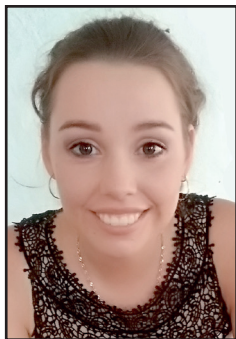


Принятие решения по выбору варианта трассы железнодорожной линии



Валентина КАЗАРИНА



Вячеслав ПОДВЕРБНЫЙ

Казарина Валентина Вениаминовна – Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия.

Подвербный Вячеслав Анатольевич – Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия.*

В данной статье предложено решение задачи выбора варианта трассы строительства железнодорожной линии из двух предварительно разработанных вариантов. В качестве исходных данных были использованы материалы проектирования железнодорожной линии Элегест–Кызыл–Курагино.

На данном участке рассмотрено два варианта трассы, которые необходимо сравнить с целью выбора лучшего. Первый вариант трассы (Восточный) проходит в выемке за пределами посёлка Подгорный, что исключает затраты на снос жилых строений и переселение жителей, но предусматривает большой объём земляных работ. Во втором вари-

анте (Западном) трасса проложена через посёлок Подгорный. При данном развитии трассы объёмы земляных работ значительно меньше, но необходимо учитывать снос жилых строений, переселение жителей, а также устанавливать шумозащитные экраны.

Рассмотрен и проанализирован вывод, который сделали проектировщики ЗАО «Востсибтранспроект». В ходе исследования применённый метод принятия решения потребовал некоторой доработки в отношении данной задачи и дополнительного анализа. Для выбора оптимального варианта был использован метод анализа иерархии.

Ключевые слова: железные дороги, принятие решений, проектирование железных дорог, метод анализа иерархии.

*Информация об авторах:

Казарина Валентина Вениаминовна – аспирант кафедры строительства железных дорог, мостов и тоннелей Иркутского государственного университета путей сообщения (ИрГУПС), Иркутск, Россия, vvkaz92@mail.ru.

Подвербный Вячеслав Анатольевич – профессор кафедры строительства железных дорог, мостов и тоннелей Иркутского государственного университета путей сообщения (ИрГУПС), Иркутск, Россия, vpodverbnyi@irgups.ru.

Статья поступила в редакцию 11.03.2019, принята к публикации 28.06.2019.

For the English text of the article please see p. 146.

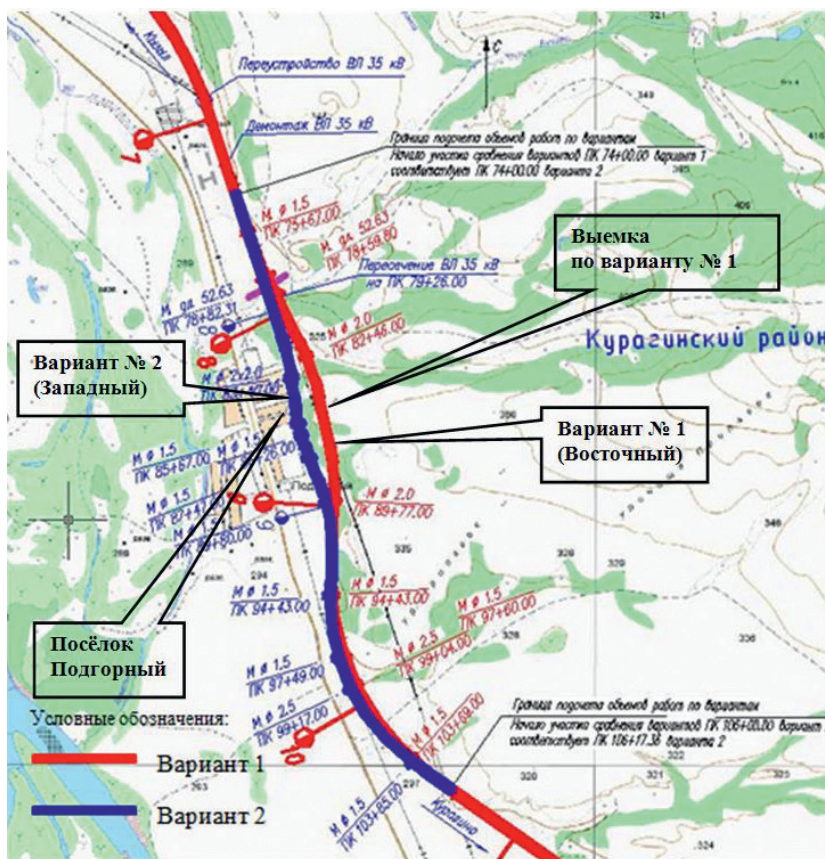


Рис. 1. Схема вариантов на участке км 8–км 11. Вариант № 1 (Восточный) – трасса проложена в обход посёлка Подгорный – на рисунке 1 обозначен более светлым (красным) цветом. Вариант № 2 (Западный) – трасса проложена через посёлок Подгорный – обозначен более тёмным (синим) цветом.

