Герстнера с учетом затухания колебаний по глубине. Для случая плоской задачи используются формулы (5), (6):

$$x - a_i = r_0 e^{-\frac{2\pi c}{\lambda}} \sin 2\pi\left(\frac{a_1}{x} - \frac{t}{\tau}\right); \qquad (5)$$

$$z - h_i = r_0 e^{-\frac{2\pi c}{\lambda}} \cos 2\pi\left(\frac{a_1}{\lambda} - \frac{t}{\tau}\right), \qquad (6)$$

где: r_0 – радиус вращения частицы жидкости на поверхности; a_i, h_i – координаты фиксированной точки; $r = r_0 e^{-2\pi c/\lambda}$; $x=f(t,a,h)$; $z=f(t,a,h)$;– текущие координаты; $h=2r_0$ – амплитуда колебания; λ – длина волны; τ – период волны.

Для использования формул (5) и (6) принимается условие – судовые волны после освобождения от судна трансформируются и могут рассматриваться как волны Герстнера.

С помощью формул (5) и (6) определяется транспортирующая способность относительно подстилающих дно грунтов за один период волны и в продолжительном интервале времени. Здесь следует учитывать, что перенос частиц грунта будет происходить в сторону, противоположную направлению распространения волн.

Судовые воздействия на дно судового хода, обусловленные работой винтовых движителей, определяются следующим образом (рис. 5А, Б):

1. Строится гидродинамическая сетка около судна и под судном и определяются соответственно величины Δh и $h_{дин}$.

2. Определяется величина фильтрационного градиента

$$\frac{H}{\Delta l} = \frac{(H_{дин} + \Delta h)}{\Delta l}$$

для локальных сечений, обозначенных на гидродинамической сетке.

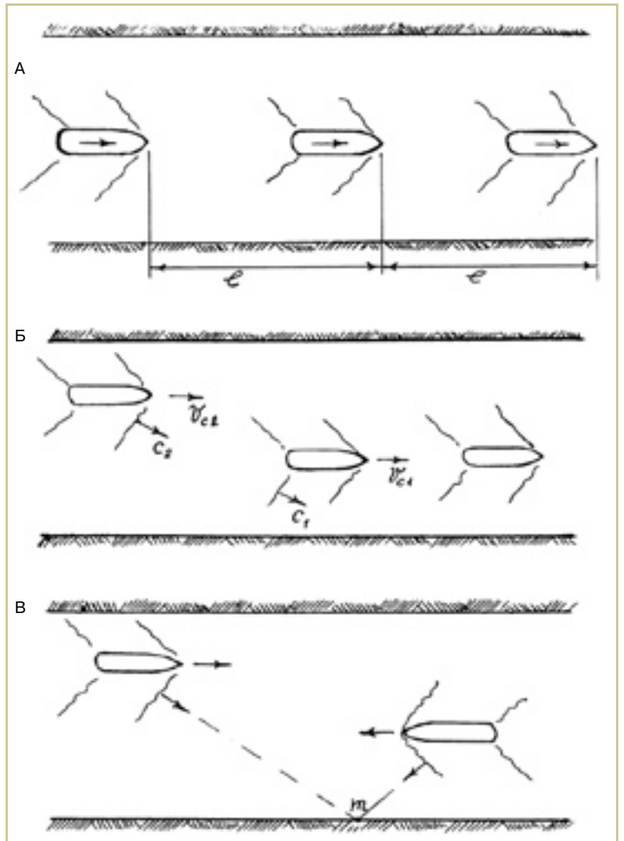

Рис. 3. Некоторые виды движения судов по каналам:
А – в кильватер; Б – при обгоне; В – встречное движение

3. С учетом фильтрационных характеристик грунтов, подстилающих дно, определяются локальные скорости фильтрационных потоков под судном и около него (рис. 5Б).

4. По характеристикам фильтрационных градиентов и фильтрационной прочности грунтов оцениваются выпор грунта и явления суффозии.

Процесс рассматривается как многоцикличный.

Рассматриваемые явления могут быть одной из важных причин возникновения баров по трассе судового хода на канале им. Москвы.

Помимо судовых воздействий могут иметь место другие факторы, например ветровые волны, волны попусков, фильтрационные явления, обусловленные естественным залеганием грунтовых вод и т.п.

Таким образом, при оценке гидродинамического воздействия на судовые хода необходимо учитывать многие факторы.

СУДОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА БЕРЕГА КАНАЛА

При прохождении судов берега подвергаются воздействию судовых волн и гидродинамическому взаимодействию. Схема судовых воздействий на берега представлена на рис. 6.

Будем рассматривать следующий порядок судовых воздействий на берега:

– сначала на берег накатываются судовые волны повышения высотой $h_в$;

– затем, при прохождении судна в рассматриваемом створе, уровень воды понижается на величину Δh;

– дополнительно на участке береговой линии ниже уреза воды и дна около судна и под судном возникает гидродинамическое давление $\Delta h_{дин}$, обусловленное гидродинамическим взаимодействием.

При накате волны на береговой откос и скатывании обратно расходы поверхностного и фильтрационного потоков непрерывно изменяются. Часть расхода волны при накате уходит в грунт (и переходит в поток фильтрации). При скатывании воды с откоса, наоборот, часть фильтрационного потока переходит в поверхностный.

Поэтому следует рассматривать отдельно этап наката волны на откос и этап скатывания волны с откоса.

Общая постановка задачи может быть представлена системой уравнений:

– гидродинамики квазиустановившегося поверхностного потока с переменным расходом В.М. Маккавеева:

$$\frac{dz}{dx}+\frac{\alpha\upsilon}{g}\frac{d\upsilon}{dx}+\frac{\alpha(1-a)\upsilon^2}{gQ}\frac{dQ}{dx}+\frac{dh_f}{dx}=0; \qquad (7)$$

– фильтрации на береговом участке:

$$kH_n\frac{dz}{dx}=Wx\ , \qquad (8)$$

где: υ – продольная средняя скорость квазиустановившегося поверхностного потока; a – коэффициент изменения масс, $a=U/\upsilon$; U – проекция скорости изменяющихся частиц жидкости на направление скорости движения основной массы воды; dQ/dx – изменение расхода основного потока по направлению оси x; k – коэффициент фильтрации; W – инфильтрация поверхностного потока в берег; H_n,z – мощность и пьезометрический напор фильтрационного потока.

Решение системы уравнений (7), (8) позволяет сделать оценку фильтрации и, как следствие, суффозии в берегах при волновом воздействии. Напор фильтрации в подводной части можно представить в виде суммы:

$$H_ф = h_в + \Delta h + h_{дин},$$

где: $h_в$ – высота волны; Δh – величина понижения уровня воды от работы винтов; $h_{дин}$ – напор, обусловленный гидродинамическими факторами при работе винтов.

Для практической оценки гидродинамических воздействий на судовые хода и берега в конкретных створах необходимо выполнить статистический анализ:

– интенсивности судоходства с учетом габаритов проходимых судов, их осадки и скорости движения для оценки явлений гидродинамического взаимодействия и волнообразования;

– волновых явлений различной природы (судовых, ветровых и попусковых волн) с учетом их взаимодействия;

– явлений гидродинамического взаимодействия.

Волновые взаимодействия можно учитывать по формулам взаимодействия различных видов синусо-косинусоидальных волн при интерференциях.

1. $\zeta_1=A_1\sin(\omega_1 t+\delta_1)$; $\zeta=\zeta_1+\zeta_2=A\sin(\omega t+\delta)$;
$\zeta=\zeta_1+\zeta_2=A\sin(\omega t+\delta)$;

$$\omega_1=\omega_2=\omega;\ A=\sqrt{A_1^2+A_2^2+2A_1A_2\cos(\delta_1-\delta_2)}; \qquad (9)$$

$$tg\delta=\frac{A_1\sin\delta_1+A_2\sin\delta_2}{A_1\cos\delta_1+A_2\cos\delta_2}.$$

2. $\zeta_1=a_1\cos nx$; $\zeta_2=в_1\sin nx$;
$\zeta=\zeta_1+\zeta_2=A_n\sin(nx+\varphi_n)$;

$$A_n=\sqrt{a_1^2+в_1^2};\ tg\varphi_n=\frac{a_1}{в_1}. \qquad (10)$$

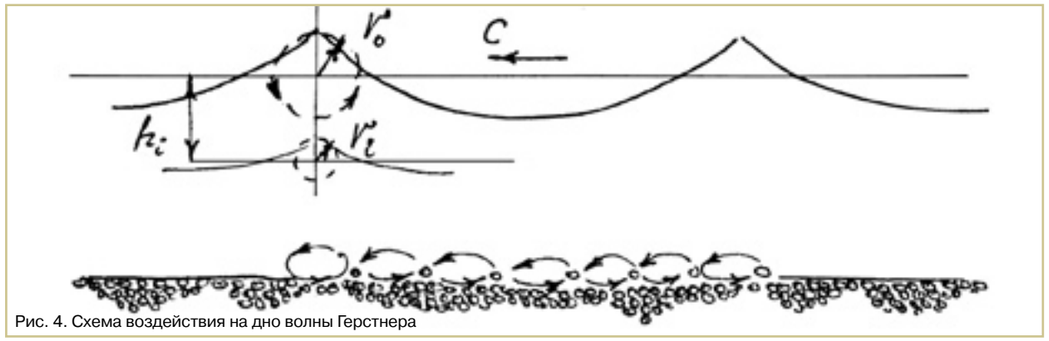

Рис. 4. Схема воздействия на дно волны Герстнера

3. $\zeta_1=a\cos(\omega_1 t-k_1x)$; $\zeta_2=a\cos(\omega_2 t-k_2x)$; $\zeta=\zeta_1+\zeta_2$.

Принимаем: $(\omega_1 t-k_1x)=t_1$; $(\omega_2 t-k_2x)=t_2$;

$$\frac{a}{\sqrt{a^2+в^2}}=\sin\alpha;\ \frac{в}{\sqrt{a^2+в^2}}=\cos\alpha;\ A=\sqrt{a^2+в^2}. \qquad (11)$$

Тогда имеем:

$$\zeta=A(\sin\alpha\cos t_1+\cos\alpha\cos t_2)=$$
$$=\frac{1}{2}A[\sin(\alpha-t_1)+\sin(\alpha+t_1)+\cos(\alpha-t_2)+\cos(\alpha+t_2)].$$

Заменяем: $(\alpha-t_1)=\delta_1$; $(\alpha+t_1)=\delta_2$; $(\alpha-t_2)=\delta_3$; $(\alpha+t_2)=\delta_{41}$ **и получаем для ζ:**

$$\zeta=A\left(\sin\frac{\delta_1+\delta_2}{2}\cos\frac{\delta_1-\delta_2}{2}+\cos\frac{\delta_3+\delta_4}{2}\cos\frac{\delta_3-\delta_4}{2}\right).$$

Если $k_1x_1-\omega_1 t\approx k_2x-\omega_2 t=\gamma$ **, то:**

$$\zeta=A(\sin\alpha\cos\gamma+\cos\alpha\cos\gamma)=(a+в)\cos\gamma.$$

4. $\zeta_1=a\cos(\omega_1 t-k_1x)$; $\zeta_2=a\cos(\omega_2 t-k_2x)$; **(12)**

$$\zeta=\zeta_1+\zeta_2=\left\{2a\cos\left[\frac{1}{2}(\omega_2-\omega_1)\cdot t-\frac{1}{2}(k_2-k_1)\cdot x\right]\times\right.$$
$$\left.\times\cos\left[\frac{1}{2}(\omega_2+\omega_1)\cdot t-\frac{1}{2}(k_2+k_1)\cdot x\right]\right\}$$

В представленных преобразованиях рассмотрены сложения двух колебаний. Для перехода к сложению трех и более гармоник следует применить группировки и последовательные преобразования, например:

$$\zeta=\zeta_1+\zeta_2+\zeta_3+\ldots+\zeta_n=(\zeta_1+\zeta_2)+(\zeta_3+\zeta_4)+\ldots=$$
$$=[(\zeta_1+\zeta_2)+(\zeta_3+\zeta_4)]+[(\zeta_5+\zeta_6)+(\zeta_7+\zeta_8)]+\ldots \qquad (13)$$

Для конкретного участка береговой линии или судового хода необходимо определить число волновых воздействий (или гидродинамических воздействий) за единицу времени или другой характерный период. После этого решаются уравнения (5) и (6), (7) и определяется воздействие волн и фильтрационных потоков. Учитывая фильтрационную прочность грунтов, определяется интенсивность суффозии за единицу времени (один накат волн, одно воздействующее судно и т.п.) и за характерный период (например, за навигацию).

Практическое применение приведенных выше исследований. На основании оценки исследований выполняется анализ ослабления структуры грунта откоса (дна), определяется возможное количество грунта обрушения (или интенсивность роста бара на судовом ходу), назначаются конструкции креплений берегов (дна), способные предотвратить разрушение откосов и судовых ходов.

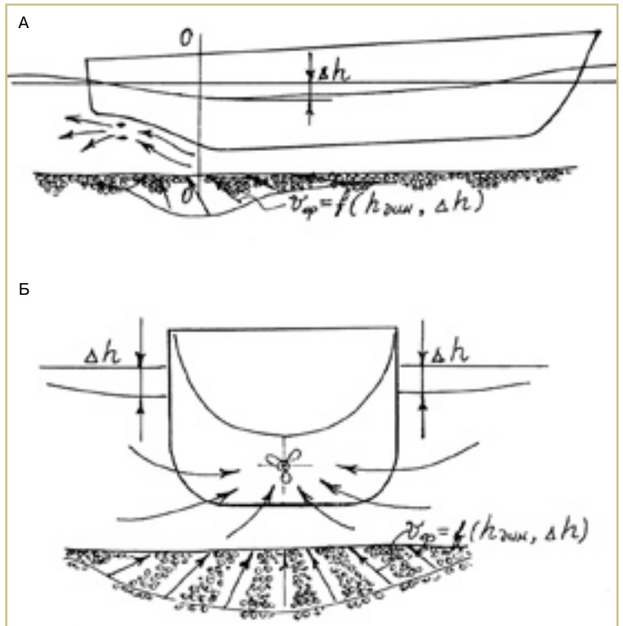

Рис. 5. Схема гидродинамического воздействия на судовые хода при работе движителей судна: А – вид сбоку; Б – вид с кормы

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:
1. Кирьяков С.С., Кривошей В. А., Похабов В. И. Гидродинамическое взаимодействие судов с судоходными сооружениями. – М.: ИПК «Русская книга», 2008, 427 с.
2. Михайлов А.В. Внутренние водные пути. – М.: «АСВ», 2004, 446 с.
3. Сборник научных трудов МГАВТ «Повышение эффективности судопропуска, работы судовых технических и радиолокационных систем и безопасности плавания». Статья Мурадяна А. Г. Движение судов в судоходных каналах. – М.: «Альтаир-МГАВТ», 2007, с. 140-153.

