

## ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО АВТОТРАНСПОРТНОГО ПІДПРИЄМСТВА

**В. Г. Максимов**, канд. техн. наук, **О. Д. Ніщевич**, канд. техн. наук, **О. А. Ткачов**, канд. техн. наук.

*Одеський національний політехнічний університет*

*Розглядається побудова математичної моделі прогнозування станів автотранспортного підприємства на основі теорії графів. Сформульовано критерії відмов і граничного стану елементів конструкції рухомого складу. Описано закономірності зміни станів елемента конструкції автомобіля протягом часу або величини пробігу.*

**Ключові слова:** математична модель, прогнозування стану автомобіля, критерій відмови, граничний стан.

**Вступ.** Автомобільний транспорт відіграє істотну роль в агропромисловому комплексі країни, регулярно обслуговуючи сільськогосподарські підприємства і організації. Однією з найважливіших завдань технічної експлуатації автотранспорту є контроль і прогнозування працездатності автомобілів.

**Проблема.** Ефективність функціонування сільськогосподарських автотранспортних підприємств обумовлюється необхідністю контролю технічного стану рухомого складу. Вирішення цього питання можна отримати на основі математичного моделювання процесу оперативного контролю за технічним станом автотранспортного підприємства.

**Мета і результати дослідження.** Побудова математичної моделі для здійснення контролю, технічного обслуговування, поточного ремонту рухомого складу автотранспортного підприємства має виконуватися з урахуванням наступних правил: 1. В процесі функціонування автотранспортного підприємства (АТП) початковий склад автомобілів  $A_{cn}$  не змінюється. Це означає, що технічне обслуговування рухомого складу організовано таким чином, що автомобіль, який входить в  $A_{cn}$  не втрачає своїх властивостей, і АТП в цілому на етапі експлуатації зберігає працездатність. 2. Кожен автомобіль, що входить в  $A_{cn}$  експлуатується автономно, тобто технічний стан в довільний момент часу не залежить від того, в якому стані знаходяться інші автомобілі. 3. Процес експлуатації кожного автомобіля, суть послідовності безперервних етапів експлуатації, що чергуються, відновлення працездатності, технічної діагностики, зберігання і т.д. 4. Переходи від одного етапу до іншого відбуваються одномоментно. На практиці ця вимога означає, що до моменту переривання етапу експлуатації повинні бути підготовлені відповідні ресурси, щоб відразу перейти до відновлення працездатності. 5. Для кожного автомобіля вважаються відомими два параметра  $\alpha$  і  $\beta$  — відповідно максимально допустимий проміжок часу

експлуатації між технічними обслуговуваннями і обов'язковий проміжок часу простою для відновлення. Для конкретних одиниць рухомого складу значення цих параметрів визначаються експериментальним шляхом. Множина, що складається з кінцевого числа елементів є найбільш природним математичним чином АТП, має мати властивості, які містяться у вимогах 1.

6. Розмірність множини в будь-який момент часу залишається незмінною ( $A_{cn}$ ). Математична модель дозволяє встановити періодичність повторення стану автотранспортного підприємства, кінцівку числа різних можливих траєкторій розвитку. Слід зазначити, що математична модель є детермінованою, основні параметри процесу контролю характеризуються конкретними числовими значеннями. У перспективі ця модель може отримати розвиток в напрямках стохастичного аналога. Поточний ремонт (ПР) призначений для усунення виникаючих несправностей, а також для забезпечення встановлених нормативів пробігів автомобілів і агрегатів до капітального ремонту. При ПР автомобіля можуть замінюватися окремі деталі, вузли, механізми, агрегати, які потребують поточного або капітального ремонту. ПР повинен забезпечити безвідмовну роботу відремонтованих агрегатів і вузлів на пробігу, не менше, ніж до чергового технічного обслуговування ТО-2.

