

А. Л. Мисун, П. Е. Круглый, Л. В. Мисун, С. Н. Корбут

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: SLM_90@mail.ru*

ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УБОРКИ КОРМОВЫХ КУЛЬТУР

В статье приводятся теоретические зависимости, позволяющие прогнозировать эффективность функционирования транспортного обеспечения кормоуборки. Предложены организационно-технические мероприятия для снижения производственного травматизма при загрузке и выгрузке растительной массы из транспортного средства.

Ключевые слова: производственный травматизм, кормоуборочный комбайн, кабина, безопасность труда, транспортное обеспечение, эффективность, уборка, кормовые культуры.

A. L. Misyn, P. E. Krygliu, L. V. Misyn, S. N. Korbyt

*Educational establishment «Belarusian state agrarian technical university»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: SLM_90@mail.ru*

ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL MEASURES TO IMPROVE THE EFFICIENCY AND SECURITY OF TRANSPORT MAINTENANCE MOWING

The article shows the theoretical dependence, which allows to predict the efficiency of transport service of forage harvest. Proposed organizational and technical measures to reduce industrial injuries when loading and unloading the crop from the vehicle.

Keywords: occupational injuries, forage harvester, cabin, safety, transport, efficiency, harvest, fodder crops.

Введение

Отвозка убранных кормовых культур, от выполнения которой зависит весь технологический процесс, часто по времени запаздывает, иногда простаивает транспортное средство, то есть вся технологическая система кормоуборки находится в неработоспособном состоянии. При этом в период заготовки кормов нередко дожди, увеличивается интенсивность движения транспорта по полевым дорогам, повышается уровень опасности производственного риска, ухудшаются экономические показатели кормоуборки в целом [1].

Результаты исследований

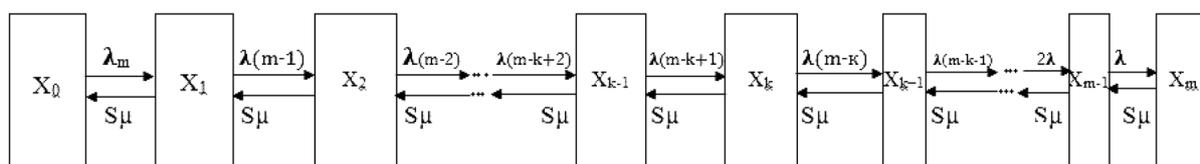
Снизить вероятность наступления неработоспособного состояния технологической системы кормоуборки по причине «транспорт» возможно за счет оптимальной организации использования транспортных средств. Для моделирования рассматриваемого процесса применим математический аппарат теории массового обслуживания. Представим, что парк комплекса для уборки кормовых культур состоит из m комбайнов. Загрузка и отвоз убранный растительной массы от комбайнов обеспечивается S единицами транспорта. При этом учитываем, что часть транспортных средств, обслуживающих комплекс комбайнов, будет простаивать, когда количество поступивших отказов комбайнов (k) больше числа единиц транспорта. Для этого случая рассмотрим вариант транспортного обслуживания кормоуборочных комплексов, включающих три и более комбайнов, с совместной организацией работы транспортных средств, способствующей увеличению интенсивности обслуживания (μ). Функция $\mu(S)$, представляющая собой суммарную

интенсивность транспортного обслуживания комбайнов, является неубывающей и при определенных значениях S достигает своего максимального постоянного уровня. Поскольку на практике число транспортных средств, обслуживающих кормоуборочные комплексы, ограничено $S_{max} = 3$, можно предположить, что в этих пределах интенсивность суммарного потока обслуживаний пропорциональна числу транспортных средств, то есть $\mu(S) = \mu \cdot S$. Граф состояний системы транспортного обслуживания кормоуборочных комбайнов приведен на рисунке 1. Рассмотрим подробно все возможные состояния системы обслуживания и их вероятности:

X_0 – состояние, при котором все комбайны работают. Отказавших комбайнов нет. Все единицы транспорта задействованы и обслуживают комбайны. Это состояние достигается, если произойдет одно из событий:

A – в момент времени t система транспортного обслуживания комбайнов находилась в состоянии X_0 и за время Δt ни у одного из m кормоуборочных комбайнов не было отказа;

B – в момент времени t система находилась в состоянии X_j – от одного комбайна поступил отказ, и он не загружал растительной массой транспорт, то есть простаивал; за время Δt отказ комбайна был устранен и система пришла в состояние X_0 .