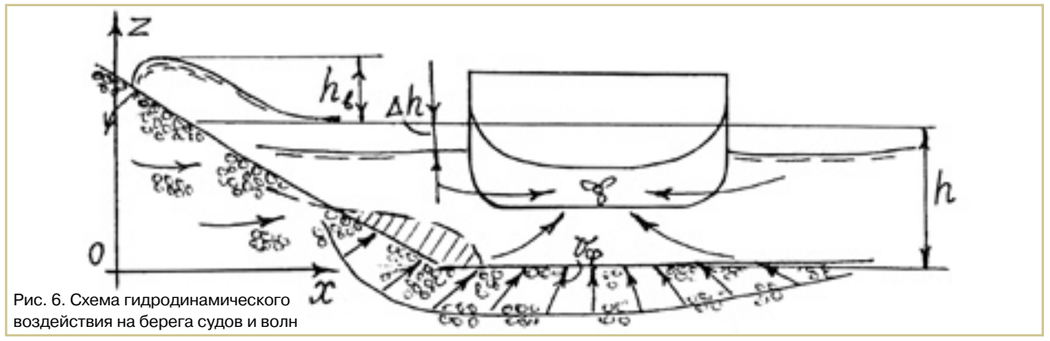

Рис. 6. Схема гидродинамического воздействия на берега судов и волн

УЧРЕЖДЕНИЕ: Московская государственная академия водного транспорта (МГАВТ)

АВТОР: В.Т. КОЛОМЕЙЦЕВ, декан заочного факультета, заслуженный строитель РФ

К расчету винтовых якорных систем плавучих буровых установок

АННОТАЦИЯ: В статье приводятся расчеты определения величины крутящего момента, необходимого для погружения винтовых свай

Решение вопроса о способах удержания судна в заданной точке с минимально допустимыми отклонениями от вертикали является одним из наиболее сложных в процессе проектирования бурового судна. Роль систем удержания (систем стабилизации или позиционирования) весьма существенна. Они удерживают плавучие объекты в заданных местах акваторий, ограничивают их перемещение при действии внешних сил и обеспечивают нормальные условия их эксплуатации. От надежности работы системы удержания зависит сохранность всего сооружения. Срыв судна с места удержания в процессе бурения недопустим.

Винтовые якоря получили наибольшее распространение среди других видов свайных якорей. Якорь представляет собой стальную винтовую лопасть, насаженную на полый ствол, на верхнем конце которой имеется рым. Якоря завинчиваются кабестанами. Имеющиеся разработки конструкций якорей имеют удерживающую силу до 100 т (980 кН). Винтовые якоря имеют малую массу и обладают большой удерживающей силой. Так, например, при массе якоря 0,2 т его удерживающая сила достигает 590 кН (60 т). В данной статье предлагается теоретическое исследование работы винтовых свай.

Цель теоретического исследования винтовых свай: определение величины крутящего момента, необходимого для погружения винтовых свай; создание единой методики, пригодной для анализа погружения свай в любые грунты; создание предпосылок для построения поля действительных скоростей грунта вокруг сваи и определения фактической степени его уплотнения на различных участках. В работах [1, 2, 3] рассматривался этот вопрос, но полученные в них расчетные уравнения имеют недостатки: при выборе принималась упрощенная схема работы как винтовой лопасти, так и конусного наконечника; формулы пригодны только для одного, принятого при выводе, закона распределения усилий между грунтом и поверхностями сваи.

Нами рассматривается работа винтовых свай, применяемых при строительстве буровых вышек на Самотлорском нефтяном месторождении. Особенности его инженерно-геологических условий позволяют применить винтовые сваи, простые в изготовлении и обладающие значительной степенью несущей способности в слабых грунтах. По длине сваю можно разбить на четыре части (рис. 1А).

Винтовая часть сваи является прямым архимедовым геликоидом, имеющим постоянный шаг H_O как на цилиндрической, так и на заборной части винта. Лопасть и клин изготовлены из листовой стали толщиной δ; клин на ножевой части затачивался по режущей кромке. Усилия, действующие со стороны грунта на поверхность сваи, зависят не только от исходных прочностных характеристик грунта, но и от следующих факторов: глубины завинчивания сваи; степени уплотнения грунта; коэффициента трения сваи о грунт; направления движения элемента сваи относительно грунта.

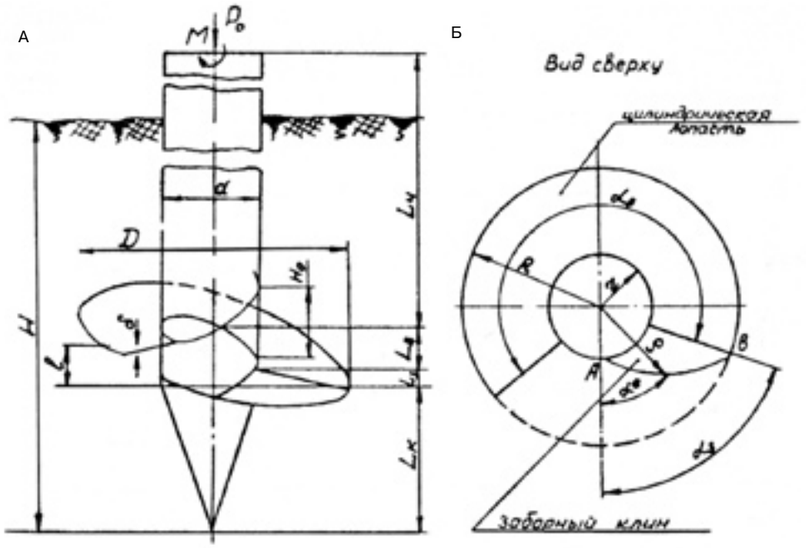

Рис. 1. Общий вид винтовой сваи: $L_Ц$ – цилиндрическая (ствол сваи); $L_В$ – винтовая (участок, на котором расположена лопасть, ограниченная снаружи цилиндрической поверхностью); (для упрощения рисунка лопасть на изображенной свае имеет меньше одного витка, хотя в применяемых сваях угол $\alpha_В$ был равен 360°); $L_З$ – заборный винтовой клин, ограниченный в плане архимедовой спиралью (линия АВ); $L_К$ – коническая часть сваи

Полагаем, что удельное давление грунта задано (аппроксимировано) функцией:

$$\sigma_N=\sigma_O+K_{h1}\cdot h+K_{h2}\cdot h2, \qquad (1)$$

где σ_O; K_{h1}; K_{h2} – коэффициенты, которые могут быть различными для цилиндрической, винтовой и конической частей; h – глубина рассматриваемой точки на свае от поверхности земли.

Степень уплотнения гурнта зависит от расстояния точки, в которой она определяется, до оси сваи. Считаем, что напряжение задано функцией

$$\sigma=\sigma_N(1+K_{r1}\cdot r+K_{r2}\cdot r2), \qquad (2)$$

где σ_N – напряжение, определяемое по формуле (1); r – расстояние от рассматриваемой точки до оси вращения сваи. С помощью подбора коэффициентов квадратичных полиномов (1) и (2) можно достаточно точно аппроксимировать любой закон распределения напряжений в грунте.

Величина крутящего момента, необходимого для погружения сваи, равна сумме моментов, возникающих на составляющих поверхностях сваи:

$$M=M_ц+M_в^в+M_в^н+M_в^п+M_з^р+M_з^в+M_з^н+M_к, \qquad (3)$$

где $M_ц$ – момент, возникающий при трении цилиндрической части сваи о грунт; $M_в^в$, $M_в^н$, $M_в^п$ – моменты, возникающие на верхней, нижней и периферийной поверхностях цилиндрической винтовой лопасти; $M_з^р$, $M_з^в$, $M_з^н$ – моменты на режущей кромке, верхней и нижней поверхностях заборного клина; $M_к$ – момент, возникающий на конической части сваи.

При определении моментов полагаем, что на сваю действуют только завинчивающий момент M и осевая сила P_O (действия боковых сил, как на открытом конце сваи, так и на винтовой поверхности, не учитываются). При завинчивании свая за один оборот погружается на величину $H_Ф$.

Определим для каждого участка сваи не только значение величины крутящих моментов, но и осевые силы, что необходимо для установления влияния P_O на величину M.

Усилия на стволе сваи. Полагаем, что условия трения ствола о грунт одинаковы для участков $L_Ц$, $L_В$ и $L_З$. Нормальное давление изменяется по закону:

$$\sigma^ц+\sigma_o^ц+\sigma_{h1}^ц h+K_{h2}^ц h^2. \qquad (4)$$

На рис. 2 показано действие нормальной силы N и силы трения T на элементарную площадку dS. Угол подъема винтовой линии, вдоль которой направлена сила трения T, находим по формуле:

$$\alpha=\mathrm{arctg}\frac{H_Ф}{2\pi r}=\mathrm{arctg}\frac{P_Ф}{r}, \qquad (5)$$

где $P_Ф$ – параметр фактического движения сваи (осевое перемещение сваи при повороте ее на один радиан). Суммарная осевая сила $P_Ц$ на цилиндрической части определится (здесь и далее подробные выводы формул опускаются):

$$P_ц=\iint_S \sigma f\sin\alpha dS=$$
$$=2\pi f\frac{P_Ф r}{\sqrt{r^2+p_Ф^2}}\left(\sigma_o^ц+K_{h1}^ц\frac{H}{2}+K_{h2}^ц\frac{H^2}{3}\right)H=f_ц F^ц\frac{P_Ф}{\sqrt{r^2+p_Ф^2}}, \qquad (6)$$

где $f_ц$ – коэффициент трения сваи о грунт; $F^ц$ – суммарное усилие со стороны грунта на ствол сваи; S – площадь ствола сваи в грунте.

Крутящий момент на цилиндрической части сваи выразится:

$$M_ц=\iint_S T\cos\alpha\frac{d}{2}=fF^ц\frac{r^2}{\sqrt{r^2+p_Ф^2}}. \qquad (7)$$

Усилие на конической части сваи. Нормальное давление со стороны грунта считаем подчиняющимся закону:

$$\sigma=\left(\sigma_o^k+K_{h1}^k H+K_{h2}^k H^2\right)\left(1+K_{r1}^k\rho+K_{r2}^k\rho^2\right). \qquad (8)$$

На рис. 3 показано действие нормальной силы N и силы трения T на элементарную площадку конуса dS. Угол α подъ-

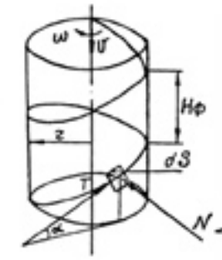

Рис. 2. Усилия на стволе сваи

Рис. 3. Усилия на конической части сваи

$$P_К=\iint_S P_{OC}=\iint_S \alpha(\sin\beta+f\sin\alpha)dS=\pi\left(\sigma_o^k+K_{h1}^k H+K_{h2}^k H^2\right)\left(r^2+K_{r1}\frac{2r^3}{3}+K_{r2}\frac{2r^4}{2}\right)+$$
$$+\frac{2\pi P_Ф}{\sin\beta}\left(\sigma_o^k+K_{h1}^k H+K_{h2}^k H^2\right)f\left\{\sqrt{r^2+P_Ф^2}\left(1+K_{r1}\frac{r}{2}+K_{r2}\frac{r^2}{3}\right)-\right.$$
$$\left.-P_Ф\left[1+\frac{1}{2}K_{r1}P_Ф\ln\frac{r+\sqrt{r^2+p_Ф^2}}{p}+2K_{r2}P_Ф\frac{\sqrt{r^2+p_Ф^2}-P_Ф}{3}\right]\right\}$$

Формула 11

$$M_К=\iint_S T(\cos\alpha)\rho=\iint_S \sigma\rho(\cos\alpha)fdS=\frac{2\pi}{\sin\beta}\left(\sigma_o^k+K_{h1}^k H+K_{h2}^k H^2\right)f\left\{\frac{1}{3}\left[\sqrt{r^2+P_Ф^2}(r^2-2P_Ф^2)+2P_Ф^3\right]+\right.$$
$$\left.+\frac{1}{8}\left[\sqrt{r^2+P_Ф^2}(2r^2-3P_Ф^2)r+3P^3\ln\frac{r+\sqrt{r^2+P_Ф^2}}{P}\right]K_{r1}^k+\frac{1}{15}\left[\sqrt{r^2+P_Ф^2}(3r^4-4r^2P_Ф^2+8P_Ф^4)-8P_Ф^5\right]K_{r2}^k\right\}$$

Формула 12

ема винтовой линии переменный и находится из зависимости аналогично формуле (5):

$$\alpha = \mathrm{arctg}\frac{P_\Phi}{\rho}\ . \qquad (9)$$

Согласно рис. 3, проекции N и T на продольную ось сваи определяются:

$$P_{OC} = N\sin\beta + T\sin\alpha = N(\sin\beta + f\sin\alpha)\ . \qquad (10)$$

Осевая сила на конической части (формула 11).

Крутящий момент на конической части сваи (формула 12).

Усилия на верхней и нижней поверхностях цилиндрической части лопасти. Можно предположить, что давление грунта на лопасть при завинчивании сваи существенно отличается как в радиальном направлении (слои, прилегающие к свае, уплотнены конической частью сильнее, чем отдаленные), так и по высоте $H_\Phi < H_o$, а это значит, что грунт уплотняется лопастью и в вертикальном направлении – «вверх» и, следовательно, степень его уплотнения различна по высоте на участке L_B. Поэтому нормальное давление σ определяем по формуле:

$$\sigma = \left(\sigma_н^в + K_{h1}^в l + K_{h2}^в l^2\right)\left(1 + K_{r1}^в \rho + K_{r2}^в \rho^2\right), \qquad (13)$$

где $\sigma_н^в$ – давление грунта на глубине H; l – расстояние рассматриваемой точки от той глубины, где определены σ расстояние ρ от оси сваи (рис. 1) – переменные величины.

Интегрированное при таком условии уравнение слишком громоздко, поэтому вместо формулы (13) применим линейную интерполяцию, тем более что достоверных данных о действительном состоянии грунта около витков лопасти, по существу, нет. Следовательно, вместо формулы (13) используем выражение:

$$\sigma = \left(\sigma_н^в + K_{h1}^в l\right)\left(1 + K_{r1}^в \rho\right). \qquad (14)$$

На рис. 4 показано действие сил на элемент винтовой поверхности.

Согласно рис. 4, элементарная осевая сила:

$$P_{OC}^в = T^в\sin\alpha - N^в\cos\alpha = N^в(f\sin\alpha - \cos\alpha), \qquad (15)$$

$$P_{OC}^н = T^н\sin\alpha - N^н\cos\alpha = N^н(f\sin\alpha - \cos\alpha), \qquad (16)$$

где α определяется согласно уравнению:

$$\alpha = \mathrm{arctg}\frac{P_o}{\rho}, \qquad (17)$$

где $P_o = \frac{H}{2\pi}$.

