

УДК 630.383

UDC 630.383

**ФОРМИРОВАНИЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ
ЗАПАСАМИ СРЕДСТВ РЕМОНТА
ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ****FORMATION MODEL OF INVENTORY REPAIR
MANAGEMENT FOR LOGGING ROADS**

Устинов Юрий Фёдорович
д.т.н., профессор

*Воронежский государственный архитектурно-
строительный университет, Воронеж, Россия*

Ustinov Yuri Fedorovich
Dr.Sci.Tech., professor

*Voronezh State Architecture and Civil Engineering,
Voronezh, Russia*

В статье описаны математическая модель и алгоритм процедуры поиска оптимального объема поставки материалов для ремонта. Представленные решения учитывают зависимость затрат на транспортировку средств ремонта от объема поставляемой партии и включают широкий спектр изменения стоимости единицы объема материалов, а также обеспечивают эффективное управление запасами при содержании и ремонте лесовозных автомобильных дорог

The article presents the mathematical model and algorithm searching for the optimum amount in rates of repair materials. These solutions account for the dependence of the transport costs of repair on the volume parties. They include a wide range of changes in the cost per unit volume of material. Solutions provide an effective inventory management in maintenance and repair of logging roads

Ключевые слова: ЛЕСОВОЗНАЯ
АВТОМОБИЛЬНАЯ ДОРОГА, РЕМОНТ ДОРОГ,
ОБЪЕМ ПОСТАВКИ, СРЕДСТВА РЕМОНТА

Keywords: LOGGING ROADS, CONSTRUCTION
OF ROADS, SUPPLY, REPAIR FACILITY

Эффективная работа лесовозной автомобильной дороги определяется необходимым уровнем технико-эксплуатационного состояния, обеспечивающего надежную и безопасную работу автомобильного транспорта, идеализацию его технических возможностей при оптимальных дорожных затратах. Для обеспечения круглогодичного, бесперебойного, безопасного и удобного движения по дорогам с заданными скоростями и нагрузками необходимо грамотное и эффективное проведение работ по их ремонту и содержанию.

Расходные средства ремонта – материалы и инструменты, применяемые при реализации ремонтных операций, должны быть постоянно в наличии в периоды выполнения работ с их применением, в противном случае будут не обоснованные простои оборудования и рабочей силы, которые снижают общий ресурс рабочего времени ремонтной системы. При планировании пополнения средств ремонта для обеспечения ресурсоэффективности системы необходимо установить оптимальные размеры пар-

тий поставок средств ремонта, которые достаточны для бесперебойного функционирования всей системы и при этом характеризуются минимумом затрат на управление приобретением и запасами средств ремонта для чего требуется разработать модель управления запасами средств ремонта (дорожно-строительные материалы), учитывающую особенности поставок, хранения и использования при ремонте участков лесовозных автомобильных дорог.

Для формирования модели примем Q_i – объем поставки средств ремонта i -го типа, который является управляемым параметром и определяет затраты Z_i на их приобретение, транспортировку и хранение. Указанные затраты Z_i равны

$$Z_i = z_i + z_{oi} + C_i, \quad (1)$$

где z_i – затраты на оформление заявки и транспортировку (доставку) средств ремонта i -го типа, руб;

z_{oi} – затраты на хранение средств ремонта i -го типа, руб;

C_i – стоимость приобретаемой партии средств ремонта i -го типа, руб.

Так как вид транспорта (транспортного средства), используемого для доставки партии, зависит от ее объема Q_i , то очевидно, что

$$z_i = f(Q_i). \quad (2)$$

Зависимость (2) имеет дискретный характер, так как переход от одного типа транспортного средства к другому осуществляется при строго определенных значениях Q_i .

Затраты на хранение средств ремонта z_{oi} рассчитываются по формуле

$$z_{oi} = \frac{s_i Q_i t_i}{2}, \quad (3)$$

где s_i – удельные затраты на хранение единицы объема средств ремонта i -го типа, руб/[(ед. объема) · (ед. времени)];

t_i – время между очередными поставками (период поставки), ед. времени.

$$C_i = c_i Q_i, \quad (4)$$

где c_i – стоимость единицы объема средств ремонта i -го типа, руб/(ед. объема).

Стоимость единицы объема c_i может уменьшаться с увеличением объема партии по причине предоставления скидок, а следовательно зависит от Q_i . Так как скидка предоставляется при объеме приобретения не менее определенного то зависимость $c_i = f(Q_i)$ является дискретной.