Якісну модель зміни станів рухомого складу можна представити в такий спосіб: 1. Нехай  $A = \{A_k\}$ ,  $k = 1, \dots, n$ , є кінцева множина, складена з елементів  $A_k$ . Для опису якісних закономірностей еволюції  $A_k$  введемо в розгляд функцію  $C_k(t)$ . Припустимо, що  $C_k(t)$  кожному моменту часу  $t$  ( $t \geq 0$ ) ставить у відповідність один з символів:  $\langle S \rangle$ ,  $\langle R \rangle$ ,  $\langle TR \rangle$ , (SR), (RS), (TR,S). 2. Дамо такі визначення:  $\langle S \rangle$  — стан експлуатації;  $\langle R \rangle$  — стан відновлення;  $\langle TR \rangle$  — стан поточного ремонту; (SR) — перехідний режим від  $\langle S \rangle$  до  $\langle R \rangle$ ; (RS) — перехідний режим від  $\langle R \rangle$  до  $\langle S \rangle$ ; (TR, S) — перехідний режим від  $\langle TR \rangle$  до  $\langle S \rangle$ .

Круглі і кутові дужки використовуються для зручності відмінності перехідних режимів від станів експлуатації до відновлення.

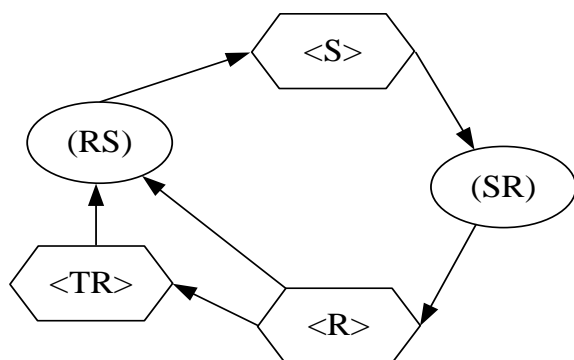


Рис. 1. Послідовність зміни стану елемента  $A_k$

Надалі під записом типу  $C_k(t) = \langle S \rangle$ , маємо на увазі, що елемент  $A_k$  в момент часу  $t$  знаходиться в стані експлуатації.

Припустимо, що послідовність змін станів елемента  $A_k$  підпорядковується правилу, яке зображене на рис. 1. З якого впливає, що еволюція станів елемента  $A_k$  відбувається по замкнутому циклу:

$$\langle S \rangle \rightarrow (SR) \rightarrow \langle R \rangle \rightarrow (RS) \rightarrow \langle S \rangle \quad (1)$$

Стан <TR> може входити в замкнутий цикл у разі, якщо має місце заявка на поточний ремонт вузла, агрегату з заміною деталей. У частині організації попереджувального ремонту значна роль відводиться: поглибленій діагностиці, попередженню відмов, визначенню граничного стану. Для попередження відмов необхідно сформулювати критерії відмов і граничного стану. Сучасні стандарти встановлюють, що ознаками відмов і граничних станів об'єкта є: -припинення виконання об'єктом заданих функцій;- відхилення заданих показників якості від граничних нормативних значень; - відмови і граничний стан складових частин об'єкта, які призводять до припинення функціонування об'єкта або виходу його показників якості за встановлені норми; -виникнення процесів, що перешкоджають функціонуванню об'єкта; -досягнення об'єктом призначеного ресурсу або призначеного терміну служби; -техніко-економічні фактори. При визначенні кількісних характеристик критеріїв відмов слід враховувати кінетику розвитку пошкодження і його вплив на сполучені деталі і вузли, складність і трудомісткість відновлення на етапі поточного ремонту. Розрахунку граничного стану присвячено значна кількість робіт. Як критерій розрахунку конструкції за граничними станами прийнятий критерій можливості їх подальшої експлуатації. Нормами і правилами для перевірки розрахунків виділені три визначальні критерії: за несучою здатністю, по деформації, за утворенню або розкриття тріщини. Зміну стану одиниці рухомого складу автотранспортного підприємства можна представити детермінованою математичною моделлю. Для опису закономірностей зміни станів елемента  $A_k$  з плином часу (пробігу) введемо в розгляд функцію стану  $a_k(t)$  і позитивні числа  $\alpha_k$  і  $\beta_k$  ( $k = 1, \dots, n$ ). Будемо припускати, що областю визначення  $a_k(t)$  є вісь часу  $t$ , а областю значень — напівінтервал  $(-\beta_k, \alpha_k)$  речовинній осі. Крім того, підпорядкуємо  $a_k(t)$  наступним умовам: 1 —  $a_k \cdot (t+T_k) = a_k(t)$ , тобто функція  $a_k$  — періодична, з основним періодом  $T_k = \alpha_k + \beta_k$ . 2 — якщо при  $t = 0$  відомо значення  $a_k(0) = a_k^0 \in (-\beta_k, \alpha_k)$ , то  $a_k(t)$  має вигляд  $a_k(t) = a_k^0 - t$ . Для всіх  $t \in (a_k^0 - \alpha_k, a_k^0 + \beta_k)$ . 3 —  $a_k \cdot (a_k^0 + \beta_k) = \alpha_k$ .

