

МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ СРОКА ЗАМЕНЫ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ НЕОПРЕДЕЛЕННОМ ПЕРИОДЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИМ ПРЕДПРИЯТИЯ

Т.В. Дынченкова

dtv17m093@student.bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

В современных условиях управление процессом замены оборудования на предприятии осуществляется лицом, принимающим решение, исходя из выделенных финансовых средств, а это решение напрямую зависит от компетентности данного лица. Представленная методика основана на моделировании процесса замены оборудования методом динамического программирования в обратном времени. При неопределенном периоде обеспечения оборудования она позволяет лицу, принимающему решение, определить срок (период) использования оборудования на предприятии до его замены, в течение которого по критерию минимума затрат на приобретение и эксплуатацию за весь срок (период) в виде их суммы годовых составляющих его замена на идентичное новое не требуется. В рыночных условиях стратегия замены оборудования на основе экономической оценки является наиболее предпочтительной с точки зрения достижения максимального эффекта в управлении процессом замены.

Ключевые слова

Срок замены, период использования оборудования, первоначальная стоимость, переменные эксплуатационные затраты, остаточная стоимость оборудования, динамика изменения состояния оборудования, метод динамического программирования в обратном времени, моделирование процесса замены оборудования, шаговая целевая функция затрат

Поступила в редакцию 17.03.2022

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022

Проблема определения экономически целесообразных сроков службы технических систем уже долгое время активно обсуждается как специалистами [1–6], занимающимися их эксплуатацией, так и экономистами. В современных (рыночных) условиях изменение существовавших ранее пропорций между затратами на приобретение и на эксплуатацию техники привело к предпочтительности задач оптимизации затрат на ее приобретение и эксплуатацию за весь период в виде суммы за годы, т. е. к аддитивности этого годового экономического показателя. Задача этого типа известна в литературе [7, 8] под названием «задача о замене» и решается методом динамического программирования (МДП). Построение оптимальной стратегии замены представлено как динамический процесс последовательного принятия решений: использовать ли старый образец техники в течение года или же заменить его новым. Критерий оптимальности здесь связан с минимумом суммарных затрат в процессе эксплуатации цепочки сменяющихся образцов техники за известный промежуток времени.

Однако разработанные на основе метода динамического программирования модели процесса замены техники [8–10] не позволяют использовать их в готовом виде для определения сроков замены. В частности, при моделировании процесса замены техники на основе метода динамического программирования в обратном времени в качестве исходных данных использовали заданный период T его эксплуатации. В течение этого периода решали задачу оптимизации по нахождению минимума затрат на его приобретение и эксплуатацию за весь период в виде суммы их годовых составляющих. При введении различных исходных данных в модель достаточно корректно отображался процесс замены техники, на выходе наблюдалась закономерность оптимального управления в виде повторяющихся циклов замены и эксплуатации техники возраста t или управления без замены техники.

Отметим, что применение модели для определения срока замены техники в определенной степени ограничено необходимостью оценки выбранного показателя T , который следует еще обосновать. Отсюда возникает задача обоснования периода использования образца T применительно к результатам моделирования по показателю t (сроку замены). Ее решение позволит определить рациональное значение параметра T , обеспечивающее минимум затрат на приобретение и эксплуатацию техники.

В качестве решения указанной задачи на основе метода динамического программирования в обратном времени предложена разработанная методика обоснования срока замены оборудования при неопределенном периоде обеспечения им предприятия. Критерием в определении срока замены оборудования выбрано условие определить срок (период) использования оборудования до его замены, в течение которого по критерию минимума затрат на приобретение и эксплуатацию за весь срок (период) в виде их суммы годовых составляющих его замена на идентичное новое не потребуется.

Методика содержит три этапа и представлена на рисунке:

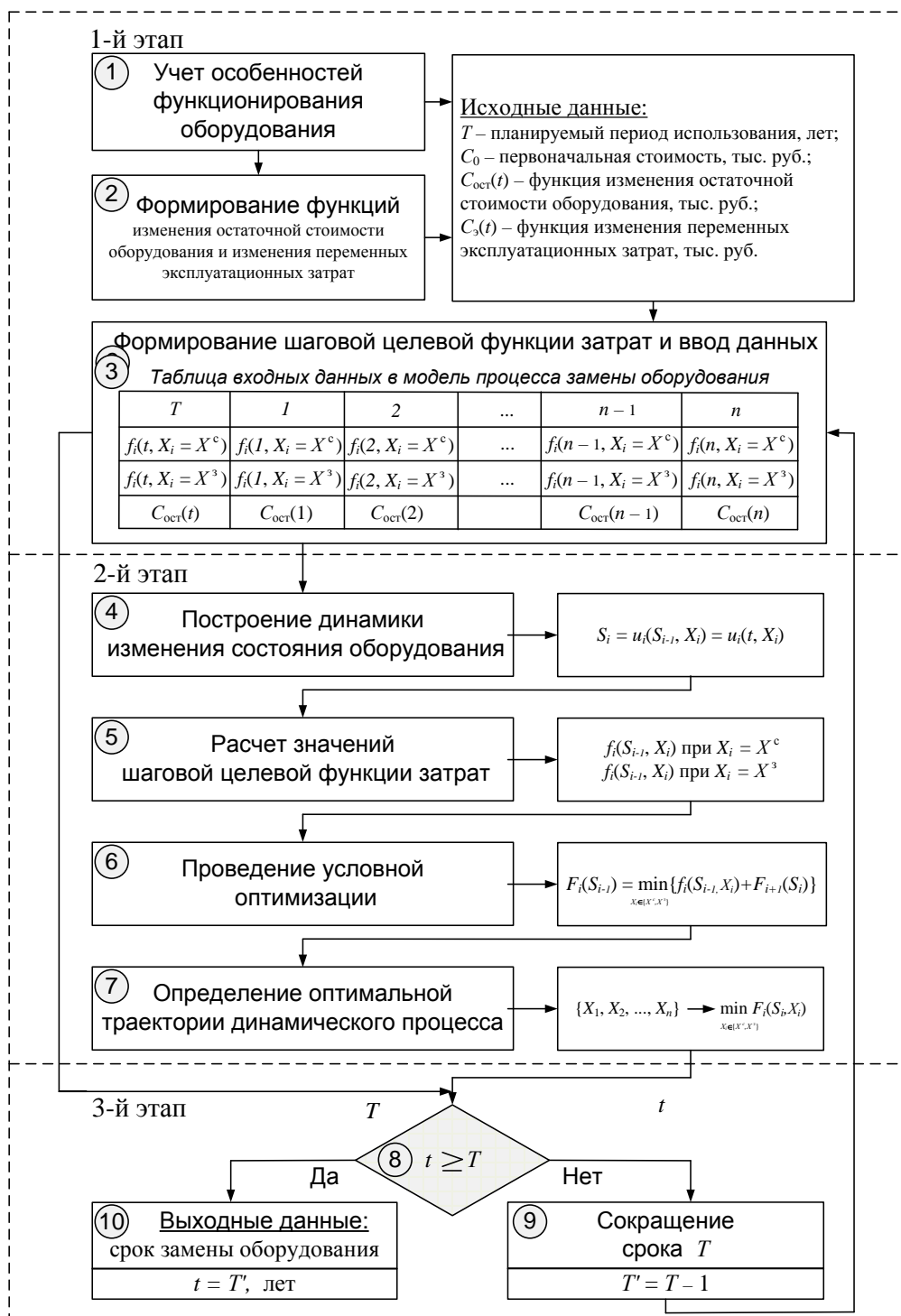
1-й этап (подготовительный) — характеризуется формированием исходных данных для основного этапа методики — этапа моделирования;

2-й этап (основной) — отображает моделирование процесса замены оборудования на основе метода динамического программирования в обратном времени;

3-й этап (заключительный) — определяет завершение работы методики, результатом которой является рассчитанный рациональный срок замены оборудования предприятия.

На первом этапе методики проводится подготовка исходных данных, осуществляется их обработка (формирование функций), построение входных данных в табличном виде и ввод их в модель процесса замены оборудования.

Выполнение данного этапа начинается (в блоке 1) с учета особенностей функционирования оборудования и заключается в сборе исходных данных в соответствии с принятой функцией шаговой целевой функции затрат.



Методика обоснования срока замены оборудования при неопределенном периоде обеспечения им предприятия

В блоке 2 формируются функция изменения остаточной стоимости оборудования и функция изменения переменных эксплуатационных затрат в течение планируемого периода T . При этом функции необязательно должны быть непрерывными и дифференцируемыми, они могут быть заданы и в табличном виде.

Изменение остаточной стоимости оборудования определяется с учетом возможной (рыночной) цены покупки ее потребителем путем статистической обработки данных по остаточной стоимости оборудования с различными сроками эксплуатации.