В любом случае обязательным является условие, что

$$Q_i > 0. \quad (5)$$

Тогда затраты определяются формулой

$$Z_i = z_i + \frac{s_i Q_i t_i}{2} + c_i Q_i. \quad (6)$$

Объем приобретаемой партии Q_i средств ремонта и период поставки t_i связаны между собой, причем с увеличением Q_i возрастает и t_i , тогда согласно зависимости (6) затраты Z_i на приобретение, транспортировку и хранение средств ремонта тоже будут возрастать, а поэтому по критерию Z_i не возможно найти оптимальное значение Q_i , так как функция (6) не имеет экстремума на отрезке $Q_i > 0$. Таким образом, в уравнении (6) надо исключить параметр t_i жестко связанный с объемом партии Q_i .

Отношение объема партии Q_i к периоду поставки t_i представляет собой среднюю интенсивность m_i потребления расходных средств ремонта i -го типа

$$m_i = \frac{Q_i}{t_i}. \quad (7)$$

Важно заметить, что интенсивность потребления m_i не зависит ни от объема партии поставки, ни от периода поставки, а является функцией по-

казателей технологического процесса ремонтных работ, а следовательно если обе части уравнения (6) разделить на t_i , то можно получить аналитическое выражение целевой функции, переменной величиной в которой является только объем партии Q_i , при этом используем следующую подстановку

$$\frac{z_i}{t_i} = \frac{z_i m_i}{Q_i}. \quad (8)$$

В результате критерием оптимизации объема партии является минимум отношения затрат на приобретение, транспортировку и хранение средств ремонта к периоду поставки – минимум затрат Z_i на управление запасами средств ремонта i -го типа в единицу времени

$$Z_i = \frac{z_i}{t_i} \rightarrow \min. \quad (9)$$

Рассмотрим зависимость (9) доставки средств ремонта автомобильным транспортом. Если объем партии превышает грузоподъемность и грузместимость используемого для перевозки автотранспортного средства, то возможны два варианта организации доставки:

1. Выполнение двух или более рейсов этим автотранспортным средством.
2. Привлечение для выполнения рейса автотранспортного средства, грузоподъемность и грузместимость которого позволяют разместить в нем весь объем партии средств ремонта.

При реализации первого варианта показатель z_i , устанавливаемый зависимостью (2), увеличивается в количество раз равное количеству рейсов, что приводит к увеличению затрат Z_i . Реализация второго варианта может быть более эффективна с экономической точки зрения, особенно когда отношение объема партии средств ремонта к объему, размещаемому в транспортном средстве, составляет некоторое дробное число с дробной частью до и чуть более 0,5.

Стоимость услуги грузового автотранспортного средства C_{AT} (руб) складывается из двух составляющих: оплата за пробег транспортного средства C_{Π} и оплата за часы использования транспортного средства $C_{\text{ч}}$, то есть $C_{AT} = C_{\Pi} + C_{\text{ч}}$.

$$C_{\Pi} = 2Lc_{y\partial}, \quad (10)$$

где L – расстояние доставки средств ремонта, км;

$c_{y\partial}$ – стоимость пробега 1 км грузового автотранспортного средства, руб/км.

$$C_{\text{ч}} = T_p c_{\text{ч}}, \quad (11)$$

где T_p – продолжительность рейса, включающая погрузку, разгрузку, ожидание погрузки и разгрузки, время в пути, оформление проездных документов, ч;

$c_{\text{ч}}$ – стоимость 1 ч использования грузового автотранспортного средства, руб/ч.

Стоимость услуги автотранспортного средства более высокой грузоподъемности и грузовместимости будет отличаться за счет увеличения показателей $c_{y\partial}$ и $c_{\text{ч}}$. Продолжительность рейса T_p также зависит от типа применяемого транспортного средства и, учитывая, что при большем объеме перевозки время на погрузку и разгрузку требуется больше, то T_p однозначно увеличивается. Возможно сокращение продолжительности рейса T_p за счет более высокой среднетехнической скорости движения, что обеспечивается высоким значением удельной мощности автомобиля, но данное условие соответствует еще более высоким значениям $c_{y\partial}$ и $c_{\text{ч}}$. Таким образом, увеличение объема поставляемой партии средств ремонта приводит к возрастанию затрат на транспортировку (доставку).

$$z_i = c_o + C_{AT}, \quad (12)$$

где c_o – затраты на оформление заявки, руб.