Тепер сформулюємо правило, за допомогою якого встановлюється відповідність в довільний момент часу (пробігу) між значеннями функцій станів елемента  $A_k$  — речовинній функції  $a_k(t)$  і символічній функції  $C_k(t)$ :

$$a_k(t) \in \begin{cases} (0, \alpha_k), \text{ якщо } C_k(t) = \langle S \rangle \\ (-\beta_k, 0), \text{ якщо } C_k(t) = \langle R \rangle \end{cases} \quad (2)$$

$$a_k(t) = \begin{cases} 0, \text{ якщо } C_k(t) = (SR) \\ \alpha_k, \text{ якщо } C_k(t) = (RS) \end{cases}$$

Вирішуючи це правило щодо  $C_k(t)$ , отримаємо правило:

$$a_k(t) \in \begin{cases} (0, \alpha_k), \text{ якщо } C_k(t) = \langle S \rangle \\ (-\beta_k, 0), \text{ якщо } C_k(t) = \langle R \rangle \end{cases} \quad (3)$$

$$a_k(t) = \begin{cases} 0, \text{ якщо } C_k(t) = (SR) \\ \alpha_k, \text{ якщо } C_k(t) = (RS) \end{cases}$$

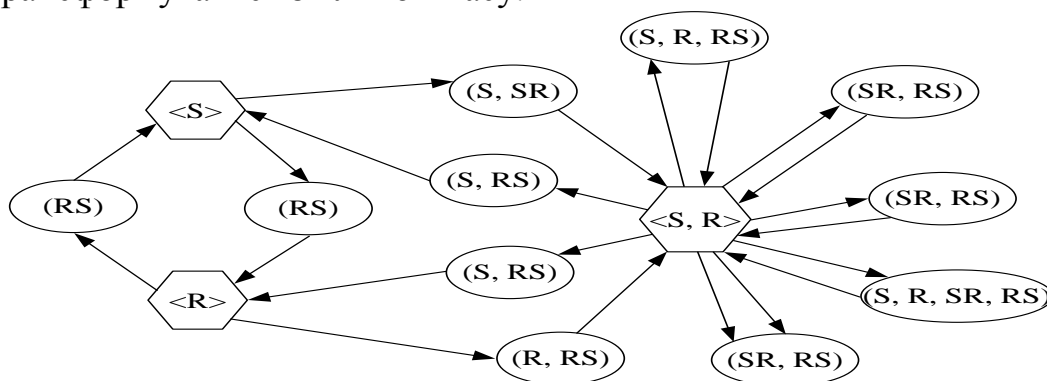
Пара функцій  $\alpha_k(t)$  і  $C_k(t)$ , пов'язаних між собою правилом 2, описують математичну модель зміни станів  $A_k$ . Розглянемо, який конкретний зміст приписується функції  $\alpha_k(t)$ . Якщо  $\alpha_k(t) > 0$ , то її значення інтерпретуємо, як інтервал часу, відлічуваний від моменту  $t$  до моменту наступу перехідного режиму (SR), протягом якого можлива експлуатація  $A_k$  в автотранспортному підприємстві. З негативними значеннями  $\alpha_k(t)$  зв'язується процес відновлення  $i$ -го автомобіля (в АТП він відсутній, з ним проводяться ремонтні роботи), причому  $|\alpha_k(t)|$  розглядається як числове значення проміжку часу періоду відновлення, який починається від перехідного режиму (SR) до моменту часу  $t$ . Для побудови якісної моделі зміни станів автотранспортного підприємства, необхідно уточнити, в яких відносинах будуть розглядатися автомобілі в процесі експлуатації рухомого складу. З цією метою звернемо увагу на одну важливу властивість, яка характерна для багатьох автотранспортних підприємств. Воно проявляється в тому, що організація їхнього обслуговування по суті забезпечує незалежну експлуатацію одиниць рухомого складу. Це означає, що стан автомобілів в довільний момент часу не пов'язані між собою. Автотранспортні підприємства у яких рухомий склад має таку властивість, визначаємо як автотранспортне підприємство з автономним рухомим складом. Нехай  $A = \{A_k\}$ , ( $k = 1 \dots n$ ) – кінцева множина,  $A_k$  — його елемент і  $C_k(t)$  — символно-значуща функція стану  $A_k$ . Визначимо функцію  $C(t)$  стану множини  $A$  за допомогою рівності:

