

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТРАНСПОРТНОГО ПУЛЬПОПРОВОДА В СОСТАВЕ ГОРНО-МОРСКИХ ДОБЫЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ

У роботы досліджується динаміка транспортного пульпопроводу у складі гірично-морських видобувальних комплексів. Наведені основні розрахункові залежності, які базуються на моделі гнучкої нитки. Представлено результати розрахунків, які було виконано згідно з приведеною методикою.

Проектирование глубоководных пульпопроводов, предназначенных для транспортирования твердых полезных ископаемых, поставило целый ряд проблем динамики и прочности протяженных пульпопроводов при сложном нагружении, связанных с механикой гибких непрерывно-дискретных упругих систем, взаимодействующих с движущейся жидкостью.

Транспортный пульпопровод представляет собой сложную протяженную упругую конструкцию, которая совершает движение в толще морской воды.

Целью настоящей работы является исследование динамики трубного става морского добычного комплекса, а также анализ полученных результатов расчета прочностных параметров пульпопровода.

В работах [1,2] было приведено подробное описание математических моделей расчета параметров напряженно-деформированного состояния трубопровода, базирующихся на расчетных схемах гибкой нити и упругого стержня. В работе [2] был дан сравнительный анализ этих моделей, использующих ту и другую расчетные схемы, а также обоснована целесообразность использования более приемлемой для расчета параметров трубопровода математической модели гибкой нити.

Вообще говоря, выбор взаимосвязанных расчетной схемы, математической модели, построенной на ее основе, и алгоритма численного анализа, дающего результаты, удовлетворяющий требуемым критериям точности, быстродействия и простоты, представляет собой противоречивую задачу. Поэтому, целесообразно не ограничиваться только одной расчетной схемой, а рассматривать их несколько, имеющих разную степень сложности, для анализа которых нужно использовать различные алгоритмы. Помимо всего прочего, сопоставление результатов, полученных при разных подходах, дает представление об их достоверности и позволяет более точно очерчивать границы применимости той или иной математической модели.

Выбор расчетной схемы тесно связан с предполагаемым методом анализа уравнений, полученных на ее основе, обеспечиваемой им точностью полученных результатов при приемлемых затратах машинного времени. Особенно важно, что выбор расчетной схемы должен обязательно коррелироваться с точностью и полнотой имеющихся исходных данных и целями проводимого анализа.

Так, например, уравнения, описывающие процесс нестационарного деформирования гибкой нити проще соответствующих уравнений для упругого стержня, обладающего конечной изгибной жесткостью. Но, если нас интересует анализ процесса в реальном времени, и если в качестве метода решения выбран метод разложения по собственным формам, то различие в сложности уравнений проявляется, в основном, только на предварительном этапе расчета – получении собственных форм и частот колебаний. На основном этапе расчета, который сводится к численному интегрированию задачи Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений, с точки зрения главной в данном случае характеристики – быстродействию, две рассматриваемые расчетные схемы не имеют заметных преимуществ друг перед другом.

Проведенный анализ в [2] показал, что при аналогичных расчетах по стержневой модели погрешность в результатах не превышает 3 %.

Далее, укрупненно приведем основные зависимости для расчета параметров напряженно-деформированного состояния трубопровода в рамках модели гибкой нити, согласно которой трубопровод представляет собой гибкую нерастяжимую нить с кусочно-постоянными геометрическими и жесткостными параметрами, нагруженную сосредоточенными массами и гидродинамическими нагрузками, вызванными набегающим потоком жидкости. Сосредоточенные массы моделируют малопротяженные конструктивные элементы трубного става имеющие массу, значительно превышающую среднюю величину погонной массы трубопровода.

Перемещения трубного става будем рассматривать относительно неподвижной системы координат (x, y, z) – правой декартовой системы координат, начало которой расположено на поверхности океана, плоскость (x, y) совпадает с плоскостью зеркала поверхности океана, а ось z направлена вертикально вниз. Тогда, уравнение перемещений осевой линии трубопровода в параметрической форме имеет вид:

$$x = x(z, t),$$

$$y = y(z, t);$$

где t – время.

Вследствие несимметричности поперечного сечения трубопровода, возникают лобовая и боковая составляющие гидродинамической нагрузки, а также гидродинамический крутящий момент.