X_0 – состояние технологической системы кормоуборки, при котором все m -комбайны работают;
 $X_1, X_2, X_{k-1}, X_k, X_{k+1}, X_{m-1}, X_m$ – состояние системы, когда имеют место отказы комбайнов;
 S – транспортные средства для обслуживания комбайнов; k – отказавшие комбайны

Рисунок 1. – Граф состояний системы транспортного обслуживания кормоуборочных комбайнов

По теореме сложения вероятностей находим вероятность того, что в системе транспортного обслуживания комбайнов в момент времени $t + \Delta t$ не будет ни одного требования:

$$P_o(t + \Delta t) = P(A) + P(B) + O(\Delta t), \quad (1)$$

где $O(\Delta t)$ – бесконечно малая величина высшего порядка по сравнению с Δt .

Вероятность того, что в момент t система находилась в состоянии X_0 , равна $P_0(t)$. Вероятность того, что за время Δt не было отказа ни от одного из m кормоуборочных комбайнов, равна $e^{-\lambda m \Delta t} = 1 - \lambda m \Delta t + O(\Delta t)$. Тогда по теореме умножения вероятностей

$$P(A) = P_o(t)[1 - \lambda m \Delta t + O(\Delta t)]. \quad (2)$$

Вероятность того, что в момент времени t система находилась в состоянии X_j , равна $P_j(t)$, а вероятность того, что за время Δt комбайн загружал растительную массу в транспортное средство, равна $1 - e^{-s\mu\Delta t} = s\mu\Delta t + O(\Delta t)$.

Тогда

$$P(B) = P_1(t)[s\mu\Delta t + O(\Delta t)]. \quad (3)$$

Подставив выражения (2), (3) в уравнение (1), получим:

$$P(B) = P_1(t)[s\mu\Delta t + O(\Delta t)].$$

$$P_o(t + \Delta t) = P_o(t)[1 - \lambda m \Delta t + O(\Delta t)] + P_1(t)[s\mu\Delta t + O(\Delta t)]. \quad (4)$$

Преобразовав уравнение (4), получаем:

$$\frac{P_o(t + \Delta t) - P_o(t)}{\Delta t} = -\lambda m P_o(t) + s\mu P_1(t) + O(\Delta t).$$

Перейдя к пределу при $\Delta t \rightarrow 0$, получаем обыкновенное линейное дифференциальное уравнение относительно $P_0(t)$:

$$\frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda m P_0(t) + s\mu P_1(t). \quad (5)$$

В пределе при $t \rightarrow \infty$ получим алгебраическое уравнение:

$$-\lambda m P_0 + s\mu P_1 = 0. \quad (6)$$

X_k – состояние, когда от k комбайнов поступили отказы ($1 \leq k < m$) и за время Δt не загружалась растительной массой ни одно из транспортных средств ($m-k$) и не устранены отказы ни одного из k кормоуборочных комбайнов;

C – в момент времени t система находилась в состоянии X_k , и за время Δt не загружалась растительной массой ни одно из транспортных средств ($m-k$) и не устранены отказы ни одного из k кормоуборочных комбайнов;

D – в момент времени t система находилась в состоянии X_{k-1} , и за время Δt от одного из ($m-k+1$) комбайнов поступил отказ и не один из ($k-1$) комбайнов не восстановлен;

E – в момент времени t система находилась в состоянии X_{k-1} , и за время Δt не поступило отказа ни от одного из ($m-k-1$) комбайнов, а у одного из ($k+1$) комбайнов отказы устранены. Тогда

$$P_k(t + \Delta t) = P(C) + P(D) + P(E) + O(\Delta t). \quad (7)$$

Поскольку вероятность того, что в момент времени t система находится в состоянии X_k , равна $P_k(t)$, а вероятность того, что за время Δt не поступило отказа ни от одного из ($m-k$) кормоуборочных комбайнов, равна $[1 - \lambda(m-k)\Delta t + O(\Delta t)]$ и вероятность того, что за время Δt не устранены отказы ни у одного из k комбайнов, равна $[1 - s\mu\Delta t + O(\Delta t)]$, то по теореме умножения вероятностей

$$P(C) = P_k(t)[1 - \lambda(m-k)\Delta t + O(\Delta t)][1 - s\mu\Delta t + O(\Delta t)].$$

После преобразования получим:

$$P(C) = P_k(t)\{1 - [\lambda(m-k) + s\mu]\Delta t + O(\Delta t)\} \quad (1 \leq k < m). \quad (8)$$