Для сравнения различных вариантов доставки средств ремонта удобно использовать ступенчатые графики (рис. 1). Для каждого типа транспортного средства (из имеющихся в наличии) строится зависимость $Z_i = f(Q_i)$ по формулам (10) – (11). В пределах $0 < Q_i < Q_{Pi}$ (Q_{Pi} – наибольший допустимый объем средств ремонта i -го типа, размещаемых в транспортном средстве по условиям допустимой грузоподъемности, грузовместимости и сохранности груза при транспортировке) зависимость имеет вид ступеньки, высота которой C_{AT} , а длина – Q_{Pi} . Количество ступенек – количество рейсов или транспортных средств одного типа (если они работают одновременно).

Рис. 1 позволяет установить наиболее эффективный вид транспортного средства для доставки средств ремонта в зависимости от объема партии. Зная объем партии можно от оси абсцисс отложить вверх перпендикуляр до пересечения с первой горизонтальной линией, ордината которой показывает затраты на оформление заявки и доставку партии.

Рис. 1 также наглядно демонстрирует зависимость дискретного характера $Z_i = f(Q_i)$, причем с увеличением Q_i возрастают затраты Z_i . Таким образом, существенное отличие предложенной модели управления запасами средств ремонта (1) – (9) от известных [1] является учет изменения транспортных затрат в зависимости от объема партии поставки средств ремонта.

Данная модель позволяет найти такие объемы партий поставки средств ремонта, которые обеспечивают минимальные затраты на управление запасами средств ремонта в единицу времени, а также выбор наиболее выгодных поставщиков, маршрутов поставки и вида транспорта, что в совокупности позволит обеспечить ресурсоэффективность на стадии принятия решений при планировании и содержании ремонта участков лесовозных автомобильных дорог.

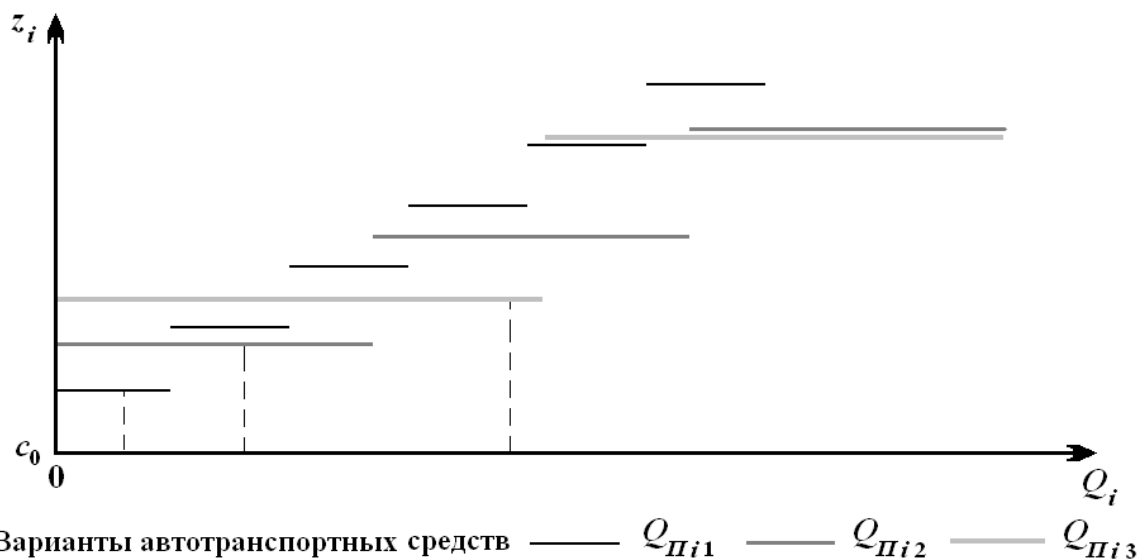


Рисунок 1 – График для выбора типа автотранспортного средства при поставках средств ремонта

Для реализации ремонтных операций необходимо иметь запасы требуемых средств ремонта, а также пополнять эти запасы по мере их потребления. Хранение и пополнение запасов средств ремонта требует расходов денежных средств, а поэтому запасы с одной стороны должны обеспечивать требуемый объем работ (исключение перебоев в работе по причине отсутствия необходимых ресурсов), а с другой стороны минимальные издержки на хранение и приобретение.