Функция изменения переменных эксплуатационных затрат характеризует степень надежности оборудования как объекта эксплуатации. При этом учитываются только те затраты, которые изменяются в зависимости от времени. Затраты же постоянные, например, на техническое обслуживание оборудования, из расчета исключаются, поскольку они имеют место при использовании как нового, так и старого оборудования, а поэтому не могут влиять на определение срока его замены. Переменными эксплуатационными затратами на поддержание надежности являются затраты на оплату труда ремонтного персонала, на запасные части и материалы и, наконец, на компенсацию простоев оборудования. Характеризуя поддержание надежности оборудования, переменные эксплуатационные затраты определяются с учетом параметра потока отказов или по статистическим данным.

В качестве исходных данных используют:

T — планируемый период использования оборудования (в годах), в течение которого предполагается его эксплуатация (а если это не оговорено, то T принимают согласно назначенному сроку эксплуатации оборудования);

C_0 — первоначальную стоимость оборудования, тыс. руб.;

$C_{ост}(t)$ — функцию изменения остаточной стоимости оборудования, тыс. руб.;

$C_3(t)$ — функцию изменения переменных эксплуатационных затрат оборудования, тыс. руб.;

Далее в блоке 3 осуществляется формирование шаговой целевой функции затрат $f_i(S_{i-1}, X_i)$ и построение таблицы входных данных для модели процесса замены оборудования.

Выходными данными первого этапа служат три показателя блока 3, представленные в табличном виде, которые используются в качестве входных для второго этапа — этапа моделирования процесса замены оборудования на основе МДП в обратном времени. Таблица входных данных (см. рисунок) содержит:

T — планируемый период использования оборудования ($T = 1, 2, \dots, n$);

$f_i(S_{i-1}, X_i) = f_i(t, X_i = X^c)$ — шаговую целевую функцию затрат на i -м шаге, соответствующую управлению $X_i = X^c$ (сохранение оборудования для дальнейшей эксплуатации);

$f_i(S_{i-1}, X_i) = f_i(t, X_i = X^3)$ — шаговую целевую функцию затрат на i -м шаге, соответствующую управлению $X_i = X^3$ (замена оборудования новым);

$C_{ост}(t)$ — изменение остаточной стоимости оборудования в зависимости от срока его эксплуатации.

В ходе второго этапа, в соответствии с принципом оптимальности Беллмана [6, 7], строят вычислительную схему математической модели (блоки 4–7) процесса замены оборудования на основе МДП в обратном времени и определяют срок его замены. Вводят переменные состояния, управления и связывающее их разностное рекуррентное уравнение состояний, а также показатель качества, характеризующий процесс управления заменой.

В блоке 4 геометрическим способом осуществляется построение всех возможных состояний оборудования $S_i = u_i(S_{i-1}, X_i) = u_i(t, X_i)$, в которых может пребывать оборудование с начала первого i -го года периода T (i -го шага по оси абсцисс) и возраста t (по оси ординат) до n -го шага включительно ($n = T$). В результате формируется размеченный граф возможных состояний оборудования на протяжении принятых T лет его использования.

Затем в блоке 5 по всем допустимым управлениям X_i ($X_i = X^3, X_i = X^c$) с начала первого i -го года до n -го шага (прекращения планируемого периода использования оборудования T включительно) рассчитываются значения шаговой целевой функции затрат $f_i(S_{i-1}, X_i) = f_i(t, X_i)$ на i -м шаге.

В блоке 6 расчет последовательности функции ведется исходя из принципа оптимальности Беллмана [6, 7] в соответствии с обратными рекуррентными уравнениями «с конца к началу», начиная с n -го до первого i -го шага (условная оптимизация). Использование этого принципа гарантирует, что управление, выбранное на любом шаге, является не локально лучшим, а лучшим с точки зрения процесса в целом от текущего шага принятия решения до последнего [6, 7]. Применительно к процессу замены оборудования на основе МДП в обратном времени таким образом достигается нахождение минимума затрат, формируются траектории оптимальных управлений (решений) X^c или X^3 на каждом i -м шаге в течение рассматриваемого периода T .

