

И. Е. СУББОТИН, Л. Е. КРАВЧЕНКО, Ю. Ф. ГУЛЯЕВ

ОСАДКИ ФУНДАМЕНТОВ АГРЕГАТОВ ГАЗОНЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ СТАНЦИЙ

Газоперекачивающий агрегат (ГПА) компрессорных станций (КС) и нефтеперекачивающий агрегат (НПА) перекачивающих станций (НПС) вместе с фундаментом и его основанием являются сложной динамической системой и уровень ее колебаний зависит от динамических характеристик фундамента, основания и агрегата, т. е. от парциальных частот каждого из них или от их масс и жесткостей, а также от соотношения собственных частот всей системы и частоты возмущения. Установлено, что под влиянием вибраций сопротивление грунтов сдвигу снижается. Однако, несмотря на то что изучением этого влияния занимались многие исследователи-геологи, в настоящее время о его природе, и в особенности о количественных характеристиках, имеется лишь приближенное представление. Поэтому привлечение геодезических методов для изучения воздействия динамических нагрузок на осадку фундаментов является определяющим.

Возникновение динамических осадков фундаментов ухудшает условия работы машинного оборудования и нарушает ход технологического процесса. Следует отметить, что в связи с ростом мощности нефтегазотранспортных систем и повышением производительности КС и НПС, с одной стороны, и тенденцией к сокращению размеров фундаментов (с переходом к сборным конструкциям) — с другой, значение вопроса об определении осадков фундаментов ГПА и НПА, других сооружений с течением времени будет возрастать. В настоящее время этот вопрос изучен недостаточно.

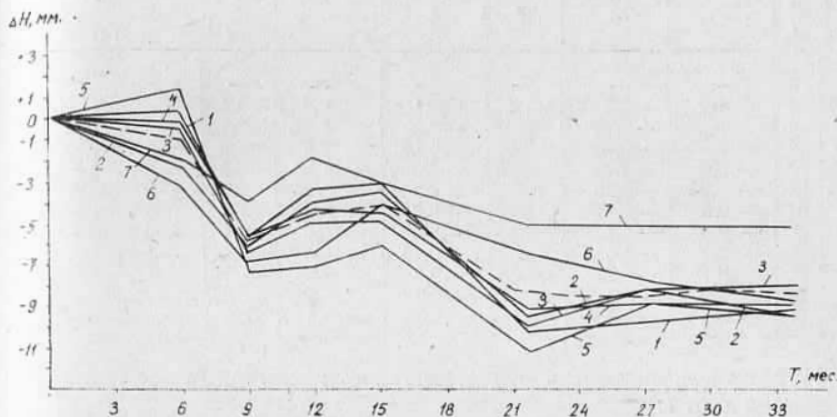


Рис. 1. Графики осадков фундаментов газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций.

Результаты семи серий высокоточного геометрического нивелирования марок и реперов, заложенных в фундаментах ГПА девяти КС одной из газотранспортных систем, обрабатывали математически с использованием теории случайных стационарных процессов*.

Под случайным стационарным процессом понимают процесс, который во времени протекает приблизительно однородно и имеет вид непрерывных случайных колебаний вокруг некоторого среднего значения. Часто аргументом случайной функции выступает время. При исследовании осадков фундаментов можно предположить, что указанными свойствами стационарных случайных функций обладают осадки отдельных марок за время t , полученные в результате повторных нивелировок. Перемещение одной марки по отношению к другой носит случайный характер, и поэтому накопление взаимных смещений марок по каждой компрессорной станции, полученных из двух последующих нивелировок, можно представить как реализацию случайной функции $x(t)$.

* Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М., 1969.

На рис. 1 показаны семь реализаций случайной функции, представляющие графики осадок марок и реперов фундаментов ГПА на КС, полученных из повторных нивелировок.

Рассматривая случайную функцию как приближенно стационарную, находим одиннадцать сечений, интервал между смежными сечениями l принимаем равным 3 мес. (табл. 1).