Процесс принятия решений при проектировании железных дорог довольно сложный, требующий не только всестороннего изучения вопроса, но и комплексного взгляда на всю систему в целом [1, с. 5].

Значительную роль, помимо технических показателей, также играют экономические факторы, например, стоимость строительства. В соответствии с требованиями формируется множество решений, среди которых необходимо выбрать лучшее [2, с. 209].

Конечно, в процессе проектирования некоторые варианты могут отсеяться, но даже из оставшегося, сокращённого множества вариантов лицу, принимающему решение (ЛПР), необходимо сравнить и выбрать лучший вариант [3, с. 56].

Целью представленного в статье исследования являлась разработка метода принятия решений при выборе трассы железнодорожной линии на основе при-

менения для формализации предпочтений ЛПР метода аналитической иерархии Т. Л. Саати.

Исследование проводилось применительно к участку проектируемой железнодорожной линии Элегест–Кызыл–Курагино. Данные для статьи предоставлены ЗАО ВСТП [4, с. 37]. В нашей статье под ЛПР подразумевается не один человек, а группа лиц (проектировщики ЗАО «Востсибтранспроект», авторы статьи).

Использовались методы теории принятия решений, методы решения многокритериальной детерминированной задачи выбора, аналитической иерархии Т. Л. Саати, экономического и технического анализа [5, с. 81; 6, с. 129; 7, с. 93; 8, с. 76].

Рассмотрим упомянутый участок проектируемой железнодорожной линии Элегест–Кызыл–Курагино. На участке ст. Курагино–ст. Ермаковская (км 0–км 104), где трасса проходит долинами рек Туба, Амыл



Сравнение вариантов железнодорожной линии на участке км 8—км 11

Показатели	Ед. изм.	1 вариант ПК 74+00.00 — ПК 106+00.00	2 вариант ПК 74+00.00 — ПК 106+17.36
Протяжение	п. м	3200	3217,36
Руководящий уклон	‰	9	9
Профильный объём земляных работ	тыс. м ³	870,56	266,54
в т.ч. насыпь	тыс. м ³	142,68	208,33
в т.ч. выемка	тыс. м ³	727,88	58,21
Стоимость земляного полотна, в ценах 01.01.2000 г.	тыс. руб.	9685,81	7393,73
Искусственные сооружения:	шт.	7	10
металлический мост	шт./м	1/52,63	1/44,80
МГТ Ø. 1.5 м	шт.	3	6
МГТ Ø. 2.0 м	шт.	2	-
МГТ Ø. 2.5 м	шт.	1	2
МГТ Ø. 2х2.0 м	шт.	—	1
Стоимость строительства искусственных сооружений, в ценах 01.01.2000 г.	тыс. руб.	17715,16	18296,83
Снос строений:			
жилые дома	шт./тыс. руб.	—	5/26,45
водонапорная башня	шт./тыс. руб.	—	1/9,92
линии ВЛ	км/тыс. руб.	2,1/195,74	—
Компенсация за снос и строительство:			
жилые дома	тыс. руб.	—	39,95
система водоснабжения посёлка	тыс. руб.	—	121,86
переустройство ВЛ	км/тыс. руб.	2,2/782,96	—
переустройство дорожно-уличной сети	км/тыс. руб.	0,21/285,75	1,00/1542,20
Устройство шумозащитных экранов	км/тыс. руб.	0,26/939,12	0,61/2205,84
Общая сметная стоимость строительства в ценах 01.01.2000 г.	тыс. руб.	29604,54	29636,78

рассмотрен вариант проложения трассы на участке обхода населённого пункта п. Подгорный км 8—км 11.

