

Таблица 3

Урожайность полевых культур в поле № 1, т/га (2009–2011 гг.)

Обработка почвы	Урожайность, т/га		
	Картофель		Ячмень
	2009 г.	2010 г.	2011 г.
Минимальная	36,9	19,9	2,92
Отвальная	40,2	22,9	2,73
НСР <sub>05</sub>	2,4 т/га	1,4 т/га	0,41 т/га

при более позднем гребнеобразовании. Отвальная обработка в обеих технологиях возделывания картофеля обеспечила достоверную прибавку урожайности (на 2,0 т/га) (табл. 3).

В 2011 г. наблюдалась обратная тенденция: урожайность ячменя при минимальной обработке была выше на 0,19 т/га по сравнению с отвальной.

**Выводы**

1. Применение минимальной обработки под полевыми культурами в севообороте приводит к увеличению плотности сложения пахотного слоя почвы.

2. Стабилизирующим фактором снижения плотности корнеобитаемого слоя является отвальная система обработки почвы, где отмечается уменьшение плотности пахотного (0...20 см) слоя на 0,06 г/см<sup>3</sup> и на 0,03 г/см<sup>3</sup> подпахотного (20...30 см) слоя.

3. Среди приемов основной обработки почвы в годы исследований отвальная вспашка оказала более благоприятное влияние на урожайность полевых культур. Сроки гребнеобразования обусловили достоверную прибавку урожая картофеля только в варианте с отвальной обработкой.

**Список литературы**

1. Брежнев, Д.Д. Повышение плодородия почв и рациональное использование земли — источник благосостояния общества / Д.Д. Брежнев, И.С. Рабочев, А.К. Ильичев // Вестник с.-х. науки. — 1981. — № 4. — С. 1–12.
2. Ревут, И.Б. Физика почв / И.Б. Ревут. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Колос, 1972. — 368 с.
3. Шеин, Е.В. Агрофизика почв / Е.В. Шеин, В.М. Гончаров. — М.: Изд-во МГУ, 2006. — С. 21.
4. Шептухов, В.Н. Минимизация обработки и прямой посев в технологиях возделывания культур: монография / В.Н. Шептухов. — М.: ГУЗ, 2005. — С. 69–81.

УДК 620.194.8

С.С. Чибухчян, канд. техн. наук  
М.Г. Стакян, доктор техн. наук

Государственный инженерный университет Армении (Политехник)

В.Н. Пряхин, доктор техн. наук

Московский государственный университет природообустройства

**ОРГАНИЗАЦИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА КОРРОЗИОННУЮ УСТАЛОСТЬ ВАЛОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Известны работы [1–3] в области исследования физико-химических механизмов коррозионно-усталостного разрушения, а также оценки показателей сопротивления усталости при воздействии коррозионных сред и различных факторов. Дальнейшее развитие этих работ предполагает расширение возможностей и совершенствование методов вероятностной оценки результатов механических испытаний и принятие оптимизационных решений по минимизации объемов и сроков испытаний.

В статье рассмотрены вопросы организации и проведения оптимальных испытаний на коррозионную усталость валов передаточных механизмов, наиболее подверженных воздействию коррозионных сред.

Для организации подобных длительных механических испытаний ( $N = 10^5 \dots 10^9$  циклов нагружения) превалярующими становятся их экономические и временные факторы реализации. Средняя

себестоимость реализации подобных испытаний определяется так:

$$C = n(C_1 + C_2T), \tag{1}$$

где  $C_1$  и  $C_2$  — себестоимости единицы испытуемого объекта и общего срока испытаний;  $T = fF(N) + 60ts$  — функция длительности испытаний;  $f = 0,5 \dots 1,8$  — коэффициент распределения объектов по уровням напряжений  $\sigma$ ;  $t$  — время подготовки испытаний;  $S$  — частота испытаний, цикл/мин;  $n$  — число испытуемых объектов.

