

УДК 338.47:656

ОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ РАБОТ ПО ОБНОВЛЕНИЮ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ (НА ПРИМЕРЕ КОМПАНИИ «BANEDANMARK»)

**Ю.О. Петровец, асп. кафедры информационных систем и математических методов
в экономике**

Электронный адрес: petrovets@prognoz.ru

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, г. Пермь,
ул. Букирева, 15

Анализируются способы сокращения расходов железнодорожной компании, связанных с поддержанием инфраструктуры в надлежащем состоянии, за счет определения оптимальных сроков выполнения работ. Описан подход к решению поставленных задач. Приведены результаты вычислительного эксперимента, проведенного для железных дорог Дании.

Ключевые слова: железнодорожная инфраструктура; модернизация; оптимальное планирование.

Введение

В Белой книге ЕС по транспорту сформулирована стратегия развития транспортной системы в Европе. Ввиду ряда преимуществ, таких как возможность массовых перевозок грузов и пассажиров, высокая пропускная и провозная способность, относительно невысокая себестоимость, высокая безопасность и экологичность, ж.-д. транспорту определена одна из ведущих ролей в решении инфраструктурных проблем Европы. Вместе с тем подчеркивается, что инфраструктура железных дорог многих стран нуждается в совершенствовании и модернизации [15].

Путевое хозяйство железных дорог является наиболее капиталоемкой, трудоемкой и материалоемкой отраслью ж.-д. транспорта. Например, в России в путевом хозяйстве сосредоточено 54% всех основных фондов железных дорог, а затраты материалов на капитальные работы в путевом хозяйстве составляют более половины от соответствующих затрат всех хозяйств железной дороги. Вместе с тем износ основных фондов железных дорог России составляет свыше 50%, и такая ситуация характерна для очень большого числа стран, включая многие страны с развитой экономикой [2]. Среди причин можно отметить высокую стоимость проектов по модернизации пути и исторический фактор. Долгое время ж.-д. транспорт играл ведущую роль, как в пассажирских, так и грузовых перевозках. Фактическое отсутствие конкуренции определяло стратегическое направление развития этого вида транспорта в первую

очередь в сторону постепенного расширения сети и строительства новых линий. Однако стремительное развитие автомобильного транспорта в последние десятилетия предъявило новые повышенные требования к качеству, скорости и пунктуальности ж.-д. перевозок. Для выполнения этих требований многие ж.-д. компании стали уделять повышенное внимание к своевременной модернизации пути, т.к. его чрезмерный износ способен сделать этот вид транспорта неконкурентоспособным.

В этой связи крайне важно искать пути рационального использования имеющихся средств. В данной статье рассматриваются задачи оптимизации расходов ж.-д. компании за счет правильного выбора сроков проведения работ.

Рассмотрим то, как с помощью правильного планирования работ можно добиться экономии. Во-первых, чрезмерный износ значительно увеличивает расходы на техническое обслуживание (далее – ТО) [11,12]. По некоторым данным, в России капитальные вложения в укладку новых рельсов окупаются за 3-4 года только благодаря экономии эксплуатационных расходов [9]. Кроме того, чрезмерный износ оказывает негативное влияние на качество и пунктуальность перевозок, что опосредованно влияет и на экономические показатели компании. Например, известно, что в Западной Европе рост уровня пунктуальности на 1% дает прирост на 1% числа поездок с деловыми целями [10].

Во-вторых, примечательной особенностью работ по обновлению является тот

факт, что их стоимость зависит от *сочетания* обновляемых активов. При этом одновременное обновление двух, трех и более активов значительно выгоднее, чем их раздельное обновление.

В-третьих, чрезмерный износ пути может привести к необходимости ввода временных ограничений на скорость передвижения поездов (далее-TSR, от англ. temporary speed restriction). Это приводит к снижению пропускной способности, задержкам, изменению расписания и т.д., что также оказывает негативное влияние на экономические показатели операторов инфраструктуры.

В-четвертых, практика показывает, что работы по обновлению лучше объединять в *проекты*, которые целесообразно проводить не чаще чем один раз в 5-10 лет. При организации более крупных проектов можно снизить себестоимость работ за счет эффекта масштаба. Кроме того, важным фактором является

сокращение суммарного времени, в течение которого линия не функционирует [12]. Нельзя забывать и о возможной негативной реакции пользователей ж.-д. услуг на решение компании проводить работы на линии ежегодно.