Для целей сопоставления местных вариантов трассы проектировщиками ЗАО «Востсибтранспроект» («ВСТП») определены следующие объёмные показатели в пределах общих точек сравнения:

а) объёмы земляных работ по вариантам;

б) объёмы по искусственным сооружениям — мосты, трубы;

в) снос строений, линий воздушных линий электропередачи (ВЛ);

г) компенсация за снос и строительство новых объектов — переустройство ВЛ, переустройство дорожно-уличной сети, устройство переездов, устройство шумозащитных экранов.

СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ ТРАССЫ НА УЧАСТКЕ КМ 8—КМ 11

На участке км 8—км 11 рассматриваемой трассы подлежали сравнению два варианта трассы (рис. 1).

ОПИСАНИЕ ВАРИАНТА № 1 (ВОСТОЧНОГО)

Начало трассы — пикет (ПК) 74+00.00; конец трассы — ПК 106+00.00; её протяжённость по данному варианту 3200,00 м.

Вариант разработан с целью обхода п. Подгорный, трасса проходит в выемке, полностью исключая снос жилых строений, и не требует переустройства водонапорной башни и водозаборной скважины.

На ПК 79+27 и ПК 87+33 трасса пересекает линию ВЛ 35кВ, что влечёт за собой пе-

реустройство участка ВЛ 35кВ протяжением 2,2 км. Комплекс мероприятий по шумозащите при проложении железнодорожной линии в санитарной зоне застройки предусматривает устройство шумозащитных экранов на протяжении 0,26 км. На некотором протяжении трасса железнодорожной линии размещена на расстоянии 100–200 м от границы застройки в выемке глубиной до 20 м, что не требует устройства шумозащитных экранов.

ОПИСАНИЕ ВАРИАНТА № 2 (ЗАПАДНОГО)

Начало трассы принято на ПК 74+00.00; конец трассы принят на ПК 106+17.36/ПК106+00.00; её протяжённость по данному варианту составляет 3217,36 м.

Вариант № 2 разработан с целью исключения значительных объёмов по разработке выемки, которые в варианте № 1 составляют более 700 тыс. м³. Трасса проходит по территории п. Подгорный. При этом под снос подпадают 5 жилых домов с хозяйственными постройками, а также водонапорная башня. Кроме того, из-за отказа от устройства выемки возрастают на 0,35 км объёмы по сооружению шумозащитных экранов в санитарной зоне застройки.

Технико-экономические показатели сравниваемых вариантов представлены в таблице 1.

ВЫВОД, КОТОРЫЙ БЫЛ СДЕЛАН ПРОЕКТИРОВЩИКАМИ ЗАО «ВСТП»

При сравнении основных технико-экономических показателей вариантов проектировщиками ЗАО «Востсибтранспроект» был сделан вывод, что варианты по совокупности затрат на строительство в соответствии с принятыми методиками расчётов являются равноценными. Однако предпочтение было отдано варианту № 1, так как:

- исключены затраты на снос жилых строений;
- исключены затраты на переселение жителей;
- исключено переустройство водонапорной башни и водозаборной скважины;
- сохранены сложившиеся условия проживания населения в п. Подгорный.

В проекте реализован вариант трассы № 1.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПРОЦЕДУРЫ СРАВНЕНИЯ ВАРИАНТОВ

Учитывая основные положения теории принятия решений, выполненное сравнение явилось решением многокритериальной детерминированной задачи выбора, что вполне допустимо, однако требует некоторой доработки путём формализации предпочтений ЛПР [9, с. 77; 10, с. 248].

Нами предложено для формализации предпочтений ЛПР использовать метод аналитической иерархии Т.Л. Саати (МАИ) [11, с. 183; 12, с. 196], который позволяет понятным и рациональным образом структурировать сложную проблему принятия решений в виде иерархии, сравнить и выполнить количественную оценку альтернативных вариантов решения.

Анализ проблемы принятия решений в МАИ начинается с построения иерархической структуры, которая включает цель, критерии, альтернативы и другие рассматриваемые факторы, влияющие на выбор. Эта структура отражает понимание проблемы со стороны ЛПР. Метод анализа иерархий может быть субъективным в случае, если оценку критериев выставляет один человек. В нашем исследовании субъективность частично преодолена, так как оценки выставляют несколько экспертов, имеющих разный профессиональный опыт.

Следующим этапом анализа является определение приоритетов, представляющих относительную важность или предпочтительность элементов построенной иерархической структуры, с помощью процедуры парных сравнений. Безразмерные приоритеты позволяют обоснованно сравнивать разнородные факторы, что является отличительной особенностью МАИ. На заключительном этапе анализа выполняется синтез (линейная свёртка) приоритетов на иерархии, в результате которой вычисляются приоритеты альтернативных решений относительно главной цели.

