

Аспекты автоматизации принятия решений на предприятиях лесного хозяйства

А. П. Соколов¹

Петрозаводский государственный университет

Методами множественного линейного регрессионного анализа построена математическая модель процесса принятия решений при управлении машино-тракторным парком предприятий государственного комитета республики Карелия по лесу. Модель связывает ряд факторов, влияющих на эксплуатацию машин и оборудования, с основными технико-экономическими показателями состояния парка машин и его использования. Приведены оценочные характеристики модели и ее составляющих. Обозначены пути использования построенной модели при создании автоматизированной системы принятия решений в рамках АРМ инженера лесного хозяйства.

Ключевые слова: автоматизация принятия решений, оптимизация, регрессионный анализ, управление лесным хозяйством, лесные машины.

ВВЕДЕНИЕ

Процесс управления на любом предприятии - это последовательность принимаемых решений, которые должны обеспечить своевременную и адекватную реакцию на изменяющиеся внутреннюю ситуацию и внешние условия, с целью обеспечения возможно более оптимального его функционирования. Это предъявляет высокие требования к профессионализму и опыту специалистов (менеджеров), т. к. в большинстве случаев выбор единственно правильного решения чрезвычайно затруднен ввиду слишком большого числа влияющих факторов и быстрого изменения внешних условий, и даже самые опытные специалисты в такой ситуации не всегда в состоянии принять наиболее оптимальное решение. В связи с этим все более отчетливой становится необходимость создания автоматических систем управления, которые могли бы помочь специалистам принимать наиболее эффективные решения и обеспечить гибкое и качественное управление предприятием, а также его отдельными подразделениями.

КОНЦЕПЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

В данной статье описывается подход к созданию автоматизированной системы принятия решений для управления машино-тракторным парком предприятий лесного хозяйства на примере Государственного комитета Республики Карелия по лесу (Госкомлес).

Предприятия Государственного комитета Республики Карелия по лесу (лесхозы) ведут работы по охране и защите леса, организации лесопользования и контролю над ним, лесовосстановлению, учету лесного фонда и другие. При этом используются несколько десятков видов машин и оборудования более ста марок. Количество и марочный состав машин и оборудования, находящегося на балансе каждого предприятия, зависят от конкретных условий, видов и объемов работ.

Решения о приобретении техники, выделении средств на техническое обслуживание, ремонт, организацию базы для этих целей принимаются централизованно непосредственно в Госкомлесе, исходя из наличия свободных средств и на основе отчетности каждого лесхоза о проведенной работе, наличии и техническом состоянии машин и оборудования, а также на основе запросов по приобретению техники, направляемых лесхозами в Госкомлес. Таким образом, от сотрудников Госкомлеса зависит, какая будет приобретена техника, каких конкретно марок, в каком количестве и как она будет распределена между лесхозами. От того, насколько верными будут эти решения, зависит эффективность работы каждого предприятия, то есть качество охраны лесов и ухода за ними.

Автоматизировав процесс принятия этих решений с полным учетом влияющих факторов, можно было бы существенно повысить эффективность работы предприятий за счет более оптимального использования имеющегося парка машин и его комплектации в каждом лесхозе на основе объективной потребности.

Задача заключается в оптимизации эффективности использования машин и оборудования и затрат на их эксплуатацию. Для ее реализации прежде всего необходимо построить математическую модель управления машино-тракторным парком, то есть определить влияние разнообразных параметров и характеристик машино-тракторного парка и его использования на некоторую величину, выбранную в качестве характеристического критерия оптимизации. Для решения этой задачи применяются методы множественного линейного регрессионного анализа.

В качестве характеристического критерия создаваемой модели предлагается использовать эксплуатационные затраты на один машино-день в работе, которые должны быть минимизированы. Это соответствует ситуации наиболее полного и экономически эффективного использования имеющихся в наличии машин и механизмов.