Оптимизация испытаний приводит к решению системы уравнений

$$\begin{cases} \delta_1 \leq [\delta_1], \delta_2 \leq [\delta_2], \dots, \delta_n \leq [\delta_n], \\ T \leq [T], \\ C = C_{\min}, \end{cases} \tag{2}$$

где  $[\delta_1], [\delta_2], [\delta_3], \dots, [\delta_n]$  — допускаемые относительные погрешности показателей сопротивления коррозионной усталости;  $[T]$  — предусмотренная общая длительность испытаний;  $C_{\min}$  — заданная минимальная себестоимость испытаний.

Используя результаты физических испытаний на усталость ( $n = 160$ ) [4] как базовые и применяя метод случайного датчика (программа RANDOM), составлена компьютерная программа [4, 5] для организации виртуального эксперимента и генерации искусственных выборок данных, который моделирует получение результатов испытаний на усталость при параллельной работе целого парка усталостных машин в исследовательской лаборатории.

Двухмерный массив данных ( $\lg \sigma_j, \lg N_j$ ) распределен по уровням  $\sigma_j$  и каждому члену вариационного ряда присвоен трехзначный код. Используя метод случайного датчика, согласно составленной схеме производится случайный отбор данных, генерируя указанные коды, которые анализируются и отбрасываются повторно выбранные коды. По завершении случайного поиска формируется выборка двухмерных данных, определяются параметры уравнений коррозионной усталости для  $\bar{I}$  ( $N = 10^5 \dots 5 \cdot 10^6$ ) и  $\bar{II}$  ( $N = 5 \cdot 10^6 \dots 10^9$ ) согласно [4], а также сумма циклических долговечностей  $\sum N_{jv}^{(i)}$  для каждой выборки. Для обеспечения статистической устойчивости и сходимости полученных данных указанный случайный поиск повторяется в  $u_i$  раз. Приняты следующие обозначения:  $i = 1, m, m = 10$  серии экспериментов;  $u_1, \dots, u_i, \dots, u_m, u = 1, u_{10} = 100$  — число повторных виртуальных экспериментов в каждой серии;  $n_1, \dots, n_i, \dots, n_m, n_1 = 160, n_{10} = 8$  — количество экспериментов в каждой серии;  $\sigma_1, \dots, \sigma_j, \dots, \sigma_l, j = 1, l, l = 8, \sigma_1 = 300$  МПа,  $\sigma_8 = 100$  МПа — уровни напряжений;  $k_j = 20, \dots, 1$ , когда  $u_i = 1, \dots, 100$  — количество отобранных опытных точек с каждого уровня  $\sigma_j$ ;  $N_{jv}, v = 1, \kappa_j$  — циклические долговечности, отобранные с каждого уровня  $\sigma_j$ .

Учитывая двухзвенный вид линий коррозионной усталости [4], генерированы  $2 \sum_{i=1}^m u_i = 922$  двухмерных совокупностей данных ( $\lg \sigma_j, \lg N_{jv}$ ).

Для каждого уровня  $\sigma_j$  получаются  $u_i$  число вариационных рядов данных, что требует проверки однородности их дисперсий с применением однофакторного дисперсионного анализа, согласно критерию Фишера:

$$F = s_1^2 / s_{II}^1 \leq F_{1-\alpha}, s_1^2 > s_{II}^2; \quad (3)$$

$$s^2 = \left[ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 - \left( \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} \right)^2 / \sum_{i=1}^m n_i \right] / \left( \sum_{i=1}^m n_i - 1 \right). \quad (4)$$

При удовлетворении условия (3) рассчитываются обобщенные параметры, которые в дальнейших расчетах используются для расчета основных обобщенных показателей сопротивления усталости и их вероятностных значений.