Осевая сила на верхней поверхности цилиндрической части винтовой лопасти (формула 18).

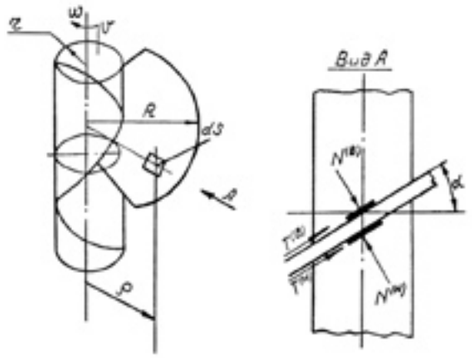

Рис. 4. Усилия на верхней и нижней поверхностях цилиндрической части лопасти

На нижней цилиндрической части лопасти (формула 19).

Из рис. 4 следует, что крутящие моменты на верхней и нижней поверхностях цилиндрической части лопасти определяются как:

$$M_в^в = \iint_S \left(T^в\cos\alpha + N^в\sin\alpha\right)\rho = \iint_S \alpha^в(f\cos\sigma + \sin\alpha)\rho dS\ , \qquad (20)$$

$$M_в^в = \iint_S \left(T^н\cos\alpha - N^н\sin\alpha\right)\rho = \iint_S \alpha^н(f\cos\sigma - \sin\alpha)\rho dS\ . \qquad (21)$$

Произведя двойное интегрирование, получим после преобразования следующие выражения(формулы 22 и 23).

Усилия на верхней и нижней поверхностях заборной части лопасти. В локальном смысле погружение этой части лопасти не отличается от погружения цилиндрической части. Схема сил такая же, как на рис. 4, расчетные формулы те же, момент определяется по выражениям (20) и (21), а осевая сила – по первым частям формул (18) и (19). Различие в том, что при интегрировании необходимо у одного из интегралов брать переменные пределы. Линия АВ, ограничивающая заборную часть лопасти рис. 1Б, в плане является архимедовой спиралью. Произведя интегрирование, получим следующие выражения для определения осевых сил и крутящих моментов на верхней и нижней поверхностях заборной части (формулы 24 и 25),

$$P_в^в = \iint_S P_{OC}^в = \iint_S \sigma(f\sin\alpha - \cos\alpha)dS = \alpha_в(R-r)\left[\sigma_o + K_{h1}H + K_{h2}H^2 + K_{h1}^в\left(L_3 + \frac{L_в}{2}\right)\right]\left[\left(P_o f - \frac{R+r}{2}\right) + K_{r1}^в\left(\frac{P_o f}{2} - \frac{R^2+Rr+r^2}{3}\right)\right]$$

Формула 18

$$P_в^в = \iint_S P_{OC}^н = \iint_S \sigma(f\sin\alpha - \cos\alpha)dS = \alpha_в(R-r)\left[\sigma_o + K_{h1}H + K_{h2}H^2 + K_{h1}^н\left(L_3 + \frac{L_в}{2}\right)\right]\left[\left(P_o f + \frac{R+r}{2}\right) + K_{r1}^в\left(\frac{P_o f}{2} + \frac{R^2+Rr+r^2}{3}\right)\right]$$

Формула 19

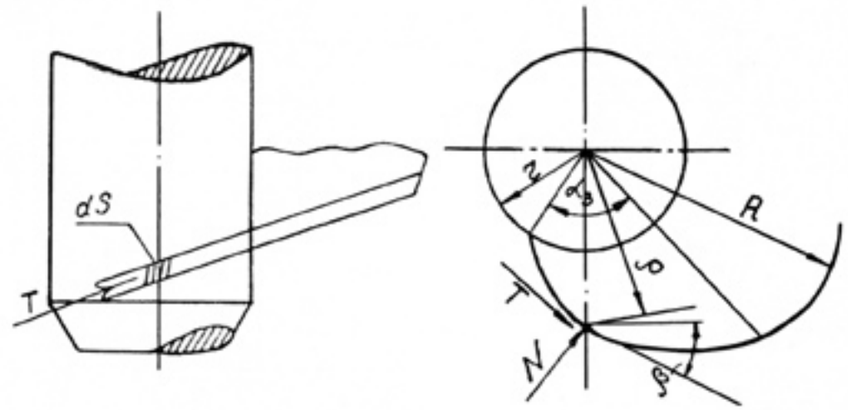

Рис. 5. Усилия на режущей кромке лопасти

где верхние знаки следует брать при вычислении сил и крутящих моментов на верхней поверхности, нижние знаки – для нижней. Здесь A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3 определяются следующим образом:

$$A_1 = \frac{1}{3}\left(R^2 + Rr - 2r^2\right)\ ,\quad B_1 = \frac{1}{24}\left(R^3 + R^2r - 5Rr^2 + 3r^3\right),$$

$$A_2 = \frac{1}{6}\left(R^3 + R^2r - 3Rr^3\right)\ ,$$

$$B_2 = \frac{1}{60}\left(R^4 + R^3r + R^2r - 9Rr^3 + 15r^4\right),$$

$$A_3 = \frac{1}{10}\left(R^4 + R^3r + R^2r + Rr^3 - 4Rr^4\right),$$

$$B_3 = \frac{1}{60}\left(R^5 + R^4r + R^3r^2 + R^2r^3 - 14Rr^4 + 10r^5\right).$$

Усилия на периферийной поверхности цилиндрической части лопасти. Считаем эту поверхность высотой δ и длиной R (рис. 1Б) цилиндрической. Усилия определяем по формулам, аналогичным полученным для ствола сваи, т. е.:

$$P_в^н \cong \frac{P_\Phi f}{\sqrt{r^2 + p_\Phi^2}} R\delta\alpha_в\left(\alpha_o + K_{h1}h_{cp} + \frac{K_{h2}}{3}h_{cp}^2\right), \qquad (26)$$

$$M_в^н \approx \frac{Rf}{\sqrt{R^2 + p_\Phi^2}} R^2\delta\alpha_в\left(\alpha_o + K_{h1}h_{cp} + \frac{K_{h2}}{3}h_{cp}^2\right)\ . \qquad (27)$$

На рис. 5 показаны усилия, действующие на элемент режущей кромки. Полагаем, что по ее высоте они постоянны и поэтому определяются однократным интегрированием по длине режущей кромки. Из дифференциальной геометрии известно, что:

$$\mathrm{ctg}\beta = \frac{\rho}{\frac{d\rho}{d\alpha}}\ . \qquad (28)$$

Продифференцировав уравнение кривой ρ и подставив производную в формулу (28), получим:

$$\mathrm{ctg}\beta = \frac{\alpha_S}{R-r}\rho\ . \qquad (29)$$

Зная ctg β, по формулам тригонометрии легко определяем значения sin β, cos β, необходимые для подстановки в выражение (28):

$$\sin\beta = \frac{1}{\sqrt{1+\mathrm{ctg}^2\beta}} = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{\alpha_S}{R-r}\right)^2\rho^2}} = \frac{R-r}{\sqrt{(R-r)^2 + (\alpha_S\rho)^2}}, \qquad (30)$$

$$\cos\beta = \frac{\mathrm{ctg}\beta}{\sqrt{1+\mathrm{ctg}^2\beta}} = \frac{\alpha_S\rho}{\sqrt{(R-r)^2 + (\alpha_S\rho)^2}}\ . \qquad (31)$$

Можно показать, что, согласно представленной на рис. 5 схеме сил:

$$P_{OC} = T\frac{P_\Phi}{\sqrt{\rho^2\left(1+\cos^2\beta\right) + p_\Phi^2}} = NfP_\Phi\sqrt{\frac{\alpha_S^2\rho^2 + (R-r)^2}{p_\Phi^2\left[\alpha_S^2\rho^2 + (R-r)^2\right] + \rho^2\left[2\alpha_S^2\rho^2 + (R-r)^2\right]}}, \qquad (32)$$

$$M_в^в = \alpha_в\left[\sigma_o + K_{h1}H + K_{h2}H^2 + K_{h1}^в\left(L_3 + \frac{L_в}{2}\right)\right]\left[\left(f\frac{R^3-r^3}{3} + P_o\frac{R^2-r^2}{2}\right)\right] + K_{r1}\left(f\frac{R^4-r^4}{4} + P_0\frac{R^3-r^3}{3}\right)$$

Формула 22

$$M_в^н = \alpha_в\left[\sigma_o + K_{h1}H + K_{h2}H^2 + K_{h1}^в\left(L_3 + \frac{L_в}{2}\right)\right]\left[\left(f\frac{R^3-r^3}{3} - P_o\frac{R^2-r^2}{2}\right)\right] + K_{r1}\left(f\frac{R^4-r^4}{4} - P_0\frac{R^3-r^3}{3}\right)$$

Формула 23

$$P_З = \frac{\alpha_S}{2}\left\{\sigma_н\left[(R-r)P_o f + A_1\left(K_r^3 P_o f \mp 1\right) \mp A_2 K_{r1}^3\right] + \frac{K_{h1}^3 L_S}{R-r}\left[\frac{R-r}{3}P_o f + B_1\left(K_{r1}^3 P_o f \mp 1\right) \mp B_2 K_{r1}^3\right]\right\}$$

Формула 24

$$M_З = \frac{\alpha_S}{2}\left\{\sigma_н^н\left[\pm A_1 P_o + A_2\left(f - K_{r1}^3 P_o\right) + A_3 K_{r1}^3 f\right] + \frac{K_{h1}^3 L_S}{R-r}\left[\pm B_1 P_o + B_2\left(f \pm K_{r1}^3 P_o\right) + B_3 K_{r1}^3 f\right]\right\}$$

Формула 25

Формула 33.

Суммарное осевое усилие на режущей кромке (формула 34), где δ – ширина режущей кромки.

Полученный интеграл (34) эллиптический и не берется в элементарных функциях. После преобразований суммарный крутящий момент на режущей кромке (формула 35).

Интеграл (35) также не берется в элементарных функциях. Используя формулы (34) и (35), необходимо либо упростить задачу, либо пользоваться численными методами интегрирования, в частности следующим упрощением. Так как $\rho >> P_ф$ и тем более $\rho^2 >> P_ф^2$, то в подкоренных выражениях формул (34) и (35) можно положить $P_ф = 0$. Тогда:

$$P_К \approx \frac{P_ф \delta f}{R-r}\int_r^R \frac{\left(\sigma_н + K_{h1}^К l + K_{h2}^К l^2\right)\left[(R-r)^2+\alpha_S^2\rho^2\right]}{\rho\sqrt{2\alpha_S^2\rho^2+\left[p_ф^2+(R-r)^2\right]}}d\rho, \quad (36)$$

$$M_К \approx \delta\int_r^R\left(\sigma_н + K_{h1}^К l + K_{h2}^К l^2\right)\left[\frac{\alpha_S}{R-r}\rho + f\right]d\rho. \quad (37)$$

Полагая $l = P_o\frac{\rho - r}{R-r}$

и интегрируя, получим после преобразований формулу 38.

Учитывая, что в общем балансе осевых сил влияние осевой силы на режущей кромке невелико, а выражение (36) интегрируется очень громоздко, можно в первом приближении принять усредненное значение , тогда вместо формулы (36) получим:

$$P_К = \frac{P_ф \delta f}{R-r}\frac{\left(\sigma_н + \frac{K_{h1}^К P_o}{2} + \frac{K_{h2}^К p_o^2}{3}\right)\left[(R-r)^2+\alpha_з^2\frac{(R+r)^2}{4}\right]}{\sqrt{\frac{\alpha_з^2}{2}(R+r)^2+(R-r)^2+P_ф^2}} \quad (39)$$

Входящее в уравнение (36) давление σ подсчитываем по формуле:

$$\sigma = (\sigma_o + K_{h1}H + K_{h2}H^2). \quad (40)$$

Просуммировав все моменты, получим величину крутящего момента $M_{погр}$, который необходимо приложить к свае для ее погружения. Сложив все осевые силы, получим величину внешнего осевого усилия $P_{погр}$, которое следует прилагать к свае при погружении ее под действием $M_{кр}$. Сваи можно завинчивать при различных сочетаниях $P_{погр}$ и $M_{погр}$. При этом, исходя из физической сущности процесса предполагаем, что величина осевой силы $P_{погр}$ оказывает влияние только на усилия на верхней и, может быть, нижней частях винтовой лопасти. Косвенно на других поверхностях сваи осевая сила $P_{погр}$ влияет через фактический шаг погружения, т.е. параметр , но это влияние невелико. Задаваясь определенным законом изменения усилия на лопастях в зависимости от осевой силы $P_{погр}$ и соответствующего ей момента $M_{погр}$, устанавливаем зависимость $M_{погр}$ от $P_{погр}$ при различных условиях, что вряд ли целесообразно делать без компьютера.

С помощью полученных выражений можно также найти критические значения , при которых происходит завинчивание сваи, а не рыхление грунта. Последнее будет наблюдаться, если предельно допустимые усилия $P_{пр}$, действующие на верхнюю часть лопасти, плюс $P_{погр}$ меньше, чем сумма всех остальных сил, действующих на другие части сваи. Условие, при котором не наступает рыхление:

$$P_{погр}^{мин} >> \left(P_ц + P_в^н + P_в^п + P_з^н + P_К\right) - P_в^{в\,макс} - P_з^{в\,макс}. \quad (41)$$

где в $P_{погр}^{мин}$ следует включить вес сваи и кабестана.

Для получения достоверных результатов по влиянию осевой силы $P_{погр}$ на крутящий момент $M_{погр}$, на условия рыхления и на величину $P_ф$ необходимо провести исследование поведения грунта при различных режимах погружения сваи. Сделаем замечания о некоторых обстоятельствах, не учтенных в расчетах.

1. Коэффициент трения f принят в выводах для всей поверхности сваи постоянным. Но в конечных формулах его можно брать разным для различных поверхностей и даже зависящим от скорости завинчивания (на стволе от скорости скольжения о грунт, на конусе и на лопастях от средней скорости скольжения на этих поверхностях).

2. Для улучшения условий работы лопастей на верхней поверхности режущей кромки делается заточка. С этой же целью можно рекомендовать для слабых грунтов переменный шаг на винтовой лопасти: на верхней части витка шаг примерно на 10% меньше, чем на нижней.