Далее в блоке 7 определяется оптимальная траектория динамического процесса. Это реализуется с помощью шагов «обратной прогонки», образующих цепочку шаговых управлений $X = \{X_1^*, X_2^*, X_3^*, \dots, X_n^*\}$. Шаги обратной прогонки выполняются последовательно по управлениям X_i от начала первого i -го шага до конца n -го шага по минимуму затрат $F_i^*(t)$ в состояниях S_i на i -м шаге. При перемещении с первого до конечного шага выделяются параметры управления X_i с решением X^c или X^3 на каждом i -м шаге. Управление на i -м шаге

$X_i = X^3$ соответственно означает, что оборудование по достижению t -летнего возраста на i -м шаге следует заменить новым.

В случае, если цепочка шаговых управлений X_1, X_2, \dots, X_n содержит только решения X^c , рассматриваемый период T является рациональным, а для рассчитанного срока t замены оборудования выполняется условие $t \geq T$. При повторяющихся циклах замены и эксплуатации оборудования необходимо выбрать такой период его использования T , в течение которого его замена не потребуется. Для этого на третьем этапе в блоке 8 проверяется выполнение условия $t \geq T$.

В случае невыполнения условия осуществляется переход в блок 9, где планируемый период T использования оборудования сокращается на один год с последующим переходом в блок 3. Действия на заключительной части первого этапа (ввод в модель данных, представленных в блоке 3 в табличном виде, которые содержат только данные для рассчитанного периода T), второго этапа (моделирования процесса замены оборудования), третьего этапа (проверка выполнения условия $t \geq T$ и сокращение периода использования оборудования T) повторяются циклически до тех пор, пока значения показателей t и T не станут удовлетворять условию $t \geq T$.

При выполнении условия $t \geq T$ осуществляется переход в блок 10, где выводится результат работы методики в виде рационального $t = T$ срока (периода) замены оборудования по критерию минимум затрат.

Таким образом, разработанная методика обоснования срока замены оборудования при не определенном периоде обеспечения им предприятия по критерию минимума затрат на приобретение и эксплуатацию за весь срок (период) в виде их суммы годовых составляющих позволяет определить рациональный срок (период) его использования до замены. По истечении данного периода использования (времени) оборудование заменяется более совершенным в техническом отношении.

Основными достоинствами разработанной методики по сравнению с известными подходами являются: простота и доступность используемых исходных данных; возможность использования математической модели, позволяющей применять различные целевые функции; наглядность, достаточная точность, относительно небольшая трудоемкость выполнения расчетов.

Разработанная методика, в отличие от традиционных подходов, позволяет лицам, принимающим решения о замене оборудования, руководствуясь соотношением минимума затрат на приобретение и эксплуатацию оборудования, оценить целесообразность закупки и замены оборудования на предприятии. Практическое применение методики позволит подготовить научно обоснованные рекомендации по срокам замены оборудования на предприятиях.

Литература

- [1] Ковалев А.П., Кочалос Н.К., Колобов А.А. Экономическая эффективность новой техники. М., Машиностроение, 1978.
- [2] Кравчук П.В. Методы экономической оценки технологий и изделий двойного применения в системе внебюджетного финансирования оборонных программ. Дисс. ... канд. экон. наук. М., Финансовая академия, 1995.
- [3] Комплексная методика оценки эффективности мероприятий, направленных на ускорение научно-технического прогресса. Методические рекомендации и комментарии по их применению. М., Машиностроение, 1989.
- [4] Коллегаев Р.Н. Определение оптимальной долговечности технических систем. М., Советское радио, 1967.
- [5] Ефимов К.А., Львов Д.С. Эффективность новой техники. М., Экономика, 1979.
- [6] Логунова Н.Ю. Информационная система «Обновление и замена технологического оборудования хлебозавода». Автореф. дисс. ... канд. тех. наук. М., МГУПП, 2007.
- [7] Беллман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования. М., Наука, 1965.
- [8] Корнеев В.П. Методы оптимизации. М., Высшая школа, 2007.
- [9] Гальперин А.С., Сушкевич М.И. Определение оптимальной долговечности машин. М., Колос, 1970.
- [10] Соловьева М.Х. Методы эффективного управления процессом замены оборудования предприятия. Дисс. ... канд. тех. наук. М., РАГС при Президенте РФ, 2008.