Вероятность того, что в момент времени t система транспортного обслуживания комбайнов находилась в состоянии X_{k-1} , равна $P_{k-1}(t)$. Вероятность того, что за время Δt поступил отказ от одного из ($m-k+1$) комбайнов, равна $[\lambda(m-k+1)\Delta t + O(\Delta t)]$. Вероятность того, что ни один из ($k-1$) отказавших кормоуборочных комбайнов не обслуживался транспортным средством за время Δt , равна $[1 - s\mu\Delta t + O(\Delta t)]$. Тогда

$$P(D) = P_{k-1}(t)[\lambda(m-k+1)\Delta t + O(\Delta t)][1 - s\mu\Delta t + O(\Delta t)]$$

или

$$P(D) = P_{k-1}(t)[\lambda(m-k+1)\Delta t + O(\Delta t)] \quad (1 \leq k < m) \quad (9)$$

Так как вероятность того, что рассматриваемая система транспортного обслуживания комбайна, находившаяся в момент времени t в состоянии X_{k+1} , равна $P_{k+1}(t)$, а вероятность того, что за время Δt ни у одного из ($m-k-1$) комбайнов не было отказа, равна

$$[1 - \lambda(m-k-1)\Delta t + O(\Delta t)], \text{ то } P(E) = P_{k+1}(t)[s\mu\Delta t + O(\Delta t)][1 - \lambda(m-k-1)\Delta t + O(\Delta t)].$$

Преобразовав, получаем:

$$P(E) = P_{k+1}(t)[s\mu\Delta t + O(\Delta t)] \quad (1 \leq k < m). \quad (10)$$

Таким образом, после подстановки формул (8)–(10) в уравнение (7) имеем:

$$P_k(t + \Delta t) = P_k(t)\{1 - \lambda(m-k) + s\mu\}\Delta t + O(\Delta t) + P_{k+1}(t)[\lambda(m-k-1)\Delta t + O(\Delta t)] + P_{k+1}(t)[s\mu\Delta t + O(\Delta t)] \quad (1 \leq k < m). \quad (11)$$

После преобразования выражения (11)

$$\frac{P_o(t + \Delta t) - P_k(t)}{\Delta t} = -[\lambda(m - k) + s\mu]P_k(t) + \lambda(m - k + 1)P_{k+1}(t) + s\mu P_{k+1}(t) \quad (1 \leq k < m).$$

В стационарном состоянии

$$\lambda(m - k + 1)P_{k+1} - [\lambda(m - k) + s\mu]P_k + s\mu P_{k+1} = 0 \quad (1 \leq k < m). \quad (12)$$

Отдельно рассмотрим X_m , когда все кормоуборочные комбайны не обслуживались транспортными средствами ($k = m$). Состояние достигается, если произойдет одно из событий:

F – в момент времени t от всех m комбайнов поступили отказы, и ни одно из S транспортных средств не загружалось за время Δt ;

G – в момент времени t система транспортного обслуживания комбайнов находилась в состоянии X_{m-1} , и за время Δt от последнего работающего кормоуборочного комбайна поступил отказ и ни одно из S транспортных средств не было загружено.

Тогда

$$P_m(t + \Delta t) = P(F) + P(G) + O(\Delta t). \quad (13)$$

Поскольку вероятность того, что в момент времени t рассматриваемая система находилась в состоянии X_m , равна $P_m(t)$, а вероятность того, что за время Δt ни одно из транспортных средств не было загружено, равна $[1 - s\mu\Delta t + O(\Delta t)]$, то

$$P(F) = P_m(t)[1 - s\mu\Delta t + O(\Delta t)]. \quad (14)$$

Так, вероятность того, что в момент времени t система транспортного обслуживания комбайнов находилась в состоянии X_{m-1} , равна $P_{m-1}(t)$, а вероятность того, что за время Δt от последнего кормоуборочного комбайна поступит отказ, равна $[\lambda\Delta t + O(\Delta t)]$ и вероятность того, что за время Δt ни одно из S транспортных средств не загружалось, равна

$$\begin{aligned} [1 - s\mu\Delta t + O(\Delta t)], \text{ то } P(G) &= P_{m-1}(t)[\lambda\Delta t + O(\Delta t)][1 - s\mu\Delta t + O(\Delta t)] = \\ &= P_{m-1}(t)\lambda\Delta t + O(\Delta t). \end{aligned} \quad (15)$$