Полученные автором уравнения довольно громоздки. Однако после некоторого обоснованного упрощения можно получить простые зависимости.

$$M = \rho\left(N\cos\beta + T\frac{\rho\sqrt{1+\cos^2\beta}}{\sqrt{\rho^2\left(1+\cos^2\beta\right)+p_ф^2}}\sin\beta\right) =$$
$$= \rho N\left(\cos\beta + f\rho\frac{2\alpha_S^2\rho^2+(R-r)^2}{p_ф^2\left[\alpha_S^2\rho^2+(R-r)^2\right]+p^2\left[2\alpha_S^2\rho^2+(R-r)^2\right]}\sin\beta\right) =$$
$$= \frac{N\rho^2}{\sqrt{\alpha^2\rho^2+(R-r)^2}}\left[\alpha_з + f(R-r)\sqrt{\frac{2\alpha_S^2\rho^2+(R-r)^2}{p_ф^2\left[\alpha_S^2\rho^2+(R-r)^2\right]+p^2\left[2\alpha_S^2\rho^2+(R-r)^2\right]}}\right]$$

Формула 33

$$P_К = \int_S P_{OC} = \int_r^R \sigma f P_ф\sqrt{\frac{\alpha_S^2\rho^2+(R-r)^2}{p_ф^2\left[\alpha_S^2\rho^2+(R-r)^2\right]+p^2\left[2\alpha_S^2\rho^2+(R-r)^2\right]}}\delta\frac{d\rho}{\sin\beta} =$$
$$= \frac{P_ф\delta f}{R-r}\int_r^R\frac{\sigma\left[(R-r)^2+\alpha_S^2\rho^2\right]}{2\alpha_S^2\rho^4+\left[p_ф^2+(R-r)^2\right]\rho^2+p_ф^2(R-r)^2}d\rho$$

Формула 34

$$M_К = \int_S M = \delta\int_r^R\sigma\rho^2\left[\frac{\alpha_S}{(R-r)}+f\sqrt{\frac{\alpha_S^2\rho^2-(R-r)^2}{p_ф^2\left[\alpha_S^2\rho^2+(R-r)^2\right]+p^2\left[2\alpha_S^2\rho^2+(R-r)^2\right]}}\right]$$

Формула 35

$$M_К = f(R-r)\left[\sigma_н + \frac{K_{h1}^К P_o}{2} + \frac{K_{h2}^К p_o^2}{3}\right] + \frac{\alpha_S}{R-r}\left[\sigma_н(R-r) + \frac{K_{h1}^К P_o\left(2R^2-r^2\right)}{6} + \frac{K_{h2}^К p_o^2\left(R^2+2Rr-r^2\right)}{12}\right]$$

Формула 38

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Лозовой Д.А. Крутящий момент при завинчивании анкеров. – «Строительство трубопроводов», 1969, № 8.
2. Калинович Б.Ю. Теоретические соображения по расчету винтовых свай. Труды Ленинградского института инженеров водного транспорта. Вып. 14, Мин. речного флота СССР, Л., 1947.
3. Богорад Л.Я. Винтовые сваи и анкеры в электросетевом строительстве. – «Энергия», М., 1967.
4. Смирнов В.И. Курс высшей математики, т. 3, ч. 2, М., 1956.
5. Коломейцев В.Т. Экономическая эффективность применения винтовых свай при строительстве оснований под разведочные буровые на нефть и газ. ВНИИОЭНГ. «Нефтепромысловое строительство», № 6, Москва, 1981.
6. Коломейцев В.Т. К вопросу инженерного освоения и обустройства Усть-Балыкского нефтяного месторождения. «Бурение скважин и трубопроводный транспорт нефти и газа.» Тюмень, 1869 г.
7. Коломейцев В.Т. Буровые на винтовых сваях. Сб. «Нефть и газ Тюмени». Выпуск 9, 1971.

УЧРЕЖДЕНИЕ: Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций (СПГУВК)

ТЕМА: Особенности влияния полупроводниковых преобразователей на работу автоматизированных судовых электроэнергетических установок

АВТОРЫ: Е. Г. БАРЩЕВСКИЙ, кандидат технических наук; Ю. Я. ЗУБАРЕВ, доктор технических наук

АННОТАЦИЯ: В статье рассматриваются особенности работы автоматизированных судовых электроэнергетических систем (СЭЭС) с одиночным преобразователем, в частности, модели и методы расчета коэффициента искажения и гармонических составляющих напряжения в СЭЭС со статическими преобразователями

Статические преобразователи нашли широкое применение в СЭЭС судов, предназначенных для освоения Мирового океана, в частности – буровых установок. У подобного типа судов суммарная мощность силовой полупроводниковой техники приближается к мощности источников электроэнергии. Так, у СЭЭС буровых установок, плавучих электростанций, доков, кранов и др. соотношение между суммарными мощностями генераторов и выпрямителей в некоторых режимах составляет 60%.

Увеличение насыщенности судов радиоэлектронной аппаратурой и рост чувствительности этой аппаратуры к электромагнитным помехам обостряет проблему электромагнитной совместимости в условиях электромагнитных полей, в частности полей, излучаемых силовыми кабелями. Возникает задача оценки электромагнитной обстановки в местах расположения радиоэлектронной аппаратуры.

Силовые полупроводниковые преобразователи возбуждают высшие гармоники напряжения и тока в диапазоне частот от нескольких герц до десятков и сотен мегагерц, которые воздействуют на устройства, комплексы и подсистемы СЭЭС. Воздействие преобразователя на судовую энергосистему проявляется в трех аспектах: генерирование в СЭЭС гармоник напряжений и токов различной физической природы; изменение основной гармоники сети; потребление из сети реактивной мощности. В связи с этим возникает проблема выполнения жестких требования к качеству электроэнергии при питании радиоэлектронных, вычислительных и информационных систем и устройств на судах. Согласно нормам Регистра РФ величина коэффициента нелинейных искажений формы кривой напряжения судовых СЭЭС не должна превышать 10%.

Существующие методы расчета показателей качества электромагнитных процессов в судовых СЭЭС со статическими преобразователями основаны на определении отдельных гармонических составляющих напряжения. Поскольку электромагнитные процессы в СЭЭС со статическими выпрямителями достаточно сложны и описываются дифференциальными уравнениями весьма высокого порядка, то аналитические методы расчета гармоник напряжения разрабатываются на основе ряда допущений (неискаженное питающее напряжение, бесконечно большая индуктивность в цепи нагрузки, линейный характер изменения коммутации и т. д.), что в некоторых случаях приводит к значительным ошибкам. Но даже при этом расчетные выражения громоздки, а расчет сложных схем с несколькими статическими выпрямителями с учетом их взаимовлияния оказывается практически невозможным.

Кроме того, в качестве исходных данных существующих аналитических методов, кроме параметров схем замещения СЭЭС с преобразователями, используют углы управления и коммутации.

Другой метод расчета показателей качества несинусоидальных электромагнитных процессов основан на решении полных дифференциальных уравнений, описывающих указанные процессы в исследуемой СЭЭС, получении мгновенных значений напряжения и проведении гармонического анализа. Этот метод по точности и универсальности значительно превосходит аналитический. Применение персо-

нальных компьютеров (ПК) позволяет принять в качестве исходных расчетных данных известные параметры рассчитываемой СЭЭС со статическими выпрямителями, причем ПК автоматически выполняет все необходимые операции по заданной программе. Однако такой подход приводит к существенному усложнению расчетов, которые также должны производиться итеративными методами.

Для преодоления указанных трудностей возникает необходимость разработки комплекса полиномиальных моделей несинусоидальных процессов в СЭЭС с силовыми статическими преобразователями, работающими в установившихся режимах.

Для расчета коэффициента искажения и гармонических составляющих напряжения в СЭЭС со статическими преобразователями целесообразно использовать упрошенные вычислительные модели, в основу которых положен структурно-параметрический метод моделирования.

В схеме замещения, соответствующей этой модели, генератор представлен в виде источника трехфазного неискаженного напряжения, в каждой фазе которого включено индуктивное сопротивление коммутации генератора, которое представляется в виде:

$$x_Г = \frac{x''_d + x''_q}{2}, \qquad (1)$$

где x_d'' и x_q'' – сверхпереходные индуктивные сопротивления генератора по продольной и поперечной осям.

Рассмотрим особенности работы СЭЭС с одиночными преобразователем. Для разработки полиномиальных моделей процессов в таких СЭЭС необходимо выбрать расчетные параметры схемы замещения, величины которых определяют показатели искажения формы кривой напряжения [1]. При этом целесообразно использовать четыре расчетных параметра, характеризующих соотношения между параметрами выпрямителя и электростанции, и один или два параметра нагрузки. Все исходные данные СЭЭС при определении расчетных параметров должны быть выражены в безразмерных относительных единицах исследуемой СЭЭС.

В качестве первых четырех расчетных параметров предлагается рассматривать расчетную потребляемую мощность преобразователя, расчетное индуктивное сопротивление коммутации генераторов электростанции, глубину регулирования выходного напряжения преобразователя, расчетное напряжение входной цепи преобразователя

Наиболее существенное влияние на величины показателей искажения формы кривой напряжения оказывает расчетная полная мощность преобразователя, которая представляет собой соотношение между полными мощностями выпрямителя и параллельно работающих генераторов электростанции.

Расчетное индуктивное сопротивление коммутации генераторов в общем случае определяется выражением (1). При параллельной работе нескольких генераторов электростанции они заменяются одним эквивалентным генератором, мощность которого равна сумме мощностей всех генераторов. В случае параллельной работы однотипных генераторов эквивалентное расчетное сопротивление электростанции равно соответствующему сопротивлению одного генератора.

На работу СЭЭС со статическими преобразователями существенное влияние оказывают асинхронные двигатели. Влияние асинхронной нагрузки на протекание электромагнитных процессов в системе синхронный генератор – асинхронная нагрузка – статический преобразователь проявляется в уменьшении углов коммутации тиристоров преобразователей. Можно показать, что синхронный генератор и асинхронные двигатели целесообразно заменять источником трехфазного напряжения с эквивалентным внутренним сопротивлением, равным:

$$x_{Гэ} = \frac{x_{АД} x''_d}{2(x_{АД} x''_d)} + \frac{x_{АД} x''_q}{2(x_{АД} x''_q)}, \qquad (2)$$

где $X_{АД} = \frac{S'_r}{K_П S_{АД}}$ – индуктивное сопротивление короткого замыкания эквивалентного асинхронного двигателя; $S_{АД}$ – суммарная полная мощность асинхронной нагрузки; $K_П$ – кратность пускового тока эквивалентного двигателя.

В качестве третьего расчетного параметра схемы замещения СЭЭС со статическими преобразователями рассматривают приведенное напряжение входной цепи. В схемах с входным трансформатором этому параметру соответствует напряжение короткого замыкания трансформатора $U_к$, а в схемах с входным реактором – падение напряжения на реакторе $U_р$, выраженные в относительных единицах. В общем случае приведенное напряжение входной цепи можно представить следующим образом:

$$U_ц = x_ц S_{пр}, \qquad (3)$$

где $x_ц$ – индуктивные сопротивления входной цепи преобразователя.

При разработке полиномиальных моделей следует учитывать, что величины расчетной полной мощности выпрямителя и эквивалентного индуктивного сопротивления коммутации генераторов наиболее сильно влияют на значения показателей качества несинусоидальных процессов, в частности коэффициента искажения кривой напряжения и гармонических составляющих напряжения. Поэтому при изменении указанных параметров в определенных диапазонах значения показателей также меняются в широких пределах, что приводит к существенному уменьшению точности аппроксимации в области малых значений коэффициента искажения. Для уменьшения пределов изменения аппроксимируемого показателя произведем некоторые преобразования.

Как известно, относительная величина ν-й гармонической составляющей напряжения $U_\nu = U_\nu^* / U_1^*$ СЭЭС со статическими преобразователями может быть представлена через относительную величину ν-й гармонической составляющей тока следующим образом:

$$U_\nu = \nu * S_{пр} x_Г I_\nu. \qquad (4)$$

Тогда величину коэффициента искажения можно представить выражением:

$$J_u = \sqrt{\sum_{\nu=2}^{\nu_{max}} U_\nu^2} = S_{пр} x_Г \sqrt{\sum_{\nu=2}^{\nu_{max}} \nu^2 I_\nu^2}. \qquad (5)$$

Соответственно: $J_u = S_{пр} x_Г J_{uпр}$, где $J_{Uпр} = \sqrt{\sum_{\nu=2}^{\nu_{max}} \nu_2 I_\nu^{*2}}$ – приведенный коэффициент искажения.

Величины приведенного коэффициента искажения $J_{uпр}$ и гармонических составляющих тока меняются в достаточно ограниченных пределах. Поэтому точность аппроксимации приведенных показателей искажения $J_{uпр}$, νI_ν будет значительно выше, чем у соответствующих непреобразованных показателей, в особенности в областях значений показателей.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:
Барщевский Е. Г., Зубарев Ю. Я. Основы вычислительного эксперимента. Санкт-Петербург, 2009.

УЧРЕЖДЕНИЕ: Волжская государственная академия водного транспорта (ВГАВТ)

ТЕМА: Обоснование и этапы разработки финансового ресурсного потенциала предприятий внутреннего водного транспорта

АВТОР: Алексей ВОРОБЬЕВ, доцент кафедры «Финансы и кредит»

АННОТАЦИЯ: В статье приводится обоснование использования понятия финансового ресурсного потенциала (ФРП) при разработке финансовой стратегии корпорации. Рассматривается логика разработки ФРП и авторская методика его расчета для предприятий внутреннего водного транспорта (ВВТ)

Управление современным предприятием невозможно без анализа и оценки его реального состояния и возможностей дальнейшего развития. Ресурсный потенциал предприятия как единая система взаимосвязанных элементов определяет перспективы роста товарооборота, формирования доходов, получения прибыли и многие другие аспекты операционной, финансовой и инвестиционной деятельности. В связи с этим необходим соответствующий методический инструментарий оценки финансового ресурсного потенциала предприятий, отвечающий современным требованиям.

Автор предлагает сформулировать определение, дающее представление о финансовом ресурсном потенциале предприятия (ФРП).

ФРП – это максимальная возможная сумма привлекаемых и мобилизуемых ликвидных активов предприятия (в определенный период времени) для повышения эффективности производства, достижения определенных финансовых результатов, формирования доходов, получения прибыли и многих других аспектов.

Другими словами – это сумма средств, которую компания может привлечь и мобилизовать в определенный срок. При расчете ФРП учитываются не только данные актива компании, но и экономические величины – возможность привлечения средств.

ФРП намного упрощает разработку и реализацию финансовой стратегии, поскольку является показателем, оценивающим реальные финансовые возможности предприятия. На практике адекватная оценка практически не проводится, и не существует методики, позволяющей реально оценить возможности предприятия. На данный момент все сводится к оценке стоимости предприятия (бизнеса).

Для нас существующие методики оценки представляют интерес как основа для дальнейшего расчета ФРП.

Оценка предприятия представляет собой упорядоченный целенаправленный процесс определения в денежном выражении стоимости объекта с учетом потенциального и реального времени в условиях конкретного рынка. Целью этого процесса является расчет в денежном выражении стоимости, которая может быть наиболее вероятной продажной ценой и характеризовать свойства предприятия как товара, т.е. его полезность и затраты, необходимые для этой полезности [3].