$$C(t) = \bigcup_{k=1}^n C_k(t) \quad (4)$$

де:  $\cup$  – теоретико-множинна сума.

Сенс записи (4) полягає в тому, що значення  $C_k(t)$  в будь-який момент часу є об'єднанням символних значень, прийнятих  $C_k(t)$ . Такими можуть бути  $\langle S \rangle$ ,  $\langle R \rangle$ , (SR), (RS). Отже, весь перелік стану множини  $A$  буде описуватися комбінаціями цих символів. Повний список символів, що належать області значень функції  $C(t)$ :  $\langle S \rangle$  — стан експлуатації множини  $A$ , реалізується в такі моменти часу, коли кожен автомобіль знаходиться в експлуатації, тобто  $C_k(t) = \langle S \rangle, (k = 1 \dots n)$ ;  $\langle R \rangle$  — стан відновлення множини  $A$ , яке має місце, якщо всі автомобілі відновлюються одночасно, тобто  $C_k(t) = \langle R \rangle, (k = 1 \dots n)$ ;  $\langle S, R \rangle$  — скорочений запис об'єднання символів  $\langle S \rangle$  и  $\langle R \rangle$ , позначається змішаний стан експлуатації та відновлення множини  $A$ ; воно виникає в тих випадках, коли деякі автомобілі знаходяться в експлуатації, а інші із  $A_{cn}$  відновлюються; (SR) — перехідний режим множини  $A$  від стану  $\langle S \rangle$  до стану  $\langle R \rangle$ ; має місце в такі моменти часу, коли  $C_k(t) = \langle SR \rangle, (k = 1 \dots n)$ ; (RS) — перехідний режим множини  $A$  від стану  $\langle R \rangle$  до стану  $\langle S \rangle$ ; виникає, коли  $C_k(t) = \langle RS \rangle, (k = 1 \dots n)$ ; (S, SR), (S, RS), (R, SR), (R, RS), (SR, RS), (S, R, RS), (S, R, SR), (S, SR, RS), (R, SR, RS), (S, R, SR, RS) — скорочення записи об'єднань з двох, трьох, чотирьох символів  $\langle S \rangle$ ,  $\langle R \rangle$ , (SR), (RS) вони позначають різні перехідні режими, в яких може опинитися множина  $A$ , якщо в один і той же момент часу реалізується різні стану рухомого складу. Наприклад, якщо частина автомобілів перебуває в

стані  $\langle S \rangle$ , а інші із  $A_{cn}$  в режимі (SR), то стан парку в цілому характеризується символом (S, SR). Під якісної моделлю зміни стану автотранспортного підприємства представляється орієнтований граф з вершинами, які відповідають можливим станам множини  $A$ , і ребрами між ними, напрямки яких упорядковуються ці стани вздовж осі часу. Представлений граф на рис. 2, задає якісну модель зміни стану сільськогосподарського автотранспортного підприємства загального призначення. Дійсно, 15 різних станів множини  $A$ , в загальному випадку, представлені на ньому відповідними вершинами. Звертаючись по черзі до кожного стану, визначимо, до яких наступних станів воно може трансформуватися з плином часу.