Гидродинамические нагрузки определяются из выражения, [3]:

$$q_n = \frac{1}{2} C_n \rho D V_f^2; \quad q_s = \frac{1}{2} C_s \rho D V_f^2; \quad m = \frac{1}{2} C_m \rho D^2 V_f^2, \quad (1)$$

где учитываются только составляющие скорости набегающего потока, лежащие в плоскостях, параллельных координатной плоскости (x, y) ; q_n , q_s , m –

лобовая и боковая составляющие интенсивности гидродинамической нагрузки и интенсивность крутящего гидродинамического момента; ρ – плотность потока; V_f – скорость потока; D – внешний диаметр трубопровода; C_n, C_δ и C_m – безразмерные гидродинамические коэффициенты. Для k -й сосредоточенной массы:

$$\begin{aligned} Q_n^{(b)} &= \frac{1}{2} C_n^{(k)} \rho (D_c^{(k)})^2 V_f^2; & Q_\delta^{(b)} &= \frac{1}{2} C_\delta^{(k)} \rho (D_c^{(k)})^2 V_f^2; \\ M^{(b)} &= \frac{1}{2} C_m^{(k)} \rho (D_c^{(k)})^3 V_f^2, \end{aligned} \quad (2)$$

где: $Q_n^{(k)}, Q_\delta^{(k)}, M^{(k)}$ – лобовая и боковая составляющие гидродинамического усилия и крутящий гидродинамический момент; $D_c^{(k)}, C_n^{(k)}, C_m^{(k)}, C_\delta^{(k)}$ – характерный размер и гидродинамические коэффициенты k -й массы.

В общем случае величины гидродинамических нагрузок существенно зависят от ориентации обтекаемых элементов относительно потока. Зависимости гидродинамических коэффициентов от угла между вектором скорости потока \bar{V}_f и вектором \bar{v} , связанным с поперечным сечением трубопровода, приведены в [1].

Расчетные формулы для определения гидродинамических нагрузок по направлениям, связанным с координатными осями имеют вид, [1]:

$$\begin{aligned} q_x &= \frac{1}{2} \rho D V_f (C_n V_x^f - C_\delta V_y^f); & q_y &= \frac{1}{2} \rho D V_f (C_n V_x^f + C_\delta V_y^f); \\ m &= \frac{1}{2} \rho D^2 V_f^2 C_m. \end{aligned} \quad (3)$$

где V_x^f, V_y^f – проекции вектора скорости обтекания на координатные оси x и y соответственно. Приведем выражения для гидродинамических нагрузок на сосредоточенные массы:

$$\begin{aligned} Q_x^{(k)} &= \frac{1}{2} \cdot \rho (D_c^{(k)})^2 \cdot V_f \cdot (C_n^{(k)} V_x^f - C_\delta^{(k)} V_y^f); \\ Q_y^{(k)} &= \frac{1}{2} \cdot \rho (D_c^{(k)})^2 \cdot V_f (C_n^{(k)} V_y^f + C_\delta^{(k)} V_x^f); & M_x &= \frac{1}{2} \rho (D_c^{(k)})^3 \cdot V_f \cdot C_m^{(k)}. \end{aligned} \quad (4)$$

Запишем уравнения, описывающие закручивание трубного става, ограничившись квазистатической постановкой.

Уравнение равновесия бесконечно малого элемента трубного става под действием приложенных к нему крутящих моментов рис. 1, имеет вид:

$$\frac{dM}{dz} + m + \sum_{\kappa=1}^K M^{(\kappa)} \delta(z - z_{\kappa}) + \sum_{i=1}^I R^{(i)} \delta(z - z_i) = 0. \quad (5)$$

Здесь M – внутренний крутящий момент; m – распределенный крутящий момент; $M^{(\kappa)}$ – сосредоточенные крутящие моменты гидродинамического происхождения; $R^{(i)}$ – внешние заданные крутящие моменты; κ – число сосредоточенных масс; i – число сосредоточенных воздействий; $\delta(z)$ – дельта-функция Дирака. Связь между крутящим моментом M и углом закручивания φ_z выражается соотношением:

$$M = GI_{кр} \frac{d\varphi_z}{dz}, \quad (6)$$

где $GI_{кр}$ – жесткость трубопровода на кручение.