Таблица 1

Сечение функции $H(t)$

Номер сечения	t , мес	Номер ГПА							Σ
		1	2	3	4	5	6	7	
1	0	—	—	—	—	—	—	—	—
2	3	0,1	-1,2	-0,3	-0,1	0,6	-1,6	-1,0	- 3,5
3	6	0,25	-2,25	-0,5	-0,25	1,25	-3,25	-2,0	- 6,75
4	9	- 5,75	-6,25	-6,5	-5,75	- 7,5	-7,0	-4,0	-42,75
5	12	- 3,5	-4,25	-5,25	-4,5	- 7,25	-6,5	-2,0	-33,25
6	15	- 3,25	-3,75	-5,0	-4,5	- 6,25	-4,25	-3,25	-30,25
7	18	- 6,3	-6,25	-7,15	-6,5	- 8,5	-5,3	-4,1	-44,10
8	21	- 9,4	-8,7	-9,3	-8,6	-10,6	-6,4	-4,9	-57,90
9	24	-10,1	-9,0	-9,3	-9,15	-10,4	-7,1	-5,25	-60,30
10	27	- 9,75	-8,25	-8,25	-9,0	- 9,0	-7,75	-5,25	-57,25
11	30	- 9,6	-8,8	-8,2	-9,0	- 9,2	-8,2	-5,25	-58,25
12	33	- 9,3	-9,3	-8,1	-9,0	- 9,4	-8,6	-5,25	-58,95

Находим зависимость математического ожидания осадок марок и реперов x от t :

$$M \{x(t_k)\} = x(t_k) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i(t_k), \quad (1)$$

где n — число реализаций (число повторных нивелировок $n=7$).

Вычисленные по данной формуле значения математических ожиданий приведены ниже:

t	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
$m_x(t)$	-0,5	-0,96	-6,1	-4,75	-4,3	-6,3	-8,3	-8,6	-8,2	-8,3	-8,4

Статистические корреляционные функции вычислены по формуле

$$k(t_k, t_i) = k \{x(t_k), x(t_i)\} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n x_i(t_k) \cdot x_i(t_i) - \frac{n}{n-1} x(t_k) x(t_i), \quad (2)$$

где n — число реализаций случайной функции.

Корреляционная матрица записана в табл. 2. По главной диагонали стоят дисперсии, которые перенесены ниже и по ним найдены средние квадратические отклонения:

Корреляционная матрица дисперсий

Сечение 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1											
2	0,620	1,2483	-0,200	-0,300	-0,4375	-0,8175	-1,1867	-1,0392	-0,6916	-0,540	-0,4117
3		2,5186	-0,4008	-0,570	0,8577	-1,5477	-2,7362	-2,0924	-1,3611	-1,0627	-0,808
4			1,3695	1,9729	1,0858	1,2296	1,3025	1,4779	0,935	1,3734	1,5033
5				3,1667	1,7125	0,200	1,6125	1,6167	1,0791	1,5125	1,725
6					1,3554	1,3762	1,320	1,2713	0,6341	0,8805	0,9371
7						1,9075	2,345	2,3575	1,3258	1,6275	1,6158
8							3,2666	3,3608	1,9759	2,3258	2,2375
9								3,6058	2,3913	2,7621	2,6688
10									1,6887	2,0571	1,9796
11										2,5087	2,5104
12											2,5921

Отклонение	2	3	4	5	6	
σ^2	0,620	2,5186	1,6395	3,1667	1,3554	
σ	0,787	1,587	1,170	1,780	1,164	
	7	8	9	10	11	12
σ^2	1,9075	3,2666	3,6058	1,6887	2,5087	2,5921
σ	1,381	1,807	1,899	1,299	1,584	1,610

В табл. 3 записаны нормированные корреляционные функции.

Коэффициент корреляции

Таблица 3

Сечение 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1											
2	1	0,995	-0,217	-0,214	-0,478	-0,752	-0,834	-0,695	-0,676	-0,433	-0,325
3		1	-0,216	-0,202	-0,464	-0,706	-0,954	-0,694	-0,660	-0,423	-0,316
4			1	0,947	0,797	0,761	0,616	0,665	0,615	0,741	0,798
5				1	0,826	0,814	0,501	0,478	0,467	0,536	0,602
6					1	0,856	0,628	0,575	0,419	0,478	0,500
7						1	0,940	0,899	0,739	0,744	0,727
8							1	0,979	0,842	0,812	0,769
9								1	0,969	0,918	0,873
10									1	0,999	0,946
11										1	0,984
12											1

При этом статистические коэффициенты корреляции вычисляют по формуле

$$r(t_R t_l) = r\{x(t_k), x(t_l)\} = \frac{k\{x(t_k), \dot{x}(t_l)\}}{\sigma(t_k)\sigma(t_l)}. \quad (3)$$

Результаты представленной обработки случайного стационарного процесса показывают, что с точки зрения предполагаемой стационарности процесс осадок не стационарен. Это подтверждается тем, что значения математических ожиданий $m_x(t)$ колеблются, дисперсия с изменением времени t не остается постоянной, коэффициенты корреляции по направлениям, параллельным главной диагонали в табл. 3, также изменяются.

Однако, принимая во внимание сравнительно небольшое число реализации ($n=7$) и в связи с этим наличие большого элемента случайности в статистических характеристиках, эти отступления от стационарности можно считать незначительными, так как они не имеют закономерного характера.

Такой процесс может характеризоваться усредненными значениями математического ожидания $m_x(t)=5,883$, дисперсии $\sigma^2=2,236$, среднего квадратического отклонения $\sigma=1,496$. При стационарном процессе корреляционная функция и коэффициенты

корреляции зависят только от $z = t_k - t_l$. Для одного и того же значения z они должны быть постоянными. Такому постоянному значению z в табл. 3 соответствуют главная диагональ и направления, параллельные ей. Средние значения нормированной корреляционной функции приведены ниже:

l	2	3	4	5	6	7	8
$r\{x(l)\}$	1,00	0,83	0,60	0,46	0,26	0,10	0,02
l	9	10	11	12			
$r\{x(l)\}$	0,00	-0,10	-0,37	-0,32			

По их результатам составлен график (рис. 2). Из рис. 2 видно наличие для некоторых z отрицательных значений корреля-

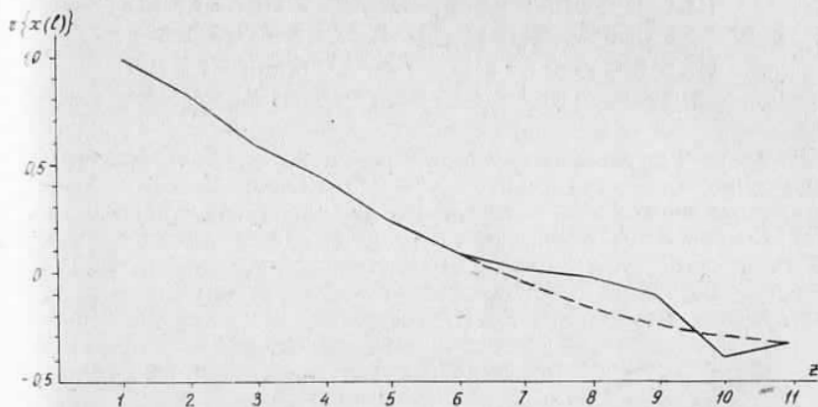


Рис. 2. График корреляционной функции.

ционной функции $r\{x(l)\}$. Это указывает на то, что в структуре случайной функции есть некоторый элемент периодичности, в связи с чем на расстоянии по времени, равном примерно $2/3$ периода основных колебаний, наблюдается отрицательная корреляция между значениями случайной функции.

Такой характер корреляционной функции с переходом на отрицательные значения подтверждает процесс осадок. Обычно в таких случаях по мере увеличения z амплитуда колебаний корреляционной функции уменьшается, и при дальнейшем увеличении z корреляционная функция стремится к нулю. Характер изменения функции $x(t)$ относительно плавный и постепенный, в связи с этим корреляция между значениями случайной функции убывает медленно. Из рис. 2 видно, что на отдельных участках имеют место перегибы графика функции, т. е. отмечаются колебания функции $r\{x(l)\}$ для больших значений z . Так как при больших значениях z точки графика получены усреднением сравнительно небольшого числа данных, то очевидно, что они недостаточно надежны. В этом

случае имеет смысл сгладить корреляционную функцию, как показано пунктирной линией на рис. 2. По результатам математической обработки с использованием теории случайных стационарных процессов можно сделать вывод, что осадка фундаментов ГПА имеет нарастающий и неравномерный характер и интенсивность осадки увеличивается при действии динамических нагрузок.

Статья поступила в редколлегию 30. 12. 85