Полученные данные используются для расчета основных обобщенных показателей сопротивления усталости и их вероятностных значений:

$$\begin{cases} \lg N_{kip}^{(i)} = \overline{\lg N_{ki}^{(i)}} + z_p \frac{s_{\lg N_{ki}^{(i)}}}{\overline{\lg N_{ki}^{(i)}}}, s_{N_{rkip}^{(i)}} = \overline{s_{N_{rki}^{(i)}}} + z_p \frac{s_{s_{N_{rki}^{(i)}}}}{\overline{s_{N_{rki}^{(i)}}}}, \\ \overline{m_{kip}^{(i)}} = \overline{m_{ki}^{(i)}} + z_p \frac{s_{m_{ki}^{(i)}}}{\overline{m_{ki}^{(i)}}}, C_{kip}^{(i)} = \overline{\lg N_{kip}^{(i)}} + z_p \frac{s_{\lg N_{kip}^{(i)}}}{\overline{\lg N_{kip}^{(i)}}} + \overline{m_{kip}^{(i)}} \lg \sigma_k^{(i)}, \\ \lg \sum N_{jivip}^{(i)} = \lg \sum N_{jvi} + z_p \frac{s_{\lg \sum N_{jvi}}}{\overline{\lg \sum N_{jvi}}}. \end{cases} \quad (5)$$

Для придания универсальности выполненных процедур составлена система относительных коэффициентов:

$$\begin{cases} \delta \lg N_k^{(i)} = \overline{\lg N_{k0}^{(i)}} - \overline{\lg N_{kip}^{(i)}}, \delta s_{N_{rk}}^{(i)} = s_{s_{N_{rk0}^{(i)}}}^{(i)} / s_{s_{N_{rkip}^{(i)}}}^{(i)}, \\ \overline{m_k^{(i)}} = \overline{m_{ko}^{(i)}} / \overline{m_{kip}^{(i)}}, \delta C_k^{(i)} = C_{ko}^{(i)} / C_{kip}^{(i)}, \\ \delta \lg \sum N_k^{(i)} = \lg \sum N_{ko}^{(i)} - \lg \sum N_{jivip}^{(i)}, \end{cases} \quad (6)$$

которые являются отношениями обобщенных показателей (5) к их базовым значениям, полученным при  $n = 160$ .

Первые четыре коэффициента в системе (6) оценивают ожидаемую погрешность показателей  $\lg N_k^{(i)}, s_{N_{rk}}^{(i)}, \overline{m_k^{(i)}}$  и  $C_k^{(i)}$  при уменьшении объема испытаний  $n_i$  и фактически являются относительными погрешностями, а  $\delta \lg \sum N_k^{(i)}$  характеризует снижение общей длительности испытаний.

В интервале вероятностей неразрушения  $P(N) = 50 \dots 99,9 \%$ , представляющих практический интерес для вероятностных расчетов, подтверждается наличие линейной корреляционной связи ( $|r| = 0,83 \dots 0,95$ ) между указанными коэффициентами и объемом испытаний  $n_i$ .

Коэффициенты (6) взаимосвязаны и их можно представить в виде сложной функции:

$$F \left( \delta \lg \sum N_k^{(i)}, \delta s_{N_{rk}}^{(i)}, \delta \overline{m_k^{(i)}}, \delta C_k^{(i)}, \right) = 0, \quad (7)$$