Для нашей задачи группа экспертов выбрала следующие критерии:

- I – строительная длина (п.м.);
- II – профильный объём земляных работ (тыс. м³);
- III – строительная стоимость (тыс. руб.);



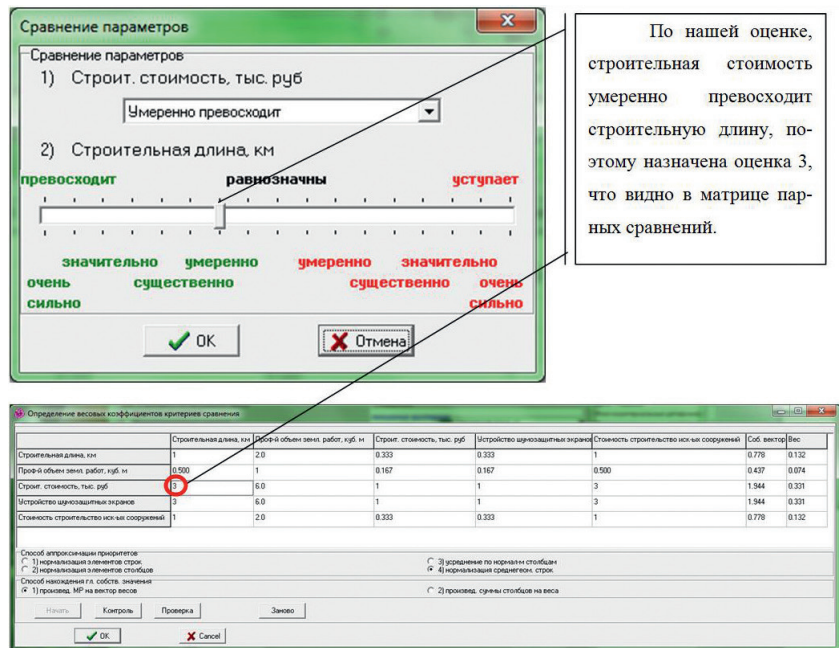


Рис. 2. Шкала оценивания критерия «Строительная стоимость, тыс. руб.», в программе «Валерия».

IV – устройство шумозащитных экранов (км/тыс. руб.);

V – стоимость строительства искусственных сооружений (тыс. руб.).

Далее была составлена матрица парных сравнений критериев по важности (по девятибалльной шкале).

	I	II	III	IV	V
I	1	2	0,333	0,333	1
II	0,5	1	0,167	0,167	0,5
III	3	6	1	1	3
IV	3	6	1	1	3
V	1	2	0,333	0,333	1

На данном этапе оценки имеют следующий смысл:

- 1 – равная важность критериев;
- 3 – умеренное превосходство;
- 5 – существенное превосходство;
- 7 – значительное превосходство;
- 9 – очень сильное превосходство;
- 2, 4, 6, 8 – промежуточные значения.

Заполнение матрицы проводится построчно, начиная с наиболее важного критерия. Сначала проставляют целочисленные оценки, тогда соответствующие им дробные оценки получаются из них автоматически (как обратные к целым числам). Чем важнее критерий, тем боль-

ше целочисленных оценок будет в соответствующей ему строке матрицы, и сами оценки будут иметь большие значения. Так как каждый критерий равен себе по важности, то главная диагональ матрицы всегда будет состоять из единиц.

Затем рассчитываем среднее геометрическое каждой строки по формуле (1) и компонентов нормализованного вектора приоритетов (НВП) по формуле (2):

$$a_n = \sqrt[n]{\text{произведение элементов } n\text{-ой строки}}, \quad (1)$$

$$n\text{-ый компонент НВП} = \frac{a_n}{\sum a_i}. \quad (2)$$

Далее проводим попарное сравнение вариантов по каждому критерию и определяем общий критерий (приоритет) для каждого варианта. Лучшим признаётся вариант с наибольшим приоритетом.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЁТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ «ВАЛЕРИЯ»

Примером автоматизации расчётов по методу аналитической иерархии Т. Л. Саати может служить система поддержки принятия решений (СППР) «Валерия» (автор П. Н. Холодов, ИргУПС) [13].