Список независимых параметров (факторов), которые оказывают влияние на характеристический критерий, в нашем случае выглядит следующим образом:

- экономические показатели эксплуатации техники: коэффициент технической готовности и коэффициент использования исправных машин;
- показатели укомплектованности: количество техники на единицу площади леса, обслуживаемой

¹ Автор - аспирант кафедры тяговых машин

мого предприятием, средний срок с начала эксплуатации;

- показатели наличия базы для обслуживания и ремонта техники: обеспеченность автомобилей гаражными местами, наличие ремонтно-механических мастерских (РММ), наличие металлообрабатывающего и кузнечно-прессового оборудования;
- показатель, описывающий природно-климатические условия эксплуатации, климатическая зона.

Характеристический критерий, как и большинство показателей, является относительной величиной. Это связано с необходимостью исключения влияния размеров предприятий, площади лесов, обслуживаемых каждым предприятием, и общего количества машин и оборудования, находящихся на его балансе, а также с упрощением в дальнейшем применения построенной модели. Здесь надо сказать, что парки машин разных лесхозов в основном укомплектованы машинами и оборудованием одних и тех же марок, отличие же заключается в количестве машин каждой марки и соотношении, в котором находятся различные типы машин и оборудования в каждом лесхозе. Поэтому становится возможным применение относительных показателей укомплектованности. Кроме того, это позволяет существенно сократить разброс значений показателей в выборке и упростить расчеты.

В качестве исходных данных для построения модели были использованы данные о наличии и эксплуатации машин и оборудования в каждом лесхозе, содержащиеся в их ежегодных отчетах. Для того чтобы обеспечить достаточный объем статистической информации, применялись данные отчетов за 3 года (1995 - 1997), соответствующим образом обработанные и приведенные в соответствие друг с другом. В результате объем выборки составил 67. Затем на их основе был произведен расчет регрессионных моделей процесса управления. Для этого использовался пакет программ прикладной статистики "Statgraphics Plus" компании Statistical Graphics Corp. версии 2.1. под Windows [1].

ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Перед началом работы по построению регрессионных моделей необходимо определить, какие конкретно уравнения потребуются в дальнейшем при решении оптимизационной задачи. Как уже было сказано, целевую функцию будет представлять выражение для удельных эксплуатационных затрат, однако одно оно не может полностью описать весь процесс принятия решений в данной задаче, т. к. результат оптимизации лишь одной этой функции нетрудно предугадать: минимальные, а в данном случае нулевые эксплуатационные, затраты будут достигнуты в случае, когда предприятие обладает нулевым количеством машин и оборудования и таким же количеством мощностей для его обслуживания и ремонта. Поэтому полная модель процесса принятия решений должна состоять

как минимум из нескольких взаимосвязанных уравнений и неравенств, одно из которых является целевой функцией, а другие - ограничениями, наложенными на нее [2, 3]. В качестве ограничений выступают условия нормальной бесперебойной работы предприятия, определяющие минимальное количество машин, оборудования и мощностей для их обслуживания и ремонта, при котором предприятие может стабильно выполнять свои основные функции. В нашем случае полная модель будет иметь следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} y = W(x_1, x_2, \dots, x_{15}) \rightarrow \min \\ x_1 = f_1(x_3, x_4, \dots, x_{15}) \geq q_1 \\ x_2 = f_2(x_3, x_4, \dots, x_{15}) \geq q_2 \\ q_3 \leq x_3 \leq 1 \\ q_4 \leq x_4 \leq 1 \\ x_7 \geq q_7 \\ x_5, x_6, x_8, x_9, \dots, x_{14} \geq 0 \\ x_{12} \leq 1 \\ 1 \leq x_{15} \leq 3 \end{array} \right. \quad (1)$$