Для нашего исследования наиболее важна оценка кредитоспособности предприятия и определение будущей стоимости проекта как отправная точка расчета ФРП. Следует отметить, что поиск ФРП отличался бы простотой при расчете на основании балансовой стоимости активов. Но данная цена активов зачастую в несколько раз отличается от рыночной, т. к. в бухгалтерском учете занижается цена имущества в целях уменьшения налогооблагаемой базы.

Такой подход оправдывает себя, если предприятие не проводит кредитную политику и оптимизирует налогообложение. Если предприятию требуются незначительные средства, то достаточно бухгалтерской стоимости залога. В нашем случае требуется максимально возможная сумма привлекаемых средств, следовательно, необходима рыночная оценка стоимости имущества как залога.

Методики определения стоимости компании базируются на российском и международном законодательствах.

Российское законодательство опирается на положения Международных стандартов оценки [2]. В российском законодательстве основой для проведения экспертизы ресурсов предприятия и прав на них служит Гражданский кодекс Российской Федерации, другие законодательные и нормативные акты, в том числе в сфере приватизации, банкротства, арендных отношений, залога, ипотеки, рынка ценных бумаг, интеллектуальной собственности и др. Непосредственно регулирует оценочную деятельность Федеральный закон «Об оценочной деятельности в Российской Федерации».

В зависимости от цели проведения оценки выбирается вид стоимости. Одна и та же имущественная позиция может иметь разную величину стоимости: стоимость для целей инвестирования существенно отличается от стоимости для передачи в залог. Следовательно, существует некоторое количество видов стоимости. Их необходимость обусловлена целями оценки. Все виды стоимости можно отнести к двум категориям: стоимость в обмене и стоимость в пользовании.

Стоимость в обмене – это цена, которая будет преобладать на свободном, открытом и конкурентном рынке на основе равновесия, устанавливаемого факторами предложения и спроса. Определяющей формой стоимости в обмене является рыночная стоимость. Международные стандарты оценки при определении рыночной стоимости вводят ряд важных условий:

1. Рынок является открытым и конкурентным и позволяет свободно взаимодействовать достаточному числу покупателей и продавцов конкурентоспособных объектов собственности.

2. Покупатель и продавец оцениваемой собственности типичны по своей мотивации, экономически рациональны, не находятся под посторонним давлением, разумно осторожны, обладают необходимыми знаниями и стремятся в максимальной степени реализовать свои интересы.

3. Собственность будет находиться на рынке в течение разумного периода времени, чтобы быть доступной для потенциальных покупателей.

4. Выплата продавцу будет произведена деньгами или денежным эквивалентом.

5. Покупатель способен приобрести собственность на типичных для данного рынка условиях финансирования.

Первое условие открытости рынка в России не всегда выполняется. Наша работа ориентирована на отрасль ВВТ, довольно значительная часть предприятий, а именно порты, признана естественными монополиями. Компании, занимающиеся перевозками, образуют олигополистический рынок с территориальным разделением. Хотя в Российской Федерации зарегистрировано более 2000 лицензиатов, подавляющее большинство из них – мелкие перевозчики, которых не стоит принимать в расчет. На рынке присутствует несколько крупных компаний, образованных во времена СССР, которые прошли акционирование, но так и остались крупнейшими на своих территориях. Среди этих компаний (портов, бассейновых управлений) существует конкуренция в отдельных видах деятельности, но уровень такой конкуренции незначителен [1].

Учитывая факт неполного выполнения условия открытости рынка, мы можем ввести понятие условной рыночной цены, что будет отражать стоимость, максимально приближенную к рыночной в условиях конкуренции.

Стоимость в пользовании – это стоимость собственности для конкретного пользователя или группы пользователей при данном способе использования. Наиболее используемый вид стоимости в пользовании – инвестиционная стоимость, которая определяется в целях конкретного инвестора, где критерием выбирается риск и доходность инвестиций.

Для определения ФРП такая стоимость подходит меньше, поскольку мы не оцениваем эффективность инвестиционного проекта, а только пытаемся его запустить, т. е. начать реализацию. Для нас инвестиционная стоимость представляет интерес только в сравнении с рыночной действительной стоимостью – как изменится потенциал в дальнейшем.

Следовательно, для расчета ФРП мы будем использовать стоимость в обмене, непосредственно условную рыночную стоимость, поскольку именно данный вид стоимости наиболее отвечает нашим задачам.

Применительно к расчету ФРП за основу следует принимать данные бухгалтерского учета с корреляцией на рыночную стоимость имущества. Только в материалах бухгалтерского учета наиболее полно отражены такие показатели, как дебиторская и кредиторская задолженность, наличные средства.

Коррелирующая же величина рассчитывается на основании общих данных. Следовательно, основа ФРП, т. е. реальная стоимость предприятия, имеет следующий вид:

Реальная стоимость компании =
= бухгалтерская стоимость •
коррелирующая величина
(к рыночной стоимости). **(1)**

В данной формуле наиболее трудным для расчета является коррелирующая величина, которая может быть получена только на основании анализа рыночных факторов и сравнения. Следовательно, для адекватной оценки стоимости предприятия необходим учет как общих, так и специфических данных.

Существует по меньшей мере 4 подхода к оценке рыночной стоимости компании: затратный, сравнительный, доходный и комплексный. Чтобы провести анализ подходов к оценке стоимости предприятия (бизнеса), необходимо задать критерии, которым удовлетворяют или не удовлетворяют данные подходы. Критерии мы задаем с позиции расчета ФРП.

1. Методика расчета должна обладать доступностью и некоторой простотой, поскольку для разработки финансовой стратегии необязательно прибегать к услугам профессионального оценщика, все расчеты проводятся на уровне финансового отдела.

2. Полученная оценка должна отображать реальную стоимость предприятия без учета будущего инвестиционного дохода, поскольку для расчета ФРП нам необходима залоговая стоимость (стоимость имущества, отраженная в бухгалтерском балансе, зачастую не соответствует действительности).

3. Расчет ФРП ориентирован на предприятия ВВТ, которые имеют свою специфику рыночной конъюнктуры. Крупнейшие предприятия отрасли образованы исторически, имеют свой территориальный рынок, и конкуренция среди них существует на уровне отдельных операций. Более того, некоторые предприятия отрасли на законодательном уровне признаны естественными монополиями.

Сравнительный анализ подходов, позитивные и негативные стороны, область применения, приведенные в таблице, показали, что:

– по критерию области применения наиболее соответствуют заданным условиям расчета ФРП затратный, сравнительный и комплексный подходы;

– простотой расчета отличаются затратный и доходный подходы;

– адекватность оценки заданным условиям присуща сравнительному и комплексному подходам;

– учитывают специфику отрасли затратный, сравнительный и комплексный подходы.

Для расчета ФРП наиболее подходит затратный метод, но он не учитывает рыночную специфику. Комплексный подход наиболее трудоемок и требует привлечения специалистов. Сравнительный подход менее трудоемок и учитывает рыночные факторы. Следовательно, для основы расчета ФРП целесообразно использовать затратный подход с элементами сравнительного, что как раз и отражает формула 1.

В рамках каждого подхода существует несколько методик определения стоимости предприятия.

Анализ методик, используемых в рамках затратного подхода к определению стоимости предприятия, позволяет утверждать, что любую из них можно трансформировать в формулу расчета залоговой стоимости имущества. В силу наименьшей трудоемкости (что отвечает условиям расчета ФРП) наиболее подходит нашим условиям метод накопления активов.

Определим залоговую стоимость имущества методом накопления активов, применив формулу 2:

$$ЗС=((Сч.01-Сч.02+Сч.07+Сч.08) \cdot Кр \cdot Кпзс)+ +((Сч.10+Сч.20+Сч.21+Сч.23+Сч.43+\ldots +Сч.41) \cdot Кпзс), \quad (2)$$

где: ЗС – залоговая стоимость; Сч – счета бухгалтерского баланса; Кр – рыночный коэффициент, используется для адекватного рыночной конъюнктуре отражения стоимости имущества; Кпзс – коэффициент понижения залоговой стоимости, учитывает плату за кредит, прибыль кредитной организации.

Учитывая специфику отрасли транспорта – транспортную продукцию не возможно накапливать, – для расчетов можно исключить из формулы показатели счетов Сч.10, Сч.20, Сч.21, Сч.23, Сч.43, Сч.41, отражающие как раз структуру продукции. Следовательно, для определения залоговой стоимости предприятия отрасли водного транспорта можно использовать следующую формулу:

$$ЗС=((Сч.01-Сч.02 +Сч.07+ Сч.08) \cdot Кр \cdot Кпзс). \quad (3)$$

Без учета поправки на рыночную стоимость данный метод был бы наиболее приемлем для расчета ФРП (рыночный коэффициент наиболее трудно оценивается). Если же учет ведется максимально приближенно к рыночным ценам или предприятие сравнительно молодое, то данная методика будет наиболее соответствовать ФРП.

В ФРП, помимо расчета залоговой стоимости, должны входить следующие данные: накопленная сумма амортизационных отчислений, денежные средства на расчетном счету и в кассе, дебиторская задолженность, прочие ликвидные активы, возможная сумма, привлеченная через дополнительный выпуск акций, возможная сумма выпуска облигаций, налоговый кредит. Теоретически расчет ФРП имеет следующий вид (формула 4):

$$ФРП=ЗС+ЛА+ДЗ+Ад+О, \quad (4)$$

где: ЗС – залоговая стоимость имущества предприятия; ЛА – высоколиквидные активы; ДЗ – дебиторская задолженность; Ад – сумма дополнительного выпуска акций; О – сумма выпуска облигаций.

Для нормального и законного функционирования предприятия при привлечении денежных средств должны быть ограничения (они не обозначены в существующих формулировках «финансового потенциала», но обязательно должны быть учтены в практическом расчете), а именно:

1. При расчете залоговой стоимости имущества предприятия должен быть учтен уже существующий залог. Тогда формула расчета залоговой стоимости примет следующий вид:

$$ЗС=((Сч.01-Сч.02+Сч.07+ +Сч.08-ЗСр) \cdot Кр \cdot Кпзс), \quad (5)$$

где: Сч.01 – основные средства; Сч.02 – износ основных средств; Сч.07 – оборудование к установке; Сч.08 – капитальные вложения; ЗСр – залоговая стоимость реализованная (балансовая стоимость объектов, находящихся в залоге); Кр – рыночный коэффициент, используется для адекватного рыночной конъюнктуре отражения стоимости имущества.

Сравнительный подход к оценке стоимости бизнеса предполагает расчет на основе сравнения с аналогичными объектами. Но предприятия водного транспорта уникальны, и

Сравнительный анализ подходов к оценке предприятия с позиции расчета ФРП

Подход	Область применения	Преимущества	Недостатки	Простота методики расчета	Адекватность оценки	Соответствие специфике отрасли
Затратный	**Для объектов специального назначения, по которым нет аналогичных продаж; в условиях пассивного рынка, когда нет аналогичных продаж;** для целей страхования; в инвестиционных проектах для реконструкции или строительства нового; для целей налогообложения; **для получения кредита**	Учитывает влияние производственно-хозяйственных факторов на изменение стоимости активов; дает оценку уровня износа активов; опирается на реальные финансовые документы, что гарантирует обоснованность результатов	Отражает прошлую стоимость; не учитывает рыночную ситуацию на дату оценки	+		+
Доходный	В инвестиционных целях для оценки будущих доходов; **для оценки будущей структуры капитала;** в управленческих целях	Учитывает интересы инвестора; интересен как прогноз стоимости после реализации финансовой стратегии	Допускает несколько норм доходности, что затрудняет принятие решения; не учитывает конъюнктуру рынка	+		
Сравнительный	В инвестиционных целях; **для адекватной рыночной оценки;** в управленческих целях	Базируется на реальных рыночных данных; отражает существующую практику; учитывает влияние отраслевых факторов на цену предприятия	Недостаточно адекватно характеризует особенности технической, финансовой подготовки; требует множества коррелирующих величин		+	+
Комплексный	**Для наиболее адекватной оценки стоимости предприятия**	Дает наиболее точную оценку с учетом большинства факторов влияния	Характеризуется сложностью расчета и получения информации; требует привлечения специалистов		+	+

рынок продаж по таким компаниям практически отсутствует, что не позволяет выявить базу сравнения.

Авторы данного исследования предлагают взять для расчета наиболее доступный объект – предприятие для сравнения. Данное имущество должно соответствовать следующим условиям:

– объект должен быть отдельно стоящим, не заходить на водную акваторию. Данное условие вводится для того, чтобы характеристики совпадали с присутствующими на рынке объектами;

– объект может выполнять производственные функции, не связанные со спецификой водного транспорта. Данное условие вводится для того, чтобы базой сравнения могли выступать предприятия, не имеющие отношения к водному транспорту;

– технические характеристики должны быть максимально приближены. Сравнительная база должна быть адекватной: площадь, степень износа, подъездные пути, техническое оснащение (системы электропитания, вентиляции и т.д.);

– если объектом залога является и подвижной состав, то можно использовать сравнительную базу зарубежных рынков. В то же время сейчас развивается отечественное судостроение, и в ближайшем будущем появится достаточно данных российского рынка.

Авторы предлагают следующую методику расчета рыночного коэффициента:

$$Кр = \frac{\text{Рыночная стоимость аналогичного объекта}}{\text{Балансовая стоимость расчетного объекта}}.$$

В сложившейся ситуации, а именно при отсутствии рынка продаж по аналогичным объектам, данный коэффициент наиболее адекватно будет отражать рыночную стоимость расчетного объекта. Еще раз стоит отметить, что необходимым условием расчета ФРП должна быть простота его определения. Поэтому автор ориентируется на внутренний персонал, а не на привлекаемых специалистов.

Кпзс – коэффициент понижения залоговой стоимости учитывает плату за кредит, прибыль кредитной организации. Он всецело зависит от условий кредитования. Имеют значение плата за кредит, условия платежей. При расчете следует учесть страховые риски по кредитам, которые закладывает банк.

ЛА – высоколиквидные активы. К данной группе, применительно к нашим расчетам, следует отнести наличные средства в кассе и на расчетном счету, акции и облигации, находящиеся в собственности компании, накопленную сумму амортизационных отчислений, прочие, которые достаточно быстро могут быть обменены на деньги.

ДЗ – дебиторская задолженность (сумма дебиторской задолженности, которая может быть востребована в короткие сроки).

Ад – сумма дополнительного выпуска акций. Один из вариантов достаточно дешевого привлечения средств. Здесь необходимо ввести одно ограничение – сохранение структуры собственников. Логически собственник заинтересован в сохранении уровня или доли в управлении компанией. Это касается крупных акционеров, но и решения по привлечению капитала принимают только они. Федеральный закон «Об акционерных обществах» гласит [4]:

1. Уставной капитал общества может быть увеличен путем увеличения номинальной стоимости акций или размещения дополнительных акций.