$$\left( \delta \lg \sum N_k^{(i)}, n_i, P(N), z_p \right)$$

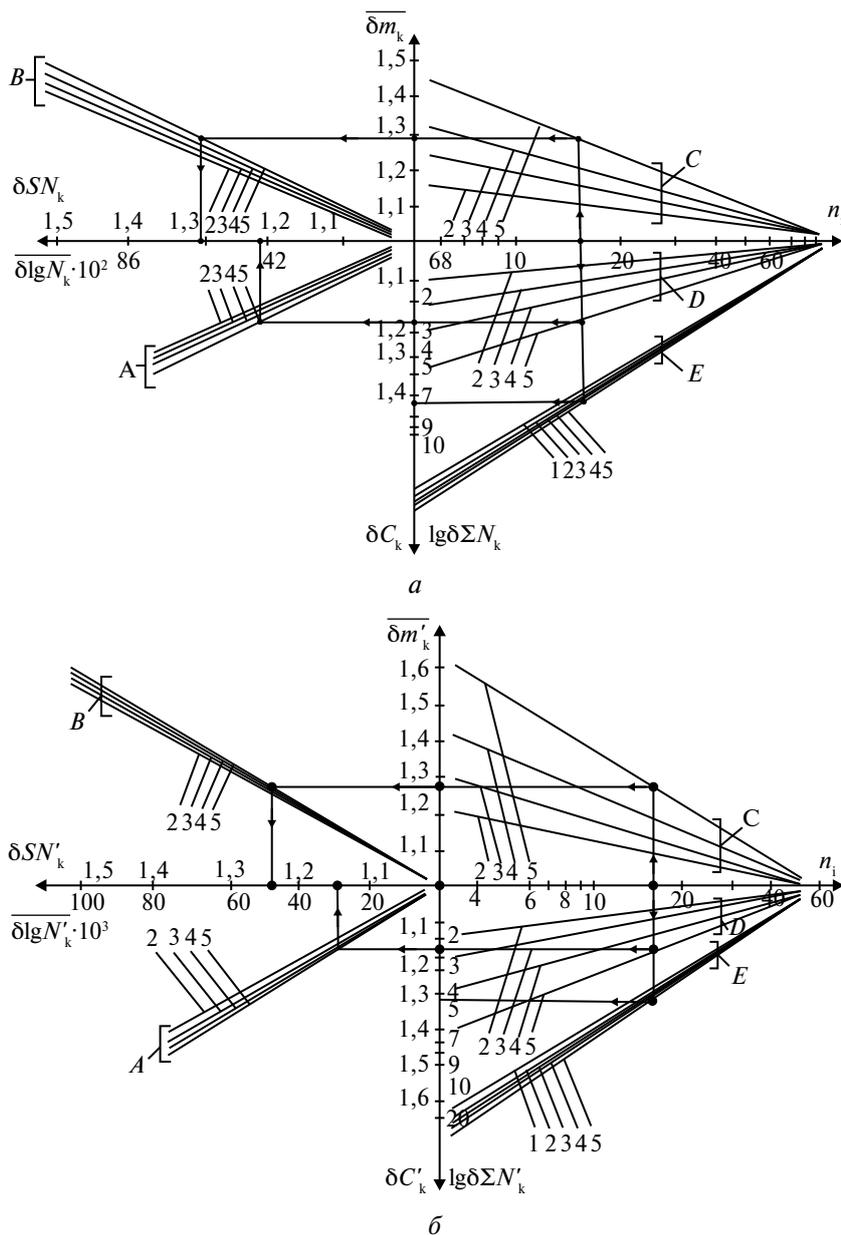
параметрами, которой являются  $n_i$  и  $P(N)$ . В параметрическом виде функцию (7) можно представить системой линейных уравнений регрессии:

$$\begin{cases} \delta \lg \lg N_k^{(i)} = a_1^{(i)} + b_1^{(i)} \lg n, \delta s_{N_{rk}}^{(i)} = a_2^{(i)} + b_2^{(i)} \lg n, \\ \delta \overline{m_k^{(i)}} = a_3^{(i)} + b_3^{(i)} \lg n, \delta C_k^{(i)} = a_4^{(i)} + b_4^{(i)} \lg n, \\ \lg \delta \sum N_k^{(i)} = a_5^{(i)} + b_5^{(i)} \lg n. \end{cases} \quad (8)$$