Таким образом, с одной стороны, работы должны проводиться до истечения срока службы, чтобы избежать дополнительных расходов на ТО и экономических потерь. С другой стороны, все работы должны быть сгруппированы в крупные проекты, которые в том числе снижают стоимость работ, но при этом нарушают инженерные сроки.

Постановка задач

Рассмотрим структуру ж.-д. сети с точки зрения логического деления на отдельные участки пути. Выделим четыре основных уровня: собственно сеть, линии, сегменты и активы (рис. 1).

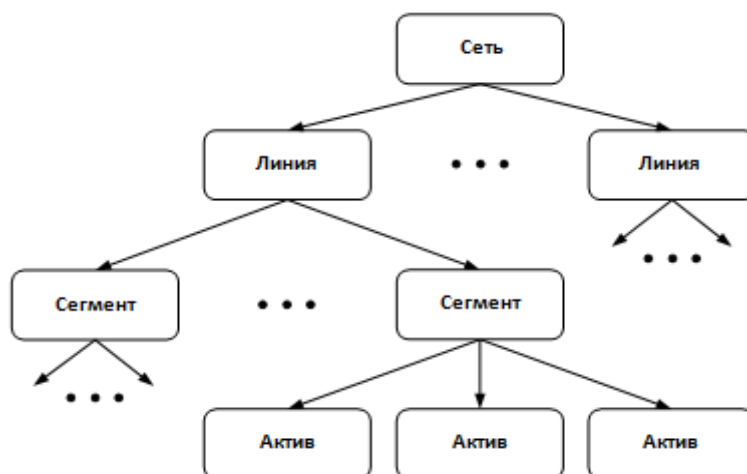


Рис.1. Структура ж.-д. сети

Разбиение сети на отдельные линии – это, как правило, общепринятое исторически и/или географически сложившееся деление [8]. Но, несмотря на то что выделить основополагающий универсальный критерий для разбиения не представляется возможным, игнорировать наличие этого деления нельзя, т.к. оно может среди прочих иметь, экономические или политические причины.

Деление линии на сегменты определяется более формально и основано

исключительно на инженерных соображениях: все характеристики, определяющие износ активов (радиус кривизны, дата последнего обновления, трафик и пр.) в пределах всей длины сегмента, должны быть полностью идентичны. На рис. 2 приведен условный пример: для некоторого участка пути AC одна характеристика различна для отрезков AB и BC, а другая различна для отрезков AD и DE. В этом примере должно быть выделено 4 сегмента: AD, DB, BE и EC.

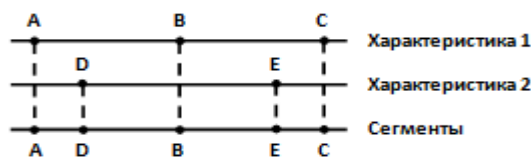


Рис 2. Пример определения сегментов

Сегмент состоит из одного или нескольких активов (рельсы, шпалы, балластный слой, стрелочные переводы и пр.), которые обновляются или ремонтируются целиком на всей длине сегмента.

Пронумеруем все элементы сети. Будем обозначать общее число линий как L ; S – множество номеров всех сегментов; A – множество номеров всех активов; a – количество всех активов; A_j – множество номеров активов сегмента j ; a_j – количество активов на сегменте j ; наименьший/наибольший номер актива на сегменте j – \bar{a}_j/\hat{a}_j ; наименьший/наибольший номер актива на линии i – \bar{a}_i/\hat{a}_i .

Методологической базой решения проблем управления финансово-хозяйственными процессами выступают системный подход, общая теория систем и системный анализ [7]. Предприятие относится к классу кибернетических систем, т. е. систем управляемых [1, 6]. Управляющим воздействием, которое оказывает ж.-д. компания на износ сети, является периодическое обновление активов. Рассмотрим износ сети в моменты времени $1, \dots, T$. Предполагается, что один момент времени – это календарный или финансовый год, а длина прогнозного периода равна нескольким десяткам лет. Введем оператор управления: $u: \{1, \dots, T\} \rightarrow