

УДК 630\*378

*А.А. МИТРОФАНОВ*



Митрофанов Александр Александрович родился в 1941 г., окончил в 1964 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой водного транспорта леса и гидравлики Архангельского государственного технического университета. Имеет более 110 печатных работ в области теории и организации водного транспорта леса.

### ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ВКЛЮЧЕНИЯ В РАБОТУ СКЛАДНЫХ ЯКОРЕЙ И АНКЕРОВ

Разработана методика оценки доверительных границ безотказной работы металлических якорей и анкеров с раскрывающимися лапами. Приведены результаты испытаний.

The method of assessment of confidence limits has been elaborated for no-failure operation of metal and folding anchors. The trial results are given.



Рис. 1. Якорь ЯС - 15

Складные якоря лесосплавного назначения типов ЯС-15, 30, 150, 170, 200 и анкера для крепления газопроводов АС-150, 170, 200 конструкции АГТУ нашли достаточно широкое применение в производственных условиях [2, 3, 5].

От известных конструкций анкерных опор свайного типа с раскрывающимися лапами [1] наши конструкции (рис. 1, 2) выгодно отличаются высокой надежностью включения в работу. Это достигается тем, что якорь устанавливается внутрь трубы, поэтому при забивке он не контактирует с грунтом. После подъема трубы шарнирные соединения остаются чистыми, лапы свободно отклоняются в стороны и надежно включаются в работу.

Этому же способствуют еще два обстоятельства: 1) шарнирное соединение лап с корпусом выполнено не по классической схеме ось – втулка, а с помощью хомутов, свободно надетых на веретено якоря, что практически исключает заклинивание лап при попадании грунта в

шарнир; 2) центры тяжести лап значительно смещены в сторону от веретена. В якорях типа ЯС-15, 30 (рис. 1) они смещены в противоположную от веретена сторону, в результате плечо момента силы тяжести, отклоняющей лапу, увеличивается почти в 3 раза. В якорях ЯС-150, 170, 200 (рис. 2) это достигается установкой массивных косынок-утяжелителей.

Цель настоящего исследования – разработать методику оценки доверительных границ безотказной работы опор такого типа. Вероятность отказа якорей и анкеров не должна превышать вероятности нарушения работы сооружений, для крепления которых они предназначены.

Классический метод решения задач вероятностного плана обычно заключается в построении гистограмм и кривых распределения случайных величин (отказов включения лап в работу), подборке по ним теоретического распределения, т. е. решается задача выравнивания ряда распределения. Применительно к математическому моделированию объектов лесосплава методика решения таких задач рассмотрена нами в работе [4]. В данном же конкретном случае число отказов очень мало, и для построения гистограмм потребовалось бы выполнить очень много опытов, что практически нереально. В данном случае удобно воспользоваться теорией определения надежности [6], содержащей практические рекомендации. Согласно ей отказы включения якорей в работу, представляющие собой дискретные распределения вероятностей, характеризуются биномиальным и пуассоновским распределениями. Поскольку они взаимосвязаны и пуассоновское распределение при большом числе наблюдений переходит в биномиальное, для оценки надежности якорей за основу взяты теоретические положения последнего.

При биномиальном распределении вероятность  $P_{n_{от}, N_0}$  того, что случайная величина примет значения  $n_{от}$  ( $n_{от} = 0, 1, 2, \dots, N_0$ ), можно определить по формуле

$$P_{n_{от}, N_0} = \frac{N_0!}{n_{от}!(N_0 - n_{от})!} p^{n_{от}} (1-p)^{N_0 - n_{от}}, \quad (1)$$

где  $N_0$  – число независимых отказов;

$n_{от}$  – случайное число появления некоторого события, в нашем случае

$n_{от}$  – число отказов в  $N_0$  независимых опытах;

$p$  – вероятность появления события в каждом из опытов.

В частном случае из уравнения (1) вероятность того, что отказов не будет ни в одном из  $N_0$  опытов, определяют формулой

$$P_{1, N_0} = 1 - P_{0, N_0} (1-p)^{N_0}. \quad (2)$$



Рис. 2. Якорь ЯС - 200

Доверительные границы для вероятности появления отказа  $p$  находят по формулам

$$p_n = \frac{n_{от}}{N_0 R_1}; \quad p_b = \frac{n_{от}}{N_0 R_2}, \quad (3)$$

где  $R_1, R_2$  – коэффициенты, определяемые по специальным таблицам [6] в зависимости от  $n_{от}$  и  $n_{от}/N_0$  при доверительной вероятности  $\alpha_0 = 0,95$ .