После подстановки зависимостей (14), (15) в уравнение (13), получим:

$$\begin{aligned} P_m(t + \Delta t) &= P_m(t)[1 - s\mu\Delta t + O(\Delta t)] + P_{m-1}(t)[\lambda\Delta t + O(\Delta t)] = \\ &= P_m(t) - P_m(t)[s\mu\Delta t + O(\Delta t)] + P_{m-1}(t)[\lambda\Delta t + O(\Delta t)]. \end{aligned} \quad (16)$$

После преобразования выражения (16) имеем:

$$\frac{P_m(t + \Delta t) - P_m(t)}{\Delta t} = \lambda P_{m-1}(t) - s\mu P_m(t) + O(\Delta t).$$

В стационарном состоянии

$$\lambda P_{m-1} - s\mu P_m = 0. \quad (17)$$

Полученные зависимости (6), (12), (17) составляют систему алгебраических уравнений, решение которой позволяет определить вероятности P_k наличия в системе транспортного обслуживания k комбайнов (при работе транспорта с взаимодействием) для стационарного состояния:

$$\begin{cases} -\lambda m P_0 + s\mu P_1 = 0 \\ (m - k + 1)P_{k-1} - [(m - k) + s\mu]P_k + s\mu P_{k+1} = 0 \\ (1 \leq k < m) \\ \lambda m P_{m-1} - s\mu P_m. \end{cases} \quad (18)$$

Проделав соответствующие преобразования, получим выражение для определения вероятности наличия в системе транспортного обслуживания k отказавших кормоуборочных комбайнов:

$$P_k = m(m-1)\dots(m-k+1)\left(\frac{\lambda}{s\mu}\right)^k P_0 = \frac{m!\left(\frac{\rho}{s}\right)^k}{(m-k)!} P_0 \quad (1 \leq k \leq m). \quad (19)$$

На основании зависимости (19) и используя нормирующее условие:

$$\sum_{k=0}^m P_k = 1, \quad (20)$$

получаем основные расчетные уравнения функционирования транспортного обслуживания кормоуборочных комбайнов:

– вероятность того, что система транспортного обслуживания комбайнов свободна, P_0 , определяется из выражения:

$$P_0 = \left[\sum_{k=0}^m \frac{m!\left(\frac{\rho}{s}\right)^k}{(m-k)!} \right]^{-1}, \quad (21)$$

– среднее число комбайнов (m_2), обслуживаемых транспортом и ожидающих выгрузку растительной массы в транспортное средство:

$$m_2 = \frac{\sum_{k=0}^m \frac{km!\left(\frac{\rho}{s}\right)^k}{(m-k)!}}{\sum_{k=0}^m \frac{m!\left(\frac{\rho}{s}\right)^k}{(m-k)!}}. \quad (22)$$

Полученные выражения (21)–(22) позволяют спрогнозировать безотказное и, как следствие, безопасное транспортное обеспечение кормоуборки.

В качестве организационных мероприятий для устранения отказов технологической системы кормоуборки по причине «транспорт», кроме использования дополнительного транспорта для отвозки растительной массы, предлагаются устройство промежуточных накопителей (стационарных или передвижных), подготовка подъездных дорог, снижение простоев транспорта на гонах, выгрузка на ходу без остановки комбайна и др. Для исключения травмоопасной ситуации при загрузке и выгрузке растительной массы из транспортного средства рекомендуется техническое устройство, защищенное патентом на изобретение [2].

Заключение

Предложены теоретические зависимости, позволяющие прогнозировать эффективность функционирования транспортного обеспечения кормоуборки. Предложены организационно-технические мероприятия для снижения производственного травматизма при загрузке и выгрузке растительной массы из транспортного средства.

Литература

1. Пиуновский, И. И. Интенсивные технологии механизированной заготовки кормов из трав и силосных культур: монография / И. И. Пиуновский, В. Р. Петровец. – Горки: БГСХА, 2012. – 397 с.
2. Устройство для блокирования самосвальной платформы транспортного средства: пат. 31146 Республики Казахстан на изобретение, МПК (2006.01) В 60 Р 1/04 / С. О. Нукешев, Н. Н. Романюк, В. А. Агейчик, А. Л. Мисун, Л. В. Мисун, В. Н. Романюк; заявитель Казахск. агротехн. ун-т. – Заявл. 16.04.2015; опубл. 16.05.2016 // Промышленная собственность. Официальный бюллетень / Нац. институт интеллектуал. собственности М-ва юстиции Респ. Казахстан. – 2016. – Бюл. № 5.