4. Ибраев А.С. Техническое средство для устройства борозд под посадку плодово-ягодных культур // *Агропродовольственная политика России*. 2020. № 5. С. 47–51.

5. Завражнов А.А., Завражнов А.И., Ибраев А.С., Гончаров А.А., Ланцев В.Ю. Машины для нарезания технологических борозд в садоводстве // *Агропродовольственная политика России*. 2018. № 3. С. 40–44.

6. Mudarisov S.G., Farkhutdinov I.M., Mukhametdinov A.M., Khabibullin R.F. Digital modeling of tillage processes using calibrated discrete element models // *Tractors and Agricultural Machinery*. 2026. Vol. 93, No. 2. P. 243–254. DOI: 10.17816/0321-4443-678717.

7. Ucgul M. Simulating Soil–Disc Plough Interaction Using Discrete Element Method–Multi-Body Dynamic Coupling // *Agriculture*. 2023. Vol. 13, No. 2. Art. 305. DOI: 10.3390/agriculture13020305.

УДК 631.3

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО КОМПЛЕКТА СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ В СООТВЕТСТВИИ С УСЛОВИЯМИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

М.А. Новиков, д-р техн. наук, профессор,
Н.П. Алдохина, канд. техн. наук, доцент
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», г. Пушкин, Российская Федерация
mihanov25@rambler.ru

Аннотация. В статье обоснован оптимальный комплект средств контроля и диагностирования в соответствии с условиями их использования.

Abstract. The article substantiates an optimal set of monitoring and diagnostic tools, based on the conditions of their use.

Ключевые слова: комплект, диагностирование, дефект,надежность.

Keywords: kit, diagnostics, defect, reliability.

Актуальность

В настоящее время технический контроль и диагностирование в сельскохозяйственном машиностроении приобретают новое качество и становятся обязательным элементом системы управления качеством выполняемых работ. Применение современных электронных диагностических приборов и установок, а также использование системы управления на базе встроенных средств диагностирования, учета и контроля позволяют уже на стадиях серийного производства вести контроль качества выпуска отдельных узлов, систем, сельскохозяйственных машин и тракторов в целом [1].

Надежный и достоверный контроль в условиях эксплуатации позволяет перейти от планово-предупредительной системы технического обслуживания к обслуживанию по фактическому состоянию, т.е. по потребности. В связи с этим проблема разработки и оптимального выбора вида средств контроля и диагностирования является актуальной.

Результаты исследований

В зависимости от условий применения различают разные задачи контроля. Для условий предприятий-изготовителей с помощью контроля и диагностирования определяют степень соответствия выпускаемых машин их нормативным техническим характеристикам, т. е. определяют качество [1, 2, 3, 4]. В условиях эксплуатации контролируют параметры, характеризующие функционирование (работоспособное состояние) машин, а также параметры, по которым можно определять остаточный ресурс отдельных узлов и агрегатов. В условиях ремонтных предприятий проводят входной контроль для определения вида и объема ремонта, а также – выходной контроль для определения качества ремонта и остаточного ресурса.

Для выбора оптимального средства контроля или диагностирования необходимо выполнить следующие этапы работ: - разработка модели контролируемого объекта; - классификация дефектов, оценка степени влияния их на техническое состояние объекта; - моделирование процессов развития дефектов; - выбор критериев оптимизации средств контроля или диагностирования; - разработка требований, предъявляемых к средству контроля или диагностирования [1, 2, 5].

Модель контролируемого объекта должна состоять из отдельных элементарных звеньев и иметь их физическое и математическое описание, а также содержать полное описание возможных дефектов (отказов).

Важнейшим требованием при составлении классификации дефектов является их связь с моделью контролируемого объекта. Для выбора средств контроля классификация дефектов должна учитывать временные характеристики изменения дефектов, а отказы подразделяться на статические, динамические и статистические. Кроме всего, классификация отказов должна учитывать условия, где применяется диагностика.

Для разработки модели процессов развития отказов необходимо иметь: физическую модель контролируемого объекта на основе перечня структурных параметров, характеризующих техническое его

состояние в данных условиях, и пределов их допустимых значений: диагностическую модель, включающую в себя перечень диагностических параметров, условий их контроля и допустимые пределы их изменения; математическое описание связи структурных и диагностических параметров.

В представленной работе более подробно рассмотрены вопросы оптимизации средств контроля и диагностирования.

Для оптимального выбора и разработки диагностического средства [1, 2, 5] предлагается использовать критерий минимальных издержек при оптимальной погрешности, определяемый по выражению 1:

$$G(t,\sigma^{\text{опт}}) = \min_{\substack{1\le i\le n\\ 0\le i\le m}} \left\{ \sum\nolimits_{i=1}^{n} \left[B_{ij} + 1{,}21\left(\gamma_i C_i\right)^{\frac{1}{3}} L_{ij}^{\frac{2}{3}} \right] \right\}, \qquad (1)$$

где B_{ij}, L_{ij} – коэффициенты, определяемые эмпирически в результате анализа ряда средств j-го метода диагностирования, отличающиеся соответствующими парами значений издержек и погрешности изменения i-го параметра; γ_i – нормированный показатель неоптимальности, определяемый графически; C_i – издержки, связанные с предупредительной заменой элемента по i-му параметру; t, $\sigma^{\text{опт}}$ – трудоемкость и средняя квадратическая погрешность контроля параметра.