Интегрируя уравнения (5) и (6) по z с учетом граничных условий $\varphi_z|_{z=0} = \varphi_z^0$; $M|_{z=H} = 0$, получим:

$$M = - \int_z^H m dz - \sum_{\kappa=1}^K M^{(\kappa)} H(z_{\kappa} - z) - \sum_{i=1}^I R^{(i)} H(z_i - z); \quad \varphi_z = \varphi_z^0 + \int_0^z \frac{M}{GI_{кр}} dz. \quad (6)$$

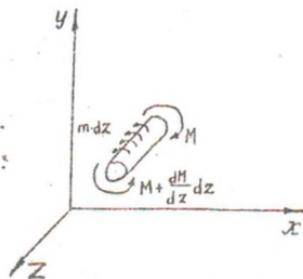


Рис.1

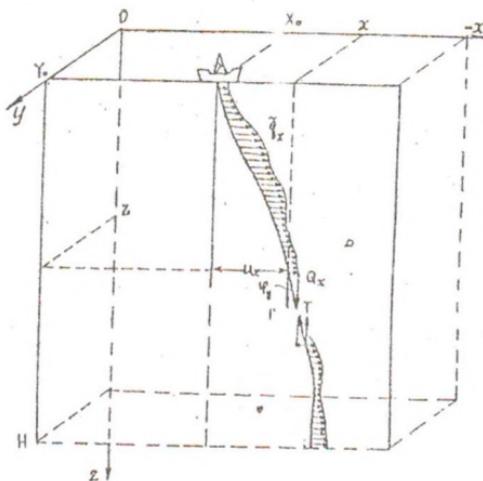


Рис.2

Присоединяя к системе уравнений (6) последние из соотношений (3) и (4) и учитывая зависимости гидродинамических коэффициентов от угла между вектором скорости потока \bar{V}_f и вектором \bar{v} , связанным с поперечным сечением трубопровода, [1], получаем при известных скоростях трубного става замкнутую систему уравнений для нахождения угла закручивания φ_2 и гидродинамических нагрузок, определенных соотношениями (3) и (4).

Запишем уравнения, описывающих отклонение трубного става от вертикали в координатной плоскости (x, z) (см. рис.2, для плоскости (y, z) – аналогично). После введенных обозначений и ряда преобразований, выполненных в [1], получим:

$$u_x = \int_0^z \frac{Q_x(\zeta, t)}{\Gamma_x(\zeta)} d\zeta. \quad (7)$$

где: u_x – отклонение оси трубопровода от вертикали в плоскости (x, z) ; Q_x – проекция внутреннего усилия, действующего в сечениях трубопровода, на ось x ; Γ_x – плавучесть сосредоточенных масс. Выражение (7) в случае установившегося движения определяет отклонение u_x явно, а в случае неустановившегося движения образует систему уравнений для определения \dot{u}_x совместно с кинематическими уравнениями:

$$V_x(z, t) = V_x(z, 0) + \int_0^t W_x dt; \quad u_x(z, t) = u_x(z, 0) + [X_0(0) - X_0(t)] + \int_0^t V_x dt. \quad (8)$$

(В соотношении (8) через $X_0(t)$ обозначена координата верхнего конца трубного става в момент времени t).

В качестве примера применения изложенной методики приведем некоторые результаты расчета.

При числовом решении плоской задачи о движении пульпопровода в плоскости (x, z) предполагалось, что в начальный момент времени $t_0 = 0$ пульпопровод находился в покое в недеформированном состоянии. При $t > t_0$ коренной конец пульпопровода движется в направлении оси Ox с постоянной скоростью $V_0 = 0,5$ м/с. Движение рассматривалось при отсутствии морского течения и против течения. В результате вычислений определяется изменение формы изогнутой оси пульпопровода в процессе движения, максимальное отставание ходового конца при данной скорости движения судна и время, за которое это отклонение достигается. Результаты вычислений приведены на рис.3, 4. Максимальное отставание ходового конца при скорости движения судна 0,5 м/с при отсутствии течения ($V_f = 0$) достигает 300 м через 35/40 минут (рис.3). При наличии течения ($V_f \neq 0$) максимальное отставание составляет около 500 м и достигается несколько позднее (рис.4). На рис.5

показана зависимость геометрии осевой линии пульпопровода при заданном движении коренного конца от времени.