где y - удельные суммарные эксплуатационные затраты, тыс.руб./маш.-дн.;

x_1 - коэффициент технической готовности автомобилей;

x_2 - коэффициент технической готовности тракторов;

x_3 - коэффициент использования исправных автомобилей;

x_4 - коэффициент использования исправных тракторов;

x_5 - количество грузовых автомобилей на единицу покрытой лесом площади, ед./тыс.га;

x_6 - количество легковых автомобилей на единицу покрытой лесом площади, ед./тыс.га;

x_7 - количество тракторов на единицу покрытой лесом площади, ед./тыс.га;

x_8 - количество специальных лесных машин и оборудования на единицу покрытой лесом площади лесхоза, ед./тыс.га;

x_9 - средний срок с начала эксплуатации автомобилей, лет;

x_{10} - средний срок с начала эксплуатации тракторов, лет;

x_{11} - обеспеченность автомобилей гаражными местами;

x_{12} - наличие РММ;

x_{13} - количество металлорежущих станков на единицу машино-тракторного парка;

x_{14} - количество кузнечно-прессового оборудования на единицу машино-тракторного парка;

x_{15} - климатическая зона;

q_1, \dots, q_4 - допустимые значения параметров x_1, \dots, x_4 , устанавливаемые заранее;

q_7 - допустимое значение параметра x_7 , устанавливаемое исходя из нормативных данных, описываю-

щих сроки выполнения и производительность сезонных работ по подготовке почв к посадке леса.

Как видно из выражения (1), только два ограничения представляют собой функции, остальные же заданы в явном виде. Таким образом, с помощью регрессионного анализа необходимо определить целевую функцию и выражения для коэффициентов технической готовности автомобилей и тракторов.

ПОСТРОЕНИЕ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Любая регрессионная модель должна как минимум отвечать следующим трем требованиям [4, 6]:

1. Модель должна как можно более полно описывать объективные закономерности, имеющие место в моделируемой системе.
2. Модель должна быть правдоподобной с точки зрения состава переменных, включенных в нее, т. е. модель должна включать в себя только те переменные, которые объективно могут оказывать влияние на соответствующий отклик.
3. Модель должна быть по возможности более простой и наглядной.

В настоящее время существует довольно большое число разнообразных методов для выбора "наилучшего" уравнения регрессии [5]. При решении данной задачи были использованы два из них. На начальном этапе работы применялся метод всех возможных регрессий, который является самым простым для исполнителя, но одновременно требует намного большей вычислительной мощности, чем любой из других методов. Метод заключается в построении всех возможных регрессионных уравнений путем последовательного включения переменных в модель и их исключения из него. Так, если k - число независимых переменных, которые могут войти в модель, то за один цикл работы по алгоритму метода всех возможных регрессий будет рассчитано 2^k моделей. Каждая из этих моделей оценивается по ряду критериев. Пакет программ "Statgraphics Plus" позволяет оценивать модели по остаточному среднему квадрату (MSE) s^2 , множественному коэффициенту корреляции R^2 , скорректированному множественному коэффициенту корреляции R_a^2 и C_p -критерию Маллоуза. Принимая во внимание, что в данной задаче даже самый минимальный набор параметров, предназначенный для обработки, включает 15 переменных (1), а это 32 768 вариантов, использование критерия Маллоуза оказалось не совсем удобным, т. к. это предполагает анализ графиков, содержащих количество точек равное количеству вариантов модели. Поэтому для оценки модели было решено использовать множественный и скорректированный множественный коэффициенты корреляции.

Метод всех возможных регрессий применялся только при построении выражения для удельных суммарных эксплуатационных затрат. Первым шагом был анализ вариантов линейной регрессионной модели вида:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i, \quad (2)$$

где $b_0, b_1, \dots, b_i, \dots, b_k$ - регрессионные коэффициенты. В результате, лучшая по R_a^2 модель содержала 7 переменных и объясняла 47,5392% вариаций относительно среднего. Полная линейная модель объясняла 48,9908% вариаций. Этого явно недостаточно: такая модель не может обеспечить необходимой точности при работе и быть применена на практике.