При выборе диагностического средства с целью определения качества выпускаемых машин необходимо решить вопрос о месте контроля: либо проводить контроль и диагностирование агрегатов по функциональным параметрам уже собранной машины, либо, как это предлагается в [2, 3], диагностировать отдельно агрегаты, разбивать их по результатам диагностирования на группы и из механизмов, входящих в одну группу, собирать машину, что позволит увеличить ресурс машины в целом. В первом случае выбор средства проводится в соответствии с (1). Во втором случае, по каждому агрегату выбор средства проводится также в соответствии с (1), а в целом по машине – в соответствии со следующим выражением 2:

$$G_M(t,\sigma^{\text{опт}}) = \min_{1\le k\le z} \left\{ \sum_{k=1}^{z} \left[G_k\left(t,\sigma^{\text{опт}}\right) + D_k(t,\sigma^{\text{опт}}) \right] \right\}, \qquad (2)$$

где $D_K(t,\sigma^{\text{опт}})$ – затраты, связанные с дополнительными операциями контроля агрегатов; k – количество агрегатов.

При определении качества выпускаемой машины по второму варианту следует учесть, что перед диагностированием уже собранной машины необходимо провести оптимизацию параметров, характеризующих функционирование машины, и выбрать обобщенные, учитывающие качество сборки агрегатов. Сравнение результатов исследований позволит определить оптимальное средство диагностирования, место и технологию проведения контроля.

При диагностировании агрегатов и узлов машин с целью определении их остаточного ресурса критерий минимальных издержек будет выглядеть следующим образом:

$$G(t,\sigma^{\text{опт}}) = \min_{1 \le i \le n} \left\{ \sum_{i=1}^{n} \left[B_{ij} + 1,21\left(\gamma_i C_i\right)^{\frac{1}{3}} L_{ij}^{\frac{2}{3}} + E_i(t) \right] \right\}, \qquad (3)$$

где $E_i(t)$ – затраты, связанные с простоем машины и трудоемкостью ремонта из-за преждевременного выхода из строя продиагностированного узла.

Эти затраты определяются вероятностно-статистическими методами как стоимость ошибки из-за пропуска дефекта, т. е. ошибки II рода при оптимальной среднеквадратической погрешности метода диагностирования, применяемого в измерительном средстве.

В настоящее время в связи с широким внедрением в промышленном и сельскохозяйственном машиностроении устройств, приборов и установок, построенных на элементах микроэлектроники, встает задача оптимального соотношения между контрольными устройствами, встроенными на машине, и внешними диагностическими средствами. В процессе решения данной задачи следует учитывать, что при использовании встроенных средств контроля точность диагноза возрастает, уменьшается трудоемкость диагностирования и ошибки при определении остаточного ресурса агрегатов и узлов, что позволяет более эффективно использовать машину в эксплуатации, но при этом повышается стоимость машины и может уменьшаться надежность из-за усложнения конструкции машины [1, 5].

Поэтому вначале следует определить минимум издержек по каждому контролируемому параметру при использовании встроенных и внешних средств и сравнить их.

Целевая функция минимума издержек для встроенных средств будет выглядеть следующим образом:

$$G_B(t,\sigma^{\text{опт}}) = \min_{\substack{1\le i\le n\\ 0\le i\le m}} \left\{ \sum_{i=1}^{n} \left[\begin{array}{l} B_{ij} + 1,21\left(\gamma_i C_i\right)^{\frac{1}{3}} L_{ij}^{\frac{2}{3}} + \\ +C_{Bi}(t,\sigma^{\text{опт}}) + H_{Bi(t,\sigma^{\text{опт}})} \end{array} \right] \right\}, \qquad (4)$$

где $C_{\text{в}i}(t,\sigma^{\text{опт}})$ – дополнительные затраты, связанные с установкой контролирующих средств на машину; $H_{\text{в}i}(t)$ – затраты, связанные с преждевременным ремонтом машины, возникшим из-за усложнения конструкции машины, определяются вероятностно-статическими методами.

Заключение

Используя представленный теоретический материал можно определить оптимальный набор диагностических и контрольных средств для различных вариантов их применения.

Список использованной литературы

1/ Новиков, М. А. Надежность самоходных уборочных машин в современных экономических условиях АПК / М. А. Новиков, Ю. Н. Сидыганов, В. Б. Неклюдов; Министерство сельского хозяйства, Марийский государственный технический университет;. – Йошкар-Ола : Марийский государственный технический университет, 2001. – 122 с. – ISBN 5-8158-0123-2. – EDN TYAMSB.

2. Новиков, М. А. Повышение эффективности функционирования агрегатов зерноуборочных комбайнов на основе периодического вибродиагностирования / М. А. Новиков, Д. В. Бутусов, А. Н. Перекопский // . – 2002. – № 11. – С. 172–175. – EDN TXEBFR.

3. Новиков, М. А. Пути снижения вибрации зерноуборочных комбайнов при их функционировании / М.А. Новиков, А.М. Новиков, А.Н. Перекопский // Актуальные проблемы инженерного обеспечения АПК : сборник научных трудов / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Департамент кадровой политики и образования, Ярославская Государственная сельскохозяйственная академия. Том 3. – Ярославль: Ярославская Государственная сельскохозяйственная академия, 2003. – С. 139–142.

4. Максимов, Д. А. Способ контроля технического состояния механизма привода ножа режущего аппарата комбайнов "ДОН" в условиях эксплуатации / Д. А. Максимов, М. А. Новиков, А. Н. Перекопский // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 1996. – № 66. – С. 22-27. – EDN TKUODD.

5. Nawrocki W. Application of the vibro-acoustic signal to evaluate wear in the spindle bearings of machining centres. In-service diagnostics in the automotive industry / W. Nawrocki, R. Stryjski, M. Kostrzewski [et al.]. – DOI 10.1016/j.jmapro.2023.02.036 // Journal of Manufacturing Processes. – 2023. – Vol. 92. – P. 165-178.