

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 ₀₅	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/см³ и на 0,03 г/см³ 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; $T = fF(N) + 60t_s$ — функция длительности испытаний; $f = 0,5 \dots 1,8$ — коэффициент распределения объектов по уровням напряжений σ ; 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 σ_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 σ_j ; $N_{jv}, v = 1, \kappa_j$ — циклические долговечности, отобранные с каждого уровня σ_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 σ_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:

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

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

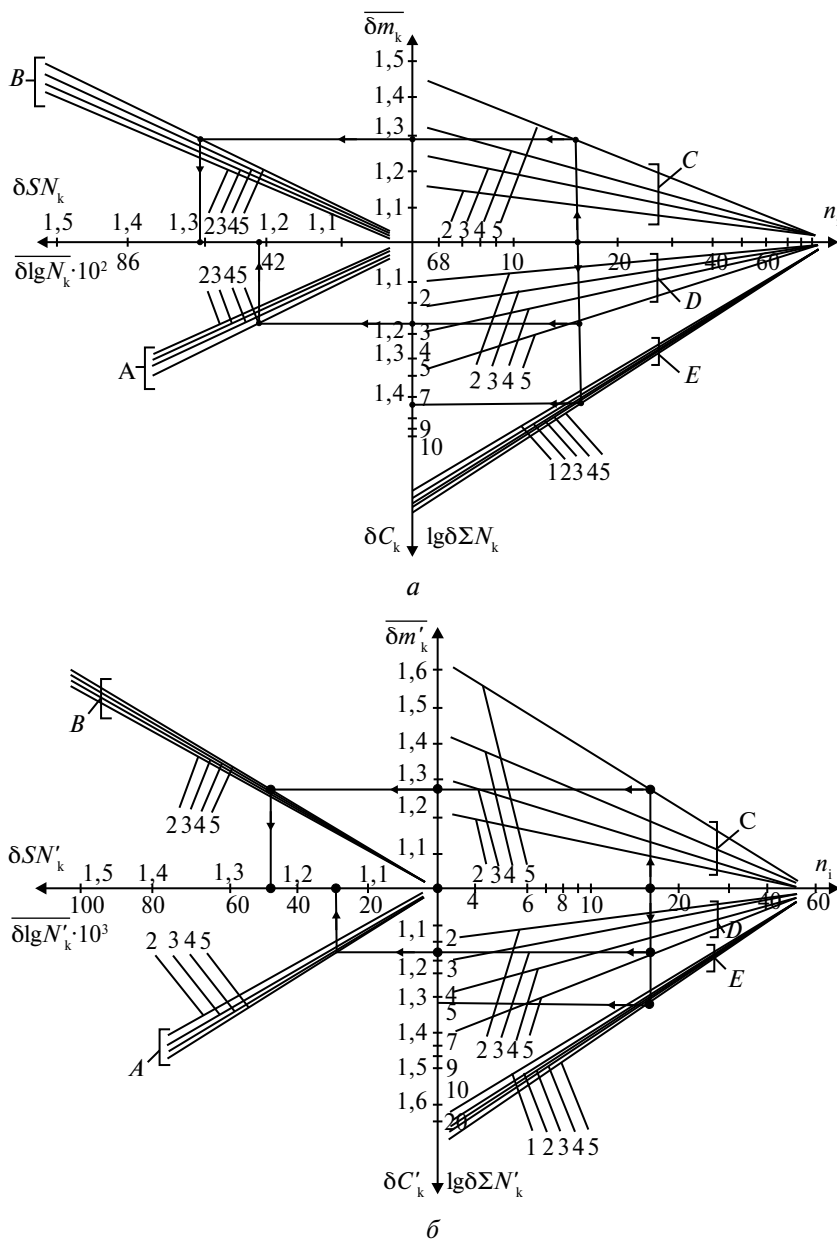
параметрами, которой являются n_i и $P(N)$. В параметрическом виде функцию (7) можно представить системой линейных уравнений регрессии:

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

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

Система уравнений (10) позволяет расчетно-графическими процедурами определить значения δ 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 δ , 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.