Для того чтобы обеспечить условие точности, были рассмотрены множественные линейные по b_i регрессионные модели канонического вида

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i f_i(x_j), j=1,2,3, \dots, 15 \quad (3)$$

и модели с исключением свободного члена b_0

$$y = \sum_{i=1}^k b_i f_i(x_j), j=1,2,3, \dots, 15, \quad (4)$$

$f_i(x_j)$ представляют собой новые переменные, полученные путем функциональных преобразований пятнадцати базовых факторов. При этом были рассмотрены два варианта, в первом из которых регрессионная модель представлялась в виде полинома четвертого порядка, т. е. применялись следующие функции: x, x^2, x^3 и x^4 , во втором случае использовался набор из функций: $x, x^2, \frac{1}{x}, e^x$ и $\ln x$. В общей сложности рассматривалось 88 переменных вида $f_i(x_j)$.

Как оказалось в процессе работы, алгоритм метода всех возможных регрессий, реализованный в пакете "Statgraphics Plus", может одновременно работать только с 18 переменными. Поэтому подбор модели необходимо было осуществлять, последовательно включая и исключая переменные из модели, пытаясь достичь лучших значений оценочных критериев. Учитывая то, что просчет всех возможных регрессий из 18 переменных занимает на компьютере с процессором Pentium - 133 и 16Mb оперативной памяти около 20 минут, продолжение использования этого метода становилось слишком трудоемким.

Поэтому в дальнейшем для определения наилучшей модели применялся метод исключения, который является более экономичным по затратам машинного времени и труда и заключается в последовательном исключении из модели, содержащей все переменные, тех факторов, значимость коэффициентов которых, т. е. оценка вероятности их вхождения в модель, наименьшая по сравнению с другими факторами. Причем после каждого исключения производится пересчет модели и заново определяются значимости коэффи-

циентов оставшихся переменных и общие оценочные критерии модели.

Таким образом, были получены все регрессионные зависимости, необходимые для построения модели процесса принятия решений при управлении машино-тракторным парком предприятий Госкомлеса в четырех вариантах:

- в виде полиномов четвертого порядка канонического вида (3);
- в виде полиномов четвертого порядка с исключением свободного члена (4);
- в виде сложных функций канонического вида, включающих слагаемые $x, x^2, \frac{1}{x}, e^x$ и $\ln x$;
- в виде сложных функций с исключением свободного члена.

Применение полиномов является более предпочтительным ввиду большей простоты получающихся выражений и, следовательно, более легкой работы с моделью в дальнейшем [7]. Применение же сложных функций может быть оправдано, если полученные с их помощью модели имеют существенно лучшие значения оценочных критериев или содержат гораздо меньшее количество слагаемых вида $f_i(x_j)$, т. е. являются более простыми, несмотря на содержащиеся в них нелинейные функции $\frac{1}{x}, e^x$ и $\ln x$.

На основании анализа оценочных характеристик полученных моделей для использования в математической модели процесса принятия решений при управлении машино-тракторным парком предприятий Госкомлеса для всех случаев были приняты линейные по b_i регрессионные модели с исключением свободного члена, содержащие функции $x, x^2, \frac{1}{x}, e^x$ и $\ln x$.

Выражение для целевой функции содержит 10 переменных, объясняет 95,5369% вариаций относительно среднего и имеет следующий вид:

$$y = \frac{2,40613}{x_1} - 2,56008 \ln x_1 - 0,602835 x_2 - 1,39524 x_3 - \frac{0,0104572}{x_3} + 0,672285 e^{x_3} + 1,82873 x_4 - 1,5343 e^{x_4} - 20,7806 x_7 + 19,8841 e^{x_7} + \frac{0,152035}{x_8} + 12,4557 x_8^2 + 2,278 \ln x_8 - 10,0293 e^{x_8} + 0,789597 x_{10} - \frac{1,74078}{x_{10}} - 0,0414046 x_{10}^2 - 2,19039 \ln x_{10} - 0,0502842 x_{12} + 2,91476 x_{13} - 10,6341 x_{13}^2 - 5,69893 x_{14} + 66,9378 x_{14}^2. \quad (5)$$

Скорректированный множественный коэффициент корреляции этой модели составляет 93,3054%, наименьшую значимость коэффициента (90,1%) имеет слагаемое $\ln x_1$. Критерий Дарбина - Уотсона модели равен 2,80745. Критерий Дарбина - Уотсона позволяет проконтролировать, существует ли автокорреляция в остатках модели. Если значение критерия Дарбина-

Уотсона больше 1,4, то делается вывод о том, что в остатках нет серьезной автокорреляции.