Дынченкова Татьяна Вячеславовна — студентка кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Дынченков Вячеслав Сергеевич, старший преподаватель 6 кафедры «Материально-технического обеспечения войск ПВО Сухопутных войск», Военная академия войсковой противовоздушной обороны ВС РФ имени маршала советского союза А.М. Василевского, Смоленск, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Дынченкова Т.В. Методика обоснования срока замены оборудования при неопределенном периоде обеспечения им предприятия *Политехнический молодежный журнал*, 2022, № 04(69). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2022-04-787>

**JUSTIFICATION METHOD OF THE EQUIPMENT REPLACEMENT TERM
WHEN THE PERIOD OF EQUIPMENT AVAILABILITY AT THE ENTERPRISE
IS UNCERTAIN**

T.V. Dynchenkova

dtv17m093@student.bmstu.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

In modern conditions the management of the equipment replacement process at the enterprise is carried out by the decision maker, based on the allocated financial resources, and this decision directly depends on the competence of this individual. The presented methodology is based on modeling the process of equipment replacement by the method of dynamic programming in reverse time. With an uncertain period of equipment provision, it allows the decision maker to determine the period of equipment use at the enterprise before its replacement, during which, by the criterion of minimum purchase and operation costs for the whole period as their sum of annual components, its replacement with an identical new one will not be required. In market conditions the strategy of equipment replacement on the basis of economic evaluation is the most preferable in terms of achieving the maximum effect in the management of the replacement process.

Keywords

Replacement period, period of equipment use, initial cost, variable operating costs, residual cost of equipment, dynamics of changes in equipment state, dynamic programming method in reverse time, modeling of equipment replacement process, stepwise target cost function

Received 17.03.2022

© Bauman Moscow State Technical University, 2022

References

- [1] Kovalev A.P., Kochalos N.K., Kolobov A.A. Ekonomicheskaya effektivnost' novoy tekhniki [Cost-effectiveness of new technique]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1978 (in Russ.).
- [2] Kravchuk P.V. Metody ekonomicheskoy otsenki tekhnologiy i izdeliy dvoynogo primeneniya v sisteme vnebyudzhetnogo finansirovaniya oboronnykh programm. Diss. kand. ekon. nauk [Methods for economic assessment of dual application technologies and products in a system of non-budgetary financing of defense programs. Kand. econ. Sci. diss.]. Moscow, Finansovaya akademiya Publ., 1995 (in Russ.).
- [3] Kompleksnaya metodika otsenki effektivnosti meropriyatiy, napravlennykh na uskorenie nauchno-tekhnicheskogo progressa. Metodicheskie rekomendatsii i kommentarii po ikh primeneniyu [Complex method for assessing efficiency of enterprises aimed for scientific-technological progress escalation. Methodological recommendations and comments on application]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1989 (in Russ.).
- [4] Kolegaev R.N. Opredelenie optimal'noy dolgovechnosti tekhnicheskikh sistem [Defining optimal longevity of technical systems]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1967 (in Russ.).
- [5] Efimov K.A., L'vov D.S. Effektivnost' novoy tekhniki [Efficiency of new technique]. Moscow, Ekonomika Publ., 1979 (in Russ.).

- [6] Logunova N.Yu. Informatsionnaya sistema “Obnovlenie i zamenya tekhnologicheskogo oborudovaniya khlebozavoda. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Information system “updating and replacement of the process equipment of the bakery”. Abs. kand. tech. sci. diss.]. Moscow, MGUPP Publ., 2007 (in Russ.).
- [7] Bellman R.E., Dreyfus S.E. Applied dynamic programming. Princeton, 1962. (Prikladnye zadachi dinamicheskogo programmirovaniya. Moscow, Nauka Publ., 1965.)
- [8] Korneenko V.P. Metody optimizatsii [Optimization methods]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2007 (in Russ.).
- [9] Gal'perin A.S., Sushkevich M.I. Opredelenie optimal'noy dolgovechnosti mashin [Defining optimum life of machines]. Moscow, Kolos Publ., 1970 (in Russ.).
- [10] Solov'yeva M.Kh. Metody effektivnogo upravleniya protsessom zameny oborudovaniya predpriyatiya. Diss. kand. tekhn. nauk [Effective control methods for equipment replacement process of an enterprise. Kand. tech, sci. diss.]. Moscow, RAGS pri Prezidente RF Publ., 2008 (in Russ.).

Dynchenkova T.V. — Student, Department of Rocket and Space Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Dynchenkov V.S., Senior Lecturer, Department of Material and Technical Support, Military Academy of the Air Defense Forces named after Marshal of the Soviet Union A.M. Vasilevsky, Smolensk, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Dynchenkova T.V. Justification method of the equipment replacement term when the period of equipment availability at the enterprise is uncertain. *Politekhnicheskii molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2022, no. 04(69).
<http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2022-04-787.html> (in Russ.).