**Рис. 2.** Орієнтований граф моделі зміни стану сільськогосподарського автотранспортного підприємства

В цьому стані множина  $A$  буде перебувати до певного моменту часу  $t_1$ , коли або весь рухомий склад  $A_{cn}$ , або тільки декілька з них одночасно завершать свої етапи експлуатації  $\langle S \rangle$ . При  $t = t_1$  в першому випадку настане перехідний режим (SR), а в другому — (S, SR). Отриманий результат відображається на рис. 2 двома стрілками, що виходять із вершини  $\langle S \rangle$  в напрямку вершин (SR) і (S, SR). Для того щоб виправдати наявність двох інших стрілок, що входять в  $\langle S \rangle$ , необхідно звернутися до перехідних режимів (RS) і (S, RS). У чинному АТП режим відновлення визначається перебуванням: технічного обслуговування (ТО); поточного ремонту (ПР); капітального ремонту (КР). Тоді стан  $\langle R \rangle$  уточнюється парою індексів: ТО, ПР, КР відповідно, наприклад,  $\langle R(ТО) \rangle$ ,  $\langle R(ПР) \rangle$ ,  $\langle R(КР) \rangle$ . Аналізуючи можливі стани множини, впливає, що орієнтований граф на рис. 2 задає якісну модель зміни стану автотранспортного підприємства. Модель дозволяє простежити можливі шляхи розвитку автотранспортного підприємства з плином часу.

**Висновки.** Проведені аналітичні дослідження показали, що прикладом складної структури зміни стану парку може служити цикл  $\langle S \rangle \rightarrow (S, SR) \rightarrow \langle SR \rangle \rightarrow (S, R, RS) \rightarrow \langle S, R \rangle \rightarrow (S, R, SR, RS) \rightarrow (S, R) \rightarrow (S, RS) \rightarrow \langle S \rangle$ . З урахуванням зауважень в частині системи відновлення працездатності, заснованої на попередженні відмови стан  $\langle R \rangle$  уточнюється (ТО, ПР, КР). Це означає, що деякий час автотранспортне підприємство знаходиться в стані експлуатації  $\langle S \rangle$ . Далі сходить на перехідний режим (S, SR), коли частина

рухомого складу залишається в експлуатації <S>, а решта вичерпали допустимий термін експлуатації і виявилися в стані (SR). На етапі <S, R> перша група автомобілів продовжує перебувати в експлуатації в АТП, а друга група надходить у виробничі зони для технологічних впливів по відновленню працездатності, і далі, цикл триває.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Кузнецов Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей./Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, В.М. Власов и др. — М.: Наука, 2004. — 535 с.
2. Лукинский, В.С. Прогнозирование надежности автомобилей / В.С. Лукинский, Е.И. Зайцев — Л.: Политехника, 1991. — 224 с.
3. Максимов В.Г. Оцінка основних показників надійності автомобілів агропромислового комплексу / В.Г. Максимов, О.Д. Ніцевич, О.А. Ткачов, А.М. Теплечук // Аграрний вісник Причорномор'я — Одеса, 2014 — Вип. 74. — С. 12 — 19.

### ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Максимов В.Г., Ницевич А.Д., Ткачев А.А.

**Ключевые слова:** математическая модель, прогнозирование состояния автомобиля, критерий отказа, предельное состояние.

#### Резюме

*Рассматривается построение математической модели прогнозирования состояний автотранспортного предприятия на основе теории графов. Установлены требования которые необходимы для построения математической модели. Сформулированы критерии отказов и предельного состояния элементов конструкции подвижного состава. Описаны закономерности изменения состояний элементов конструкции автомобиля с течением времени или от величины пробега.*

### CONSTRUCTION OF MATHEMATICAL MODELS OF AGRICULTURAL ROAD TRANSPORT COMPANIES FORECASTING

Maksimov V.G., Nitsevych O.D., Tkachev A.A.

**Key words:** mathematical model, prediction of the state, failure criterion, limit state.

#### Summary

*The construction of a mathematical model predicting the state road transport enterprises on the basis of the graph theory. The criteria of failures and limiting condition of the structural elements of the rolling stock in the technical, economic and techno-economic aspects. Describes the patterns of change in the states of vehicle design time, run.*