2. Дополнительные акции могут быть размещены обществом только в пределах количества объявленных акций, установленного уставом общества.

3. Увеличение уставного капитала общества путем размещения дополнительных акций может осуществляться за счет имущества общества. Увеличение уставного капитала общества путем увеличения номинальной стоимости акций осуществляется только за счет имущества общества.

Данные ограничения, накладываемые законодательством, подразумевают, что привлекаемые таким образом средства не должны превышать настоящую бухгалтерскую стоимость основных фондов. Следовательно, мы можем выразить стоимость дополнительного выпуска, как:

$$Ад = Сч.01. \qquad (6)$$

Дополнительные акции теоретически должны быть реализованы среди максимального количества инвесторов, чтобы не допустить противовеса в управлении компанией. Как один из вариантов – выпуск привилегированных акций. Конечно, это будет дешевле, чем банковский кредит, но через несколько лет сумма платежей по дивидендам превысит стоимость кредита.

О – сумма выпуска облигаций. Федеральный закон «Об акционерных обществах» определяет следующие условия выпуска облигаций:

1. Облигация должна иметь номинальную стоимость. Номинальная стоимость всех выпущенных обществом облигаций не должна превышать размер уставного капитала общества либо величину обеспечения, предоставленного обществу третьими лицами для цели выпуска облигаций.

2. Размещение облигаций обществом допускается после полной оплаты уставного капитала общества.

3. Указанные ограничения на выпуск облигаций не распространяются на выпуск облигаций с ипотечным покрытием.

Теоретически мы можем приравнять стоимость выпуска облигаций, как и в формуле 6, к стоимости основных фондов. Стоит отметить, что выпуск облигаций можно осуществить и после дополнительного выпуска акций, тогда теоретически номинальная стоимость выпуска будет:

$$О = Сч.01 \cdot 2. \qquad (7)$$

Такая поливариантность привлечения денежных средств дает большой простор для оценки возможностей предприятия и для реализации кредитной политики. Исходя из свойств облигации, определенных законодательством, следует учесть, что облигации могут быть обеспеченные и необеспеченные. Хорошо, если компания имеет возможность выпустить и реализовать необеспеченные облигации или с гарантийным обеспечением. Если же облигации обеспечены имуществом, то из формулы расчета финансового ресурсного потенциала (4) следует убрать залоговую стоимость имущества, поскольку это противоречит законодательству, т.е. имущество не может быть заложено одновременно в нескольких местах.

Исходя из определения финансового ресурсного потенциала, мы предполагаем, что можем привлечь максимально возможную сумму, следовательно, принимаем в расчет облигационный заем, необеспеченный или обеспеченный гарантией государства, банка или третьих лиц.

Учитывая условия, определенные законодательством для выпуска дополнительных акций и облигаций, мы можем определить сумму данных операций:

$$Ад+О = Сч.01 \cdot 4. \qquad (8)$$

То есть сумма выпуска дополнительных акций не превышает настоящего уставного капитала, сумма выпуска облигаций может быть проведена после дополнительного выпуска акций.

Принимая во внимание указанное обстоятельство, выводим формулу ФРП предприятий водного транспорта:

$$ФРП=((Сч.01-Сч.02+Сч.07+ +Сч.08-ЗСр) \cdot Кр \cdot Кпзс)+ЛА+ДЗ+4 \cdot Сч.01. \qquad (9)$$

В данной формуле не учитывается возможная прибыль общества в указанный период, т. к. при реализации финансовой стратегии или инвестиционных проектов прибыль компании поливариантная, т.е. практически не поддается прогнозу. Более того, практически вся прибыль компании будет уменьшена на сумму существующих и возникших обязательств. При расчете ФРП следует ввести следующее ограничение:

$$П>=ОБ, \qquad (10)$$

где: П – прибыль общества в указанный период; ОБ – сумма выплат по существующим и возникшим обязательствам. Сюда входят: выплаты по существующим кредитам и иным обязательствам, выплаты по возникающим теоретическим обязательствам, если они должны проводиться в достаточно короткий срок.

Следовательно, одним из основных условий расчета ФРП является сохранение точки безубыточности.

Руководство компании может изменять условия расчета ФРП по своему усмотрению, если некоторые варианты займа заведомо неприемлемы для компании. Такими условиями могут быть:

– компания заложила все свое имущество или выдала гарантии под свое имущество;

– компания потенциальный банкрот;

– выплаты по существующим обязательствам равны или немного меньше прибыли;

– проведены облигационные займы;

– реализованы иные варианты привлечения денежных средств, не позволяющие дальнейшее заимствование.

ФРП учитывает максимальное количество вариантов финансирования и служит для обоснованности финансовой стратегии или того или иного варианта инвестирования. В финансовой стратегии предусматривается реализация кредитной политики, что как раз и направлено на выбор источника финансирования. ФРП практически не нужен для обоснования финансовой стратегии, если в ней не предусмотрены значительные инвестиции. Но мы рассматриваем предприятия, ориентированные на развитие, на увеличение доли рынка, что невозможно без дополнительного финансирования.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Воробьев А.В. Управление предприятиями водного транспорта на основе повышения их конкурентоспособности. Диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук. Нижний Новгород, 2004.
2. Международные стандарты оценки: перевод, комментарии, дополнения / Международный комитет по стандартам оценки. В 2 т., М.: Аскери-ASCA, 2000.
3. Сычева Г.И., Колбачев Е.Б., Сычев В.А. Оценка стоимости предприятия (бизнеса). Серия «Высшее образование». – Ростов н/Д: «Феникс», 2004 – 384 с.
4. www.consultant.ru/popular/stockcomp/ Сайт «Консультант плюс».
5. Федеральный закон «Об акционерных обществах». Принят Государственной думой 24 ноября 1995 года (в ред. Федеральных законов от 13.06.1996 № 65-ФЗ, от 24.05.1999 № 101-ФЗ, от 07.08.2001 N 120-ФЗ).

УЧРЕЖДЕНИЕ: Волжская государственная академия водного транспорта (ВГАВТ)

ТЕМА: Научные подходы к решению практических задач организации бункеровки судов нефтепродуктами на внутренних водных путях

АВТОР: В.В. ЦВЕРОВ, кандидат технических наук, доцент кафедры логистики и маркетинга

АННОТАЦИЯ: В статье описывается научный подход к обоснованию выбора судоходной компанией бункеровочной фирмы в качестве стратегического партнера по услугам бункеровки

Для судоходных компаний (СК), осуществляющих свою деятельность на внутренних водных путях (ВВП), организация бункеровки судна нефтепродуктами (НП) делится на ряд задач: выбор бункеровочной компании (БК), пункта бункеровки, момента бункеровки, планирования затрат времени судов на операции, связанные с бункеровкой. Первую из них целесообразно решать в рамках подбора стратегических партнеров на предстоящую навигацию, вторую – принятие решения о пункте бункеровки – в оперативных условиях с учетом принятых стратегических решений по первой задаче, а третью и четвертую – в рамках согласования с БК.

При выборе БК и места очередной бункеровки главным для судовладельца является соотношение стоимости обслуживания и его качества. При этом надежность бункеровки, как один из показателей качества обслуживания судов, является необходимым в условиях конкурентной среды. Без современных технических средств организации бункеровки обеспечить это невозможно. Вместе с тем большинство БК осуществляют снабжение флота через физически изношенные технические средства. В связи с этим требуется разработка методик выбора БК и места бункеровки судов для СК, учитывающих критерии экономичности и надежности. Рассмотрим решение их по отдельности.

Ниже приводится метод обоснования выбора БК, предназначенный для определения основного поставщика услуг бункеровки НП судоходными компаниями на ВВП [11].

Выбор делается с целью заключения договора на обслуживание в течение навигации. В силу особенности объектов снабжения (меняющих место расположения судов) к организации снабжения судов НП предъявляются дополнительные требования по сравнению с обычными поставщиками. Учитываются следующие факторы, влияющие на результаты деятельности компании:

– прогнозируемый объем потребления на навигацию;

– совмещение района плавания флота СК и дислокации пунктов бункеровки поставщика;

– плотность размещения пунктов бункеровки поставщика в районе плавания флота СК;

– ценовая политика (уровень цен и скидок с объема НП);

– иммобилизация денежных средств СК в запасы НП;

– потери провозной способности флота из-за отвлечения на операции, связанные со снабжением;

– затраты по флоту на выполнение операций, связанных со снабжением;

– потери провозной способности флота из-за использования части грузоподъемности судна под хранение запаса НП;

– возможности использования разности в осадке судна с запасом топлива и без него для дополнительной перевозки грузов;

– взаимоотношения с поставщиком по срокам расчетов;

– принадлежность подлежащего бункеровке НП (нефтепродуктов БК или так называемые «давальческие» НП – закупаемые СК, когда БК предоставляет только услуги по бункеровке и не продает НП).

В качестве критерия выбора поставщика выступают минимальные суммарные издержки СК, связанные со снабжением НП. В тех случаях, когда БК выступает поставщиком НП:

$$З = З_{тб} + З_{сб} + И_{ис} + И_{стр} + И_{псз} + И_{псб}, \qquad (1)$$

где З – суммарные издержки СК, связанные со снабжением НП, руб.; $З_{тб}$ – затраты по платежам за НП и бункеровку, руб.; $З_{сб}$ – затраты по судам за время бункеровки, руб.; $И_{ис}$, $И_{стр}$ – издержки, связанные с иммобилизацией денежных средств в циклические и страховые запасы НП, находящихся на судах, руб.; $И_{псз}$, $И_{псб}$ – издержки, связанные с уменьшением провозной способности СК, соответственно, из-за хранения на судне запасов НП и отвлечения судов на операции, связанные со снабжением НП, руб.

Затраты по платежам за НП и бункеровку носят нелинейную зависимость от объема потребления НП флотом, работающим в рассматриваемом районе плавания, так как цена на НП, отпускаемые БК, зависит от договорного навигационного объема бункеровки (Gт).

Затраты по судам за время бункеровки (включающие расходы по содержанию судов за время подхода, ожидания, бункеровки и отхода от бункеровочных станций (БС) и циклические запасы нефтепродуктов зависят от размера заказа топлива. А оптимальный размера заказ топлива судами на БС находится в функциональной зависимости от таких переменных, характеризующих поставщика и параметры объекта снабжения, как: цена топлива, среднесуточная потребность в топливе судов, себестоимость содержания судна на маневрах и на стоянке, продолжительность подхода и отхода судна от БС, продолжительность ожидания обслуживания и бункеровки на БС судами.

Издержки по содержанию страхового запаса на судах зависят от его размера, а он в свою очередь – от дислокации бункеровочных пунктов поставщика в районе плавания рассматриваемого флота (расстояния между пунктами бункеровки БК в рассматриваемых районах плавания); интенсивности судоходства на участке, обслуживаемом рассматриваемой БК.

Издержки, связанные с уменьшением провозной способности флота из-за хранения на судне запаса НП, также имеют прямую зависимость от размера заказа топлива и страхового запаса топлива.

Издержки, связанные с уменьшением провозной способности флота из-за отвлечения судов на операции, связанные со снабжением НП, напрямую связаны с размером заказа топлива и затратами времени на операции, связанные с бункеровкой.

При использовании варианта бункеровки на «давальческом» топливе, кроме издержек на иммобилизацию денежных средств в циклические запасы в судах, должны учитываться издержки на иммобилизацию денежных средств в циклические запасы «давальческого» топлива на БС, а затраты по платежам за НП и бункеровку (Зтб) преобразуются в три составляющих: затраты по поставкам, доставке и услуге бункеровки.

МЕТОД ВЫБОРА МЕСТА ОЧЕРЕДНОЙ БУНКЕРОВКИ СУДНА НП

Судовладельцу требуется знать, где в создавшихся оперативных условиях на момент принятия решения выгоднее бункеровать судно НП: в каких случаях бункероваться на ближайшей БС, а в каких отложить до следующего пункта бункеровки. Для принятия решения предлагается метод, позволяющий принять решение об оптимальном месте очередной бункеровки [12]. В качестве учитываемых факторов рассматриваются:

– размеры запасов по видам НП на рассматриваемой БС к моменту бункеровки;

– потребность в топливе до альтернативного варианта пополнения запаса;

– потери провозной способности судна вследствие пополнения запаса в рассматриваемом и альтернативном вариантах;

– иммобилизация средств в запасы НП;

– затраты по содержанию судна, связанные с бункеровкой в рассматриваемом и альтернативном вариантах;

– размер платежей за бункеровку в вариантах снабжения;

– учет стохастичности транспортного процесса и потребления НП.

Минимальный запас топлива, обеспечивающий ход судна до следующего пункта бункеровки, обычно определяется исходя из расстояния, скорости хода и среднесуточного расхода топлива.

Данный запас не учитывает дополнительный расход топлива на технологические операции (стоянку под различными видами обслуживания и т. п.) и риски, связанные со стохастичностью транспортного процесса и потребления нефтепродуктов. Он должен быть откорректирован с учетом страховой составляющей. Страховой запас топлива на судне должен учитывать:

– расход топлива на движение до БС, гарантирующей бункеровку;

– повышенный расход топлива в течение времени до момента гарантированного его пополнения;

– неплановые простои в ожидании операций транспортного процесса;

– простои из-за условий судоходства (метеоусловий, глубин и т. п.).

Кроме того, должна учитываться вероятность отказа в бункеровке в альтернативном пункте. Если бункеровка там гарантируется на уровне ниже критического, то рассматривается еще одна альтернативная БС, и для нее определяется уровень гарантированности обслуживания. Проверка продолжается до тех пор, пока общая гарантированность получения требуемых НП будет не менее критической (или вероятность отказа в бункеровке будет меньше критической).

В расчеты по размеру страхового запаса закладывается расстояние до первой по пути следования БС, по которой обеспечивается условие гарантированности снабжения топливом. В тех случаях, когда маршрут следования судна не определен, в расчеты закладывается максимальное расстояние до БС по возможным районам плавания данного судна.

Размер текущего запаса топлива на судне ($G_{тзтс}$) сравнивается с требуемым страховым запасом: если $G_{тзтс}<G_{стрс}$, то принимается решение о пополнении запаса на рассматриваемой БС; если $G_{тзтс}>G_{стрс}$, то требуется провести экономические расчеты по рациональному пункту бункеровки.

Оптимальной, для создавшихся на момент принятия решения о бункеровке условий, является БС, по которой суммарные издержки, связанные с бункеровкой, будут минимальны. Для принятия решения по каждому из альтернативных вариантов снабжения рассчитываются суммарные издержки, связанные со снабжением.