Воспользуемся программой «Валерия» для решения рассмотренной выше задачи

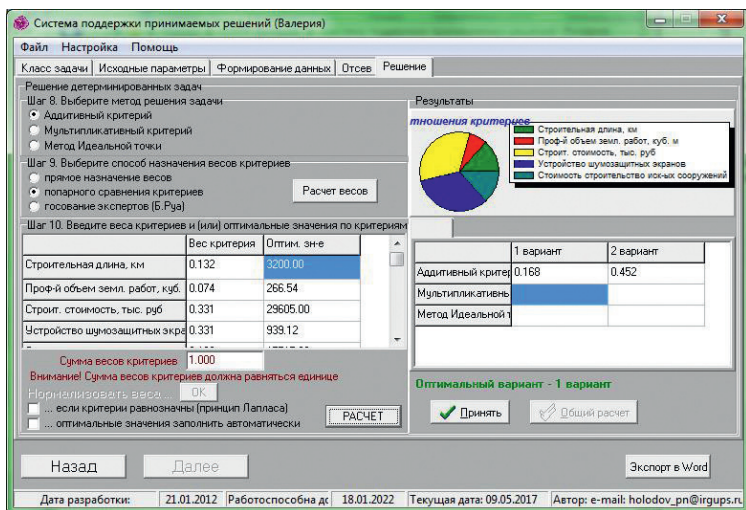


Рис. 3. Расчёт оптимального варианта в СППР «Валерия».

выбора варианта трассы на обходе (вариант № 1) / пересечении (вариант № 2) посёлка Подгорный на участке км 8—км 11 проектируемой линии Кызыл—Курагино.

Оценки присваиваются по девятибалльной шкале, как показано выше (рис. 2).

Преимуществом программы СППР «Валерия» является тот факт, что в ней можно решать задачу разными методами (рис. 3).

Проведя дополнительный анализ представленных вариантов, получили результат, что оптимальным является первый вариант, что подтвердило выводы, которые сделали проектировщики «ВСТП».

ВЫВОДЫ

В проектировании железных дорог выбор оптимального варианта не всегда может быть прост и очевиден. При подобию вариантов для принятия правильного решения желательно опираться не только на анализ технико-экономических показателей. Необходимо проводить дополнительное сравнение вариантов. В нашем случае, при решении поставленной перед нами задачи мы использовали метод анализа иерархии, который подтвердил результаты, полученные при анализе технико-экономических показателей.

Применённый нами метод может рассматриваться как перспективный и эффективный для решения задач такого рода, причем не только при выборе вариантов трассы железнодорожных линий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Подвербный В. А., Холодов П. Н., Титов К. М. Методы принятия проектных решений в строительстве: Учебно-метод. пособие. — Иркутск: ИрГУПС, 2010. — 72 с.
2. Кантор И. И. Изыскание и проектирование железных дорог. — М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. — 288 с.
3. Методические рекомендации по оценке инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте / МПС РФ. — М.: МПС РФ, 1998. — 123 с.
4. Железнодорожная линия Элегест—Кызыл—Курагино—участок от станции Курагино до раз. (разъезда) Малый Тайгиш (км 147): Общая пояснительная записка. — 2504—1-ПЗ / ЗАО «Востсиб-транспроект». — Иркутск, 2013. — 43 с.
5. Холодов П. Н. Выбор оптимального решения в проектировании железных дорог на основе многокритериальной оценки / Дис... канд. техн. наук. — ДВГУПС, 2012. — 166 с.
6. Кини Р. Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях / Пер. с англ. В. В. Подиновского, М. Г. Гафта, В. С. Бабинцева. — М.: Радио и связь, 1981. — 560 с.
7. Ногин В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: качественный подход. — 2 изд., испр. и доп. — М.: Физматлит, 2005. — 176 с.
8. Харитонова Е. Эффективное принятие решений / Пер. с англ. С. Друженко. — М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. — 184 с.
9. Холодов П. Н. Многокритериальный выбор оптимального решения при проектировании железных дорог // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2011. — № 1. — С. 76—82.
10. Орлов А. И. Теория принятия решений: Учебник. — М.: Экзамен, 2006. — 573 с.
11. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. — М.: Радио и связь, 1993. — 278 с.
12. Саати Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. — М.: Издательство ЛКИ, 2008. — 360 с.
13. Холодов П. Н., Подвербный В. А. Система поддержки принимаемых решений («Валерия») // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010617609 от 17.11.2010 г.