Условия оптимальных экспериментов в первую очередь ставят ограничения на объем  $n_i$  и суммарную длительность  $\sum N_k^{(i)}$  испытаний с учетом обеспечения необходимой точности расчетов, соответствующих заданному уровню вероятности неразрушения  $P(N)$ :

$$n \leq [n], \sum N_k \leq [\sum N_k], P(N) \leq [P(N)], \quad (9)$$

$$\delta_{(1-5)} \leq [\delta_{1-5}].$$



Номограммы показателей коррозионной усталости

Для обеспечения условий (9) целесообразно видоизменить систему взаимосвязанных зависимостей и их представить в таком виде:

$$\begin{cases} \delta C_k^{(i)} = a_4^{(i)} + b_4^{(i)} \lg n, & \delta C_k^{(i)} = A_1^{(i)} + B_1^{(i)} \delta \lg N_k^{(i)}, \\ \delta m_k^{(i)} = a_3^{(i)} + b_3^{(i)} \lg n, & \delta m_k^{(i)} = A_2^{(i)} + B_2^{(i)} \delta s_{N_{rk}}^{(i)}, \\ \delta \lg \sum N_k^{(i)} = a_5^{(i)} + b_5^{(i)} \lg n, \end{cases} \quad (10)$$

где  $A_1^{(i)} = a_4^{(i)} - a_1^{(i)} b_4^{(i)} / b_1^{(i)}$ ,  $A_2 = a_3^{(i)} - a_2^{(i)} b_3^{(i)} / b_2^{(i)}$ ,  $B_1 = b_4^{(i)} / b_1^{(i)}$ ,  $B_2^{(i)} = b_3^{(i)} / b_2^{(i)}$ .

Система уравнений (10) позволяет расчетно-графическими процедурами определить значения  $\delta$  и, выполняя испытания при ограниченном объеме ( $n = 15...16$ ), полученные показатели кривой коррозионной усталости уточнить до зна-

чений, соответствующих объему  $n = 160$  при заданном уровне  $P(N)$ . Для этого в квадрантах I–IV координатной системы ( $y, x$ ), учитывая общие координатные оси и логическую последовательность определения значений  $\delta$ , с помощью функций (10) построены номограммы, позволяющие простыми графическими построениями уточнить вышеуказанные показатели (рисунок). В частности, на рисунке показан такой вариант: ( $n = 16, P(N) = 99,9\%$ ), который по объему  $n$  соответствует принятым нормам соответствующего государственного стандарта. При этом коэффициенты  $\delta m_k^{(i)} = 1,26...1,28, \delta C_k^{(i)} = 1,17...1,20$  обеспечивают сокращение длительности испытаний на  $\delta \lg \sum N_k^{(i)} = 4,1...7,4$  раза.

Указанные номограммы обладают признаком универсальности, так как они относятся к лабораторным испытаниям, а в качестве материала образцов применена среднеуглеродистая конструкционная сталь 45, широко используемая в валах передаточных механизмов различного назначения.

Предложенная методика позволяет в значительной степени сократить объемы и сроки реализации относительно сложных натурных испытаний машин и технологического оборудования, предназначенных для работы в условиях воздействия окружающей среды.

Список литературы

1. Карпенко, Г.В. Физико-химическая механика конструкционных материалов: избр. тр. / Г.В. Карпенко. — Киев: Наукова думка, 1985. — Т. 1. — 228 с.
2. Wei, R.P. Corrosion and Corrosion Fatigue of Airframe Materials / R.P. Wei. — DOT/FAA/AR-00/22, 2000. — 234 p.
3. Brigitte, Battat. Accelerated Fatigue testing / Battat Brigitte // АМРТИАС. — N.-Y., 2002. — № 16. — P. 31–35.
4. Стакян, М.Г. Расчетная оценка сопротивления коррозионной усталости валов при сложно-напряженном состоянии / М.Г. Стакян, Г.А. Манукян // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН. — 1990. — Т. 43. — № 4. — С. 161–168.
5. Стакян, М.Г. Постановка оптимальных испытаний на усталость. Сообщ.1. Расчетная методика и алгоритм статистического эксперимента / М.Г. Стакян, А.Р. Демирханян // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. — 2002. — Т. 55. — № 1. — С. 3–10.