В тех случаях, когда БК выступает поставщиком НП (то есть продает не только услугу бункеровки, но и НП):

$$З_i = З_{тбi} + З_{сбi} + И_{исi} + И_{псзi} + И_{псбi}, \qquad (2)$$

где $З_i$ – издержки СК, связанные со снабжением через i-ю БС, руб.; $З_{тбi}$ – платежи за НП и бункеровку через i-ю БС, руб.; $З_{сбi}$ – затраты по судну за время бункеровки через i-ю БС, руб.; $И_{исi}$ – издержки, связанные с иммобилизацией денежных средств в запасы НП, находящиеся на судне при бункеровке через i-ю БС, руб.; $И_{псзi}$, $И_{псбi}$ – издержки, связанные с уменьшением провозной способности флота из-за соответственно хранения на судне запаса НП и отвлечения судна на снабжение через i-ю БС, руб.

Затраты по содержанию судна при бункеровке через i-ю БС, связанные с бункеровкой:

$$З_{сбi} = (S_м \cdot (t_{подi} + t_{отi}) + S_{ст} \cdot (t_{ожi} + t_{бi})), \qquad (3)$$

где $S_м$, $S_{ст}$ – себестоимость содержания судна соответственно на маневрах и на стоянке, руб./сут; $t_{подi}$, $t_{отi}$, $t_{ожi}$, $t_{бi}$ – продолжительность соответственно подхода, отхода, ожидания обслуживания и бункеровки судна по i-й БС, сут.

Продолжительность ожидания судном готовности несамоходных БС к обслуживанию связана с наличием очереди на обслуживание и проведением операций по подготовке НП к отпуску. В настоящее время она не регламентируется, а рассчитывается на основе теории массового обслуживания (средней очереди, средней занятости, среднего обслуживания одного судна), вследствие чего является постоянной, независимо от сложившихся условий на момент принятия решения о бункеровке. В оперативных условиях это затрудняет принятие решений по выбору места бункеровки судна. Автором предлагается введение в практику взаимоотношений судовладельца и БК договорного момента начала бункеровки. В этом случае ожидание бункеровки может рассчитываться для каждого заказа в зависимости от сложившейся очереди на бункеровку на момент подачи заявки конкретного судна в конкретное время.

Бункеровка судов может осуществляться во время других операций, что влияет на их отвлечение от транспортной работы. Потери времени судами из-за приема топлива должны корректироваться. Такая возможность совмещения операций зависит от варианта обслуживания и оперативных условий.

ОБОСНОВАНИЯ НОРМ ВРЕМЕНИ ОБСЛУЖИВАНИЯ СУДОВ НА БУНКЕРОВОЧНЫХ СТАНЦИЯХ

В настоящее время условия бункеровки судов на БС претерпели значительные изменения. Нормы времени бункеровки, разработанные ранее, не соответствуют реальным затратам. Растут также требования к точности планирования, обусловленные изменением отношения клиентов к надежности выполнения обязательств по срокам доставки.

Кроме того, грядущее открытие внутренних водных путей для прохода иностранных судов требует более точного определения и этой составляющей их обслуживания. Это позволит снизить риски выплаты неустоек, связанных с выполнением обязательств по бункеровке иностранных судов.

Все выше сказанное вызывает необходимость обоснования уровня норм продолжительности обслуживания судов на БС, отвечающих современным условиям работы.

Анализ статистических данных по продолжительности отдельных операций обслуживания судов по двум несамоходным бункеровочным станциям (НБС) приведен в таблице. В исследовании использованы замеры по 248 судам на НБС. Как видно из таблицы, параметры бункеровки имеют довольно широкий диапазон значений, на что указывают коэффициенты вариации.

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы.

1. Изменилось отношение к качеству получаемых НП. В соответствии с правилами отпуска НР все отпускаемое

Характеристики бункеровки судов на НБС

№ НБС	Вид нефтепродукта	Группа судна	$t_{под}$, мин.	$\vartheta(t_{под})$	$P_{бун}$, т/ч	$\vartheta(P_{бун})$	$V_{бун}$, т	$\vartheta(V_{бун})$
1	Топливо	I	15,0	0,22	28,9	0,20	29,3	0,76
		II	11,1	0,17	25,2	0,39	11,2	0,52
		III	7,9	0,10	15,2	0,88	6,5	1,42
	Масло	I	6,0	0,03	2,0	0,55	1,2	0,84
		II	8,9	0,03	2,8	0,59	1,3	1,51
		III	13,5	0,46	0,5	0,23	0,15	9,54
2	Топливо	I	14,9	0,15	52,9	1,79	47,6	2,48
		II	10,6	0,10	31,0	0,23	11,7	4,77
		III	9,0	0,05	17,0	0,09	3,8	13,3
	Масло	I	15,6	0,15	3,2	0,05	1,52	0,35
		II	11,0	0,05	1,8	0,09	0,69	0,29
		III	-	-	-	-	-	-

Примечание: $t_{под}$ – среднее время подготовки к бункеровке; $P_{бун}$ – средняя производительность бункеровки; $V_{бун}$ – средний объем бункеровки; υ – коэффициент вариации.

топливо после предварительной перекачки из трюмов требует отстоя в течение 4 ч в емкостях (мерниках). Раньше при бункеровке флота не заострялось внимание на качестве, и прописанная в правилах технология не выдерживалась. В настоящее время, получая нефтепродукты, каждый механик судна обязан проверить наличие воды в топливе. При этом выявлено, что количество и вместимость существующих мерников топлива позволяет без технологических промежуточных операций по отстаиванию топлива обслуживать суда второй и третьей групп, а суда первой – только при отпуске одного вида топлива при заказе до 60 м^2 или двух видов топлива – при суммарном объеме не более 120 м^2.

2. Существующие нормы обслуживания судов на БС основаны на статистических данных. При этом существовавшая система премирования за выполнение норм обслуживания, при отсутствии должного контроля, способствовала необъективному отражению времени обслуживания в отчетности (его занижению).

3. Существующие нормы дифференцируются только по группам судов (выделено пять групп судов), что было правомерно ранее, когда суда бункеровались на полную вместимость своих топливных и масляных емкостей. В настоящее время объем бункеруемых НП в пределах каждой из групп судов варьируется.

4. Производительность бункеровки по станциям, как видно из таблицы, отличается значительно (это обусловлено различиями в технических параметрах БС), а нормы установлены единые для всех БС.

Данные таблицы и предшествующий анализ позволяют сделать вывод о необходимости рациональной структуры норм и учета ряда факторов. В структуре норм должны учитываться: группа судов, тип ОБС, количество бункеруемого топлива и масла, количество видов топлива. К факторам, которые должны учитываться при определении нормы времени обслуживания, кроме отмеченных дифференцирующих признаков, относятся: время на подготовительные операции (швартовку и подсоединение шлангов), размер емкости мерников под виды топлива; время на проверку качества топлива, время окончания обслуживания предыдущего судна, требуемая гарантированность выполнения обслуживания в пределах установленных норм.

Для решения поставленной проблемы предлагается метод обоснования параметров времени по заказам (в договорах) на обслуживание судов на бункеровочных станциях с учетом обеспечения качества и надежности обслуживания. К временным параметрам в договорах на бункеровку относятся нормативная продолжительность бункеровки судна и момент начала бункеровки.

При разработке методики, учитывающей современные требования и особенности деятельности (например, тенденция к регулированию транспортного процесса для обеспечения поставок по принципу «точно в срок»), автором использовалась научно-методическая база совершенствования методов нормирования продолжительности операций по снабжению судов топливом, наработанная такими учеными, как Г.П. Вальков, М.А. Государев, А.В. Костров, Н.П. Малашенко, В.П. Маталин, Н.С. Радюкин, М.В. Скворцова и др. [1-10].

Предлагаемый метод обоснования этих параметров базируется на следующих принципах:

– обеспечение качества технологических процессов;
– учет надежности выполнения устанавливаемых норм;
– учет вариации продолжительности операций обслуживания;
– учет технических параметров бункеровочных станций;
– учет технических параметров обслуживаемых судов;
– учет оперативных условий обслуживания.

Для определения нормы времени на бункеровку судна топливом и маслом, обусловленными договором на бункеровку ($t_{нбтм}$), проводятся отдельные расчеты ее продолжительности, а в качестве нормы предлагается принимать максимальную из этих величин по формуле (6), так как технологически эти операции могут производиться и параллельно:

$$t_{нбтм} = \max\{t_{бт}\cdot(1+\upsilon_{бт});\ t_{бм}\cdot(1+\upsilon_{бм})\}\cdot K_н, \qquad (6)$$

где $t_{нбтм}$ – нормативная продолжительность бункеровки судна (время занятости НБС техническими и технологическими операциями по обслуживанию судна с учетом гарантированности обслуживания в срок) топливом и маслом, ч; $t_{бт}$, $t_{бм}$ – математическое ожидание продолжительности бункеровки судна (среднее время занятости НБС техническими и технологическими операциями по обслуживанию судна при определенном объеме и структуре бункеруемых нефтепродуктов) соответственно топливом и маслом, ч; $\upsilon_{бт}$, $\upsilon_{бм}$ – коэффициент вариации продолжительности бункеровки соответственно топливом и маслом; $K_н$ – коэффициент, учитывающий гарантированность обслуживания в пределах установленной нормы.

Математическое ожидание продолжительности бункеровки судна топливом предлагается определять по формуле:

$$t_{бт} = t_{подт} + t_{конт}\cdot n_т + Q_{БТ}/P_т + t_{ТО}(Q_{БТ},Q_{МТ}), \qquad (7)$$

где $t_{подт}$ – продолжительность подготовительно-заключительных операций по бункеровке топливом, ч; $t_{конт}$ – время, требуемое для контроля качества одного вида топлива, ч; $n_т$ – количество бункеруемых видов топлива на обслуживаемое судно; $Q_{БТ}$ – масса бункеруемого топлива, т; $P_т$ – производительность бункеровки топливом, т/ч; $t_{ТО}(Q_{БТ}, Q_{МТ})$ – продолжительность технологических перерывов в бункеровке, возникающих при заказе топлива в размере $Q_{БТ}$, превышающем емкость мерников $Q_{МТ}$ под это топливо, ч.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА НАЧАЛА БУНКЕРОВКИ В ДОГОВОРЕ

Если ожидаемый момент подхода i-го судна к БС ($M_{снi}$) наступает позже ее освобождения от обслуживания других судов, включенных в очередь обслуживания на момент подачи заявки i-м судном и подготовки к бункеровке заказываемыми видами нефтепродуктов ($M_{бнi}$), то БК согласовывает момент начала бункеровки, соответствующий запрашиваемому судовладельцем. Она отводит на его обслуживание время, равное $t_{нбтм}$, и устанавливает плановый момент начала бункеровки, равный ($M_{снi}$), и после согласования с судовладельцем он становится договорным ($M_{днi}$).

Если ожидаемый момент подхода i-го судна к БС ($M_{снi}$) наступает раньше, чем она освобождается от обслуживания других судов, включенных в очередь обслуживания на момент подачи заявки i-м судном и подготовки к бункеровке заказываемыми видами НП ($M_{бнi}$), то БК предлагает судовладельцу момент начала бункеровки, соответствующий ее освобождению от обслуживания других судов. Судовладелец соглашается или отказывается от бункеровки. Если он соглашается, то БК отводит на его обслуживание время, равное $t_{нбтм}$, и устанавливает плановый момент начала бункеровки, равный ($M_{бнi}$), и после согласования с судовладельцем он становится договорным ($M_{днi}$). В этом случае по судну возникают дополнительные затраты времени, связанные с ожиданием, и судовладелец должен принять решение, ждать или не ждать, и бункероваться иным способом.

Для определения момента готовности к обслуживанию БС требуется на основе моделирования технологического процесса проверять:

1. Наличие достаточного запаса требуемых в заявке видов НП к моменту обслуживания судна. Для этого должен строиться план-график наличия и отпуска по каждому виду НП.

2. Наличие достаточного количества требуемых НП мерниках БС. Для этого для каждого вида НП должен строиться непрерывный план-график использования мерников (планироваться время наполнения, отстоя и отпуска НП), согласуемый с планом-графиком обслуживания судов и наличием и отпуском НП.

3. Занятость БС обслуживанием судов в рассматриваемый отрезок времени. Для этого должен строиться непрерывный план-график обслуживания заявок и проверяться свободность отрезков времени от обслуживания БС других судов.

По результатам трех проверок по каждому из заказываемых видов НП определяется момент готовности к обслуживанию i-го судна этим НП.

Судовладельцу сообщаются моменты готовности к началу обслуживания по каждому из запрошенных НП (а также оговорки по возможностям получения их в неполном объеме, но без ожидания). В ответ судовладелец подтверждает номенклатуру и объем заказываемых НП или корректирует заказ. На основании этого БК определяет момент готовности к началу обслуживания судна ($M_{бнi}$) как максимальный из $M_{бнij}$ по заказанным НП, который и будет считаться согласованным моментом начала обслуживания ($M_{днi}$).

При изменении оперативной ситуации (из-за стохастичности транспортного процесса и процесса обслуживания судов) стороны путем переговоров и учета взаимных интересов и обязательств могут уточнять моменты начала обслуживания, структуру и объемы бункеруемых НП. Такой подход позволит судовладельцам: повысить надежность выполнения обязательств перед клиентами по срокам; сократить потери провозной способности, связанные с бункеровкой нефтепродуктов, так как судовладелец заранее (на момент принятия решения о бункеровке) будет располагать информацией о продолжительности не только бункеровки, но и времени ее ожидания.

Применение приведенных подходов к выбору пункта бункеровки и БК, установление договорных отношений между БК и СК могут способствовать:

– повышению надежности транспортного процесса;
– снижению затрат на снабжение нефтепродуктами;
– повышению провозной способности флота;
– ускорению доставки грузов.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:
1. Вальков Г.П. Организация грузовых работ (задачи и примеры эксплуатационных расчетов). – М.: Речиздат, 1952. – 284 с.
2. Государев М.А. Исследование и совершенствование системы бункеровки речных транспортных судов. Дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук. – Горький, 1979 – 160 с.
3. Захаров В.Н. Организация работы речного флота: Учеб. для вузов / В.Н. Захаров, В.П. Зачесов, А.Г. Малышкин. – М.: Транспорт, 1994. – 287 с.
4. Костров А. В. Совершенствование системы бункеровки судов на речном транспорте. Дисс. на соискание ученой степени к.т.н.: 05.22.19. – Н. Новгород, 2001. – 148 с.
5. Крепак С. В. Методические основы агентского обслуживания грузовых судов на внутреннем водном транспорте. Дисс. на соискание ученой степени к.т.н.: 05.22.19. – Н.Новгород, 2000. – 207 с.
6. Малашенко Н.П. Методика определения продолжительности операций комплексного обслуживания судов в портах. Труды НИВТа. – Вып. 82, 1972. – С. 36-42.
7. Маталин В.П. Состав операций комплексного обслуживания флота в портах и их нормирование. Труды ЦНИИЭВТа. – Вып. 93, 1973.
8. Пьяных С.М. Экономико-математические методы работы речного транспорта. – М.: Транспорт, 1988. – 253 с.
9. Радюкин Н.С. Экономика и организация бункеровочных операций. – М.: Транспорт, 1970. – 72 с.
10. Скворцова М.В. Эффективность использования самоходных бункеровщиков для снабжения речных судов топливом и маслом. Производственно-технический сборник МРФ. – Вып. 83, 1970. – С. 129-131.
11. Цверов В.В. Выбор бункеровочной компании на внутренних водных путях / Росинформресурс. Информационный листок № 11-023-07. – Н. Новгород: Нижегородский центр научно-технической информации, 2007. – 4 с.
12. Цверов В.В. Метод выбора места очередной бункеровки судна горюче-смазочными материалами / Росинформресурс. Информационный листок № 11-024-07. – Н. Новгород: Нижегородский центр научно-технической информации, 2007. – 4 с.