При разработке процедур принятия управленческих решений примем следующие допущения: интенсивность потребления ресурсов – величина известная и постоянная; время поставки является известной и постоянной величиной; ресурсы поставляются отдельными партиями; затраты на хранение запаса средств ремонта пропорциональны его размеру; отсутствие запасов недопустимо.

Если предусмотрено иметь запас I типов средств ремонта, то управление запасами осуществляется на основе определения следующих параметров:

а) размер запаса на складе q_i , при котором надо подавать заявку на доставку партии ресурса i -го типа

$$q_i = m_i t_i, \quad (13)$$

где m_i – интенсивность потребления запаса ресурса i -го типа;

t_i – время доставки партии ресурса i -го типа.

б) период поставки t_i – время между очередными поставками можно выразить

$$t_i = \frac{Q_i}{m_i}, \quad (14)$$

где Q_i – объем поставки средств ремонта i -го типа.

в) затраты Z_i на управление запасами средств ремонта i -го типа в единицу времени

$$Z_i = \frac{z_i m_i}{Q_i} + \frac{s_i Q_i}{2} + c_i m_i, \quad (15)$$

где z_i – затраты на оформление заявки и доставку партии ресурсов i -го типа;

s_i – удельные затраты на хранение единицы ресурса i -го типа;

c_i – стоимость единицы средств ремонта.

Оптимальный размер партии поставки ресурса i -го типа при условии, что c_i и z_i не зависят от Q_i определяется

$$Q_i = \sqrt{\frac{2z_i m_i}{s_i}}. \quad (16)$$

Суммарные затраты по предприятию на управление ресурсами средств ремонта составляют

$$Z = \sum_{i=1}^I z_i \rightarrow \min. \quad (17)$$

В реальных условиях стоимость единицы средств ремонта и затраты на оформление заявки и доставку партии ресурсов могут зависеть от объема поставки, а следовательно оптимальный объем поставки необходимо

определить одним из методов оптимизации. Надо учесть, что изменение c_i и z_i с изменением Q_i носит дискретный характер [2], то есть некоторым значениям $Q_i \in [Q_{ik}; Q_{i(k+1)}]$ соответствует значение z_{ik} и некоторым значениям $Q_i \in [Q'_{ij}; Q'_{i(j+1)}]$ соответствует значение c_{ij} , причем $k = \overline{1, K}$ и $j = \overline{1, J}$, где K – количество уровней изменения затрат на оформление заявки и доставку партии ресурсов i -го типа; J – количество уровней изменения стоимости единицы средств ремонта. Объективно и логично существуют зависимости

$$\begin{aligned} z_{i1} < z_{i2} < \mathbf{K} < z_{ik} < z_{i(k+1)} < \mathbf{K} < z_{iK}; \\ c_{i1} > c_{i2} > \mathbf{K} > c_{ij} > c_{i(j+1)} > \mathbf{K} > c_{iJ}; \\ Q_{i1} < Q_{i2} < \mathbf{K} < Q_{ik} < Q_{i(k+1)} < \mathbf{K} < Q_{iK}; \\ Q'_{i1} < Q'_{i2} < \mathbf{K} < Q'_{ij} < Q'_{i(j+1)} < \mathbf{K} < Q'_{iJ}; \\ Q_{i1} = Q'_{i1}. \end{aligned} \tag{18}$$

С учетом зависимости z_{ik} и c_{ij} от Q_i формула (15) преобразуется к виду

$$Z_i = \frac{z_{ik} m_i}{Q_i} + \frac{s_i Q_i}{2} + c_{ij} m_i, \tag{19}$$

Ограничения модели:

$$\begin{aligned} Q_i \leq Q_{imax}; Q_{i1} > 0; Q'_{i1} > 0; Q_i \geq Q_{i1}; Q_i \geq Q'_{i1}; \\ m_i > 0; t_i > 0; s_i > 0; z_{ik} > 0; c_{ij} > 0. \end{aligned} \tag{20}$$

Процедура принятия управленческого решения по выбору оптимального объема поставки средств ремонта реализуется следующим алгоритмом.