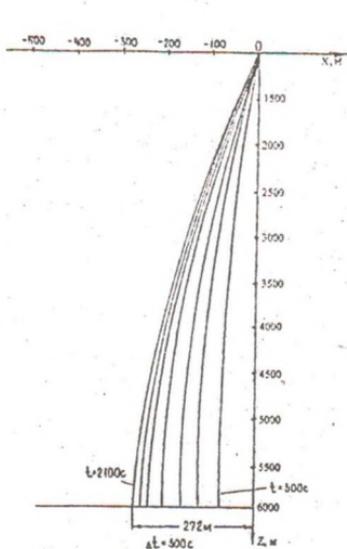


Рис.3

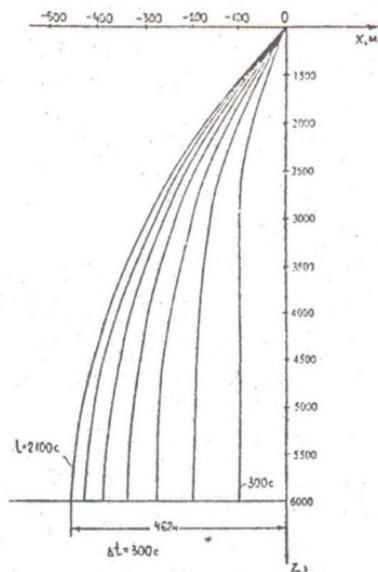


Рис.4

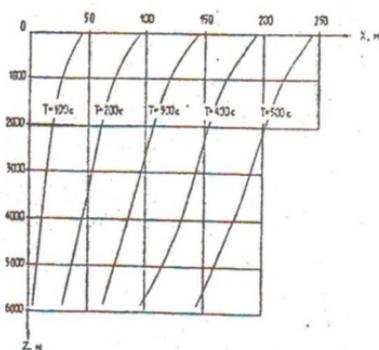


Рис.5

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рузин В.И., Вишняк Е.А., Кириченко Е.А. Разработка математической модели движения транспортного трубопровода в составе подводного добычного комплекса // Геотехническая механика. Межвед. сб. научн. трудов. ИГТМ НАН Украины. – Дн-ск, 1999. – Вып. 12. – С. 69 – 77.
2. Вишняк Е.А. Исследование параметров напряженно-деформированного состояния добычного морского пульпопровода // Геотехническая механика. Межвед. сб. научн. трудов. ИГТМ НАН Украины. – Дн-ск, 1999. – Вып. 13. – С. 104-109.
3. Гоман О.Г., Графский И.Ю., Кириченко Е.А. Аэродинамические характеристики погружных конструкций системы для подводной добычи полезных ископаемых // Сб. научных трудов «Проблемы комплексного освоения недр»/ ИГА Украины. – Днепропетровск. – 1998. – №2. – С. 418 – 430.

УДК 622. 15:553 94-551.243

Я. М. Наливайко

ТИПИЗАЦИЯ ЗОН ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ СТРУКТУР ПРИ ОТРАБОТКЕ НАРУШЕННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ КОМПЛЕКСАМИ

Наведені результати морфогенетичного групування та типізації структур, що змінюються, для умов шахт Львовсько- Волинського басейну. Методика оцінки їх параметрів та практичне застосування дозволять підвищити рівень технологічних рішень при обробці вугільних пластів в складних гірничо-геологічних умовах.

Решение задач управления геомеханическими процессами в призабойной части угольных пластов, определения устойчивых площадей обнажения кровли, крепления очистных выработок и технологии перехода механизированными комплексами зон с изменяющейся структурой связано с изучением закономерностей деформирования, трещинообразования и смещения боковых пород в рабочем пространстве очистного забоя. Вопросам исследования характера поведения массива горных пород в зонах изменяющихся структур посвящено много работ [1-3], аппаратных и методических решений [4-6], однако они не позволяют получить информацию, достаточную для описания таких сложных и многофакторных процессов. Все это предопределило актуальность разработки методики, позволяющей исследовать влияние природных и техногенных факторов на поведение массива горных пород в зонах изменяющихся структур, с учетом их генетических и морфологических особенностей, оказывающих влияние на устойчивость боковых пород. Под изменяющейся структурой подразумеваются: мелкоамплитудные дизъюнктивные и пликативные нарушения, а также связанные с ними области интенсивной трещиноватости боковых пород, замещения слоев в кровле и почве, участки повышенного горного давления.

Изучение геомеханических процессов в призабойных зонах очистных выработок выполнялось комплексным методом: геофизических измерений и инструментальных шахтных исследований, включающих в себя измерения напряжений впереди забоя, смещений вмещающих пород в пределах зоны опорного давления и в поддерживаемом выработанным пространстве лав.

Напряженное состояние массива горных пород в зонах тектонических нарушений определялось методом фотомеханики на моделях из желатиногеля ХС по методике, приведенной в работе [7].