УЧРЕЖДЕНИЕ: Новосибирская государственная академия водного транспорта (НГАВТ)

ТЕМА: Определение эффективности динамических гасителей колебаний

АВТОРЫ: М.К. РОМАНЧЕНКО, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «ТММиДМ», заслуженный рационализатор РФ; Ю.П. САВИНОВ, кандидат технических наук, доцент кафедры «ТММиДМ»

АННОТАЦИЯ: В статье приводятся различные системы динамического гашения колебаний, методика расчета для выбора схем устранения вредных колебаний коленчатого вала и других элементов машин

Для снижения вибрации машин можно использовать упругие системы с заданными свойствами. Допустим, что в корпусе машины происходит возвратно-поступательное движение массы (рис. 1). Поскольку центр масс корпуса и массы неподвижен, корпус машины и масса будут двигаться в противоположные стороны, но с разными амплитудами. Ранее мы определили вибрацию как движение корпуса. Это движение следует по возможности

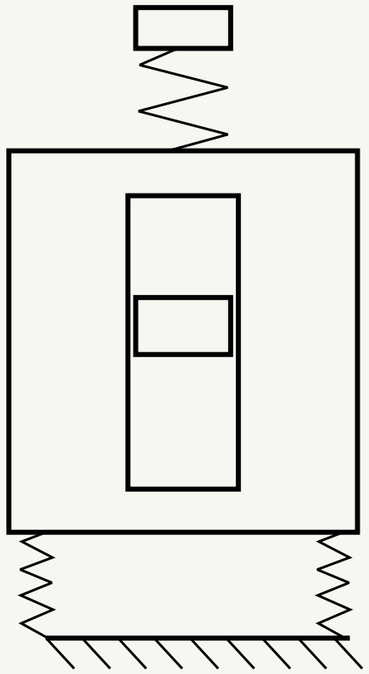

Рис. 1. Схема динамического гашения колебаний

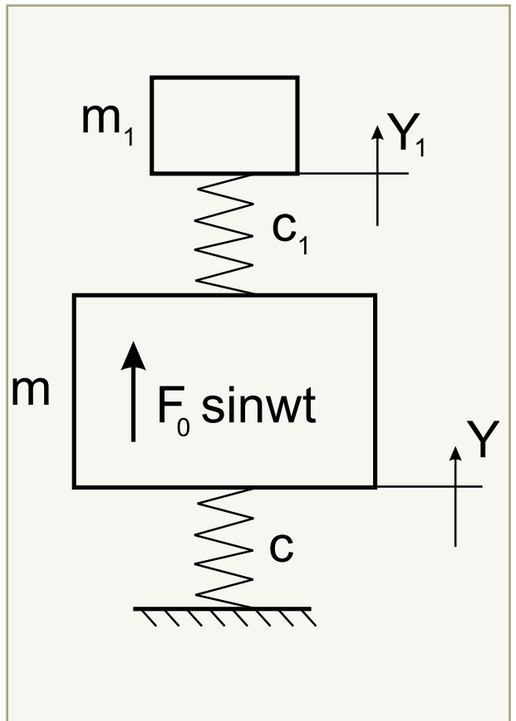

Рис. 2. Гаситель колебаний Фрама

уменьшать. Установим на корпус машины небольшую массу на пружине.

Если фаза колебаний внутренней и внешней массы будет равна 180°, то корпус машины станет практически неподвижным. При этом внутренняя и внешняя массы будут двигаться в противоположные стороны, а корпус и внешняя масса в одну сторону. Чем меньше трение в пружине, тем ближе фаза колебаний внешней массы и корпуса к нулю, тем лучше динамическое гашение колебаний.

Упругоинерционная система с одной степенью свободы. Рассмотрим массу, подвешенную на пружине. Уравнение колебаний вдоль оси имеет вид:

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{-cy}{m}. \qquad (1)$$

Попробуем подобрать решение в виде гармонической функции:

$$y = y_0 \sin(\omega t), \qquad (2)$$

где y_0 – амплитуда колебаний, м; ω – угловая скорость колебаний, рад/с.

Подстановка решения в исходное дифференциальное уравнение дает значение угловой скорости колебаний

$$\omega^2 = \frac{c}{m}. \qquad (3)$$

Полученное значение зависит только от жесткости и массы, и поэтому получило наименование «собственная частота системы».

Первые упоминания о гасителе колебаний Фрама относятся к 1909 году.

Такой гаситель называют антивибратором. Рассмотрим двухмассовую систему (рис. 2), установленную на неподвижном фундаменте.

Составим дифференциальные уравнения движения в форме уравнения динамики Ньютона.

$$\text{Ускорение} = \frac{\text{Сила}}{\text{Масса}}.$$

Для нижней и верхней массы уравнения имеют вид:

$$\dot{y} = \frac{F_0 \sin\omega t + c_1(y_1 - y) - cy}{m},$$
$$\ddot{y}_1 = \frac{c_1(y - y_1)}{m_1}. \qquad (4)$$

Замечено, что колебания в данной системе являются гармоническими:

$$y = A\sin\omega t, \qquad (5)$$

поэтому попробуем подставить решение в виде гармонической функции и ее производных в исходную систему уравнений:

$$-mA\omega^2 \sin\omega t = F_0 \sin\omega t + c_1(y_1 - A\sin\omega t) - cA\sin\omega t$$
$$m_1\ddot{y}_1 = c_1(A\sin\omega t - y_1). \qquad (6)$$

Можно ли представить, что колебания нижней массы станут очень малыми, практически равными нулю? Если это возможно, то условие полного гашения колебаний имеет вид A=0.

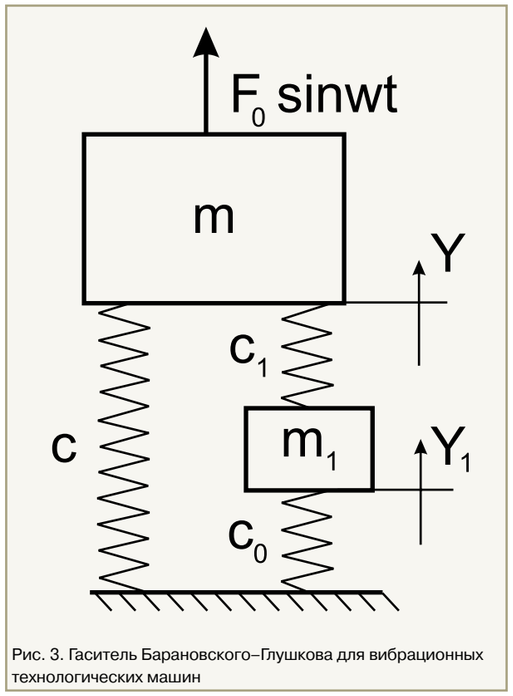

Рис. 3. Гаситель Барановского–Глушкова для вибрационных технологических машин

Из этого условия следует:

$$0 = F_0 \sin\omega t + c_1 y_1,$$
$$m_1\ddot{y}_1 = -c_1 y_1. \qquad (7)$$

Сложим уравнения:

$$m_1\ddot{y}_1 = F_0 \sin\omega t. \qquad (8)$$

Проинтегрировав это уравнение и подставив в верхнее уравнение исходной системы, получим параметры дополнительной массы:

$$\frac{c_1}{m_1} = \omega^2. \qquad (9)$$

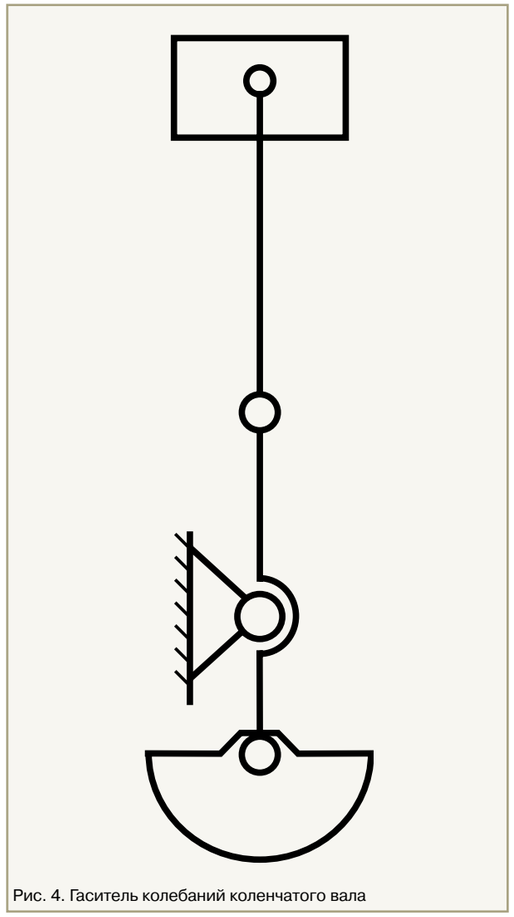

Рис. 4. Гаситель колебаний коленчатого вала

Это условие совпадает с условием резонанса верхней массы на вынуждающую частоту ω. Интересно, что верхняя масса может быть сравнительно небольшой, но поскольку амплитуда ее колебаний равна:

$$A_1 = \frac{F_0}{c_1} = \frac{F_0}{m_1\omega^2}, \qquad (10)$$

это может приводить к слишком большим амплитудам, особенно при низкой частоте.

Наиболее целесообразно использование гасителя Фрама в том случае, когда нижняя масса испытывает резонансные колебания, т. е. при условии:

$$\frac{c}{m} = \omega^2. \qquad (11)$$

Здесь уместно заметить, что подвеска, работающая в резонансе, является редкостью, поскольку, по сути, является примером ошибочного проектирования.

Итак, гаситель (верхняя масса) устраняет колебания машины (нижняя масса) за счет встречного (по отношению к силе) движения малой дополнительной массы. Нижняя пружина не деформируется, и колебания не передаются на фундамент.

Некоторые типы технологических машин используют вибрацию для транспортировки, перемешивания, разделения на фракции, уплотнения сыпучих материалов или бетонной смеси и т.п. В этом случае использование динамического гасителя невозможно, поскольку машина не будет выполнять своего назначения. Здесь уместно применять другой тип гасителя (рис. 3).

Для верхней и нижней массы уравнения динамики имеют вид:

$$\ddot{y} = \frac{F_0 \sin\omega t + c_1(y_1 - y) - cy}{m},$$

$$\ddot{y}_1 = \frac{c_1(y - y_1) - c_0 y_1}{m_1}. \qquad (12)$$

Как правило, виброизоляция таких машин затруднена из-за больших амплитуд. Например, на углеобогатительных фабриках применяют грохоты массой 22 т. Эти машины установлены на шести мягких опорах. Тем не менее вибрация основания превышает допустимые границы потому, что размах колебаний корпуса грохота равен 15 мм при частоте 12,5 Гц.

Настройка гасителя заключается в подборе фазы и амплитуды колебаний малой массы.

Работает гаситель следующим образом. Большая масса вынуждает колебания малой массы при частоте вынуждающей силы больше собственной частоты малой массы. Следовательно, массы движутся в противофазе и силы, передаваемые на основание от пружин и взаимно гасятся. Достоинством такого гасителя является то, что его настройка проводится вдали от резонанса, когда внутреннее и внешнее трение мало влияет на амплитуду.

Динамический гаситель Фрама является остро настроенной системой.

Даже при небольшом отклонении от заданной частоты эффективность гасителя резко снижается. Полный анализ эффективности учитывает соотношение масс гасителя и механизма. В данном случае можно использовать упрощенное представление, поскольку параметры колебаний задаются со значительной погрешностью. Допустим, что масса гасителя невелика и трение в системе несущественно, тогда коэффициент динамичности массы гасителя:

$$\beta = \frac{1}{1 - (\omega/\omega_*)^2}. \qquad (13)$$

Первая производная от коэффициента динамичности по частоте вынуждающей силы:

$$\frac{d\beta}{d\omega} = \frac{2\omega}{\omega_*^2 - \omega^2}. \qquad (14)$$

Колебания частоты в машине зависят от многих факторов: точности регулятора задающего ω, движущего момента, момента сопротивления и т. п. Задавая диапазон изменения коэффициента динамичности (числитель) и диапазон изменения частоты (знаменатель), находят приемлемую частоту колебаний ω. Внутри найденного диапазона эффективность контролируется внешним и внутренним трением в системе.

Динамические гасители находят применение в ручном вибрационном инструменте для снижения вибрации рукоятки. Внутри корпуса инструмента устанавливается масса на рессоре. Частота колебаний массы выбирается такой, чтобы при работе возникали резонансные колебания. Эти колебания будут направлены против колебаний рабочего органа инструмента. Таким образом, центр масс инструмента и гасителя остается неподвижным и на рукоятку не передается вибрация.

Динамические гасители без упругих элементов широко используются в двигателях внутреннего сгорания для снижения крутильных колебаний коленчатого вала. Это обусловлено возможностью самонастройки гасителя под частоту вынуждающих моментов двигателя.

Для этого гаситель выполняется в виде маятника, установленного на кривошипе коленчатого вала (рис. 4). Частота колебаний маятника зависит от скорости вращения коленчатого вала и прямо пропорциональна этой скорости, поскольку восстанавливающая сила маятника пропорциональна квадрату скорости вращения. Частота вынуждающего момента также пропорциональна скорости вращения. Надлежащим выбором размеров маятника устраняются вредные колебания коленчатого вала.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:
1. Степин П.А. Сопротивление материалов: Учеб. для немашиностроит. спец. вузов. – 8-е изд. – М.: Высш. шк., 1988. – 367 с.: ил.
2. Барановский А.М. Виброизоляция дизелей речных судов. – Новосибирск: НГАВТ, 2000. – 176 с.
3. Ден-Гартог Дж. П. Механические колебания, пер. с англ. А.П. Обморшева, Физматгиз, М.: 1960.