1. Ввод исходных данных: I, K, J .
2. Ввод значений: $m_1, m_2, \mathbf{K}, m_I; t_1, t_2, \mathbf{K}, t_I; s_1, s_2, \mathbf{K}, s_I; Q_1, Q_2, \mathbf{K}, Q_I;$

$$Q_{max}, Q_{2max}, \mathbf{K}, Q_{Imax}; DQ_1, DQ_2, \mathbf{K}, DQ_I; Z_{10}, Z_{20}, \mathbf{K}, Z_{I0}.$$

3. Ввод значений: $\begin{vmatrix} z_{11} z_{12} \mathbf{K} z_{1K} \\ z_{21} z_{22} \mathbf{K} z_{2K} \\ \mathbf{K} \mathbf{K} \mathbf{K} \mathbf{K} \mathbf{K} \\ z_{I1} z_{I2} \mathbf{K} z_{IK} \end{vmatrix}; \begin{vmatrix} Q_{11} Q_{12} \mathbf{K} Q_{1K} \\ Q_{21} Q_{22} \mathbf{K} Q_{2K} \\ \mathbf{K} \mathbf{K} \mathbf{K} \mathbf{K} \mathbf{K} \\ Q_{I1} Q_{I2} \mathbf{K} Q_{IK} \end{vmatrix};$

$$\begin{pmatrix} c_{11}c_{12} \mathbf{K} c_{1J} \\ c_{21}c_{22} \mathbf{K} c_{2J} \\ \mathbf{K} \mathbf{K} \mathbf{K} \mathbf{K} \\ c_{I1}c_{I2} \mathbf{K} c_{IJ} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} Q'_{11}Q'_{12} \mathbf{K} Q'_{1J} \\ Q'_{21}Q'_{22} \mathbf{K} Q'_{2J} \\ \mathbf{K} \mathbf{K} \mathbf{K} \mathbf{K} \mathbf{K} \\ Q'_{I1}Q'_{I2} \mathbf{K} Q'_{IJ} \end{pmatrix}.$$

4. $i = 1$.

5. $k = 1$.

6. Проверка условия $Q_i \geq Q_{ik}$? Да: $k = k + 1$, перейти к пункту 6.

Нет: $k = k - 1$, перейти к пункту 7.

7. $j = 1$.

8. Проверка условия $Q_i \geq Q'_{ij}$? Да: $j = j + 1$, перейти к пункту 8.

Нет: $j = j - 1$, перейти к пункту 9.

9. $Z_i = \frac{z_{ik} m_i}{Q_i} + \frac{s_i Q_i}{2} + c_{ij} m_i.$

10. Проверка условия $Z_i > Z_{i0}$? Да: $Z_{i0} = Z_i$, перейти к пункту 12.

Нет: $Z_{i0} = Z_i$, перейти к пункту 11.

11. $Q_i = Q_i; q_i = m_i t_i; t_i = \frac{Q_i}{m_i}; a = k; b = j.$

12. Проверка условия $Q_i \geq Q_{i \max}$? Да: перейти к пункту 13.

Нет: $Q_i = Q_i + DQ_i$, перейти к пункту

5.

13. Проверка условия $i = I$? Да: перейти к пункту 14.

Нет: $i = i + 1$, перейти к пункту 5.

14. $Z = \sum_{i=1}^I Z_{i0}.$

15. Вывод результатов: $a, b, Z, Z_{10}, \mathbf{K}, Z_{10}; Q_1, \mathbf{K}, Q_1; q_1, \mathbf{K}, q_1; t_1, \mathbf{K}, t_1.$

Представленный алгоритм позволяет в широком диапазоне значений объемов поставок средств ремонта найти оптимальный, позволяющий минимизировать суммарные денежные затраты на приобретение и хранение средств ремонта.

Вывод. Разработанные математическая модель и алгоритм процедуры поиска оптимального объема поставки материалов для ремонта учитывают зависимость затрат на транспортировку средств ремонта от объема поставляемой партии и включают широкий спектр изменения стоимости единицы объема материалов, а также обеспечивают эффективное управление запасами при содержании и ремонте лесовозных автомобильных дорог.

Список литературы:

1. СП 12 134-2001 Свод правил по проектированию и строительству. Механизация строительства. Расчёт расхода топлива на работу строительных и дорожных машин. – М.: Экономика, 2001. – 45 с.
2. Скрыпников, А.В. Оптимизация межремонтных сроков лесовозных автомобильных дорог [Текст] / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова // Фундаментальные исследования. 2011. – № 8-3. – С. 667-671.