Выражение для коэффициента технической готовности тракторов содержит 7 переменных, объясняет 99,8976% вариаций относительно среднего и имеет следующий вид:

$$x_2 = 0,111051 x_4 + 1,43207 e^{x_5} + 7,23651 x_7^2 - 1,57105 e^{x_7} - 0,126634 x_8^2 - 0,0797746 x_{12} - 4,25921 x_{13}^2 + 1,1377 e^{x_{13}} - 0,848789 x_{14}. \quad (6)$$

Скорректированный множественный коэффициент корреляции этой модели составляет 99,8835%, наименьшую значимость коэффициента 96,01% имеет слагаемое x_{14} . Критерий Дарбина - Уотсона модели равен 1,62354.

Выражение для коэффициента технической готовности автомобилей содержит 5 переменных, объясняет 99,7618% вариаций относительно среднего и имеет следующий вид:

$$x_1 = 0,949322 x_3^2 - 0,0834163 \ln x_3 + 0,712605 e^{x_3} + 10,3079 x_5^2 - \frac{0,000352698}{x_6} - 1,20037 x_7 - 11,5665 x_{14}^2. \quad (7)$$

Скорректированный множественный коэффициент корреляции этой модели составляет 99,738%, наименьшую значимость коэффициента 99,87% имеет слагаемое $\frac{1}{x_6}$. Критерий Дарбина - Уотсона модели равен 2,07663.

Анализируя выражения (5), (6) и (7), можно заметить, что ни в одно из них не вошли переменные x_9, x_{11} и x_{15} , выражающие средний срок с начала эксплуатации автомобилей, обеспеченность автомобилей гаражными местами и климатическую зону, в которой расположено каждое предприятие, поэтому можно сделать вывод, что влияние этих факторов на процесс эксплуатации машин и оборудования на предприятиях Госкомлеса Республики Карелия за время наблюдений являлось мало ощутимым. Более четкое представление о роли данных факторов можно будет получить, проведя дополнительные исследования и проверки, в частности проанализировав новые данные, полученные за 1998 год.

На текущем же этапе можно считать, что полученная в результате проведенной работы модель процесса управления в целом пригодна для применения при создании системы автоматизированного принятия решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тюрин Ю. Н., Макаров А. А. Анализ данных на компьютере/ Под ред. В. Э. Фигурнова. М.: ИНФРА-М; Финансы и статистика, 1995. 384 с.

2. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике: В 2 кн.: Пер. с англ. Кн. 1. М.: Мир, 1986. 350 с.
3. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике: В 2 кн.: Пер. с англ. Кн. 2. М.: Мир, 1986. 320 с.
4. Драйпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ: В 2 кн.: Пер. с англ. 2-е изд., перераб. и доп. Кн. 1. М.: Финансы и статистика, 1987. 350 с.
5. Драйпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ: В 2 кн.: Пер. с англ. 2-е изд., перераб. и доп. Кн. 2. М.: Финансы и статистика, 1987. 351 с.
6. Вучков И. И. др. Прикладной линейный регрессионный анализ / И. Вучков, Л. Бояджијева, Е. Солаков; Пер. с болг. и предисл. Ю. П. Адлера. М.: Финансы и статистика, 1987. 239 с.
7. Оптимизационные задачи и модели прикладной математики: Межвузовский сборник. Петрозаводск, 1989. 96 с.