Из уравнений (3) при  $n_{от} = 0$  получаем

$$p_n = 0; \quad p_b = 1 - (1 - \alpha_0)^{1/N_0}. \quad (4)$$

Здесь нижнюю доверительную границу находят достоверно ( $\alpha_{0,1} = 1$ ), а верхнюю с доверительной вероятностью  $\alpha_{0,2} = \alpha_0 = 0,95$ .

При известных доверительных границах вероятности появления отказа  $p_n$  и  $p_b$  доверительные границы безотказной работы

$$q_n = 1 - p_b; \quad q_b = 1 - p_n. \quad (5)$$

Из выражения (4) легко определить минимально необходимое число опытов безотказной работы для определения вероятности наступления отказа  $p \leq p_b$  с доверительной вероятностью  $\alpha_0$ :

$$N_{0 \min} = \frac{\lg(1 - \alpha_0)}{\lg(1 - p_b)}. \quad (6)$$

Если при выполнении  $N_{0 \min}$  опытов отказов нет, то доверительные границы безотказной работы находят по выражениям (5) при заданном значении  $p_b$  и  $p_n = 0$ . При наличии отказов в серии опытов  $N_0$  доверительные границы определяют по формулам (3).

Как уже отмечалось, надежность включения в работу якорей анализировали в процессе всех испытаний на моделях и в натуре. Оценивали каждый факт отказа, и при необходимости в конструкцию вносили изменения, повышающие надежность работы. Окончательные исследования выполнены на моделях, являющихся уменьшенными копиями серийных образцов якорей и анкеров типов ЯС и АС.

Принимая за допустимую вероятность появления отказа при включении лап в работу  $p_b = 0,05$ , по уравнению (6) находят минимально необходимое число опытов безотказной работы модели  $N_{0 \min}$ :

$$N_{0 \min} = \frac{\lg(1 - \alpha_0)}{\lg(1 - p_b)} = \frac{\lg(1 - 0,95)}{\lg(1 - 0,05)} = 59.$$

Если нет отказов, при выполнении 59 опытов границы безотказной работы якорей составляют

$$q_n = 1 - p_b = 1 - 0,05 = 0,95;$$

$$q_b = 1 - p_n = 1 - 0 = 1.$$

При наличии отказов эти границы уточняют по формулам (3), (5).

Опыты выполняли отдельно с моделями якорей ЯС-15, 30 и АС-200. В первом случае в 59 опытах зафиксирован один отказ (не включилась одна из трех лап).

Для этих условий доверительные границы появления отказов находим по формулам (3):

$$p_n = \frac{n_{от}}{N_0 R_1} = \frac{1}{59 \cdot 19,5} = 0,001;$$

$$p_b = \frac{n_{от}}{N_0 R_2} = \frac{1}{59 \cdot 0,28} = 0,060.$$

Отсюда доверительные границы безотказной работы

$$q_n = 1 - p_b = 1 - 0,06 = 0,94 ;$$

$$q_b = 1 - p_n = 1 - 0,001 = 0,999.$$

Оценивая работу якорей по средней величине интервала безотказной работы, можно сделать вывод об их высокой надежности.

С моделями якорей типа ЯС-200 выполнено в общей сложности 118 опытов и зафиксировано 3 отказа (в каждом из них не включалась одна из лап).

Доверительные границы вероятности появления отказа по формулам (3):

$$p_n = \frac{3}{118 \cdot 3,64} = 0,007; \quad p_b = \frac{3}{118 \cdot 0,04} = 0,064.$$

Доверительные границы безотказной работы

$$q_n = 1 - 0,064 \approx 0,94; \quad q_b = 1 - 0,007 \approx 0,99,$$

т. е. практически такие же, как и для якорей типа ЯС-15, 30.

Отмечая высокую надежность включения складных якорей в работу, нужно дополнительно иметь в виду, что отказ одной из лап (только такие отказы имели место при испытаниях) не выводит якорь из эксплуатации. Как показали замеры в натуре, в этом случае якорь несет около 80 % оптимальной нагрузки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Зубков В.М. Подземные сооружения, возводимые способом «стена в грунте». - Л.: Стройиздат, 1977. - 200 с. [2]. Митрофанов А.А. На реках новые якоря // Речной транспорт. - 1990. - № 7. - С. 21-22. [3]. Митрофанов А.А. Складные якоря новой серии // Лесн. пром-сть. - 1990. - № 9. - С. 30. [4]. Митрофанов А.А. Основы моделирования и оптимизации процессов лесосплава: Текст лекций. - Архангельск, 1993. - 90 с. [5]. Николаев А.И., Митрофанов А.А. Опыт крепления наплавных сооружений // Лесн. пром-сть. - 1990. - № 10. - С.15. [6]. Шор Я.Б., Кузьмин Ф. И. Таблицы для анализа и контроля надежности. - М.: Сов. радио, 1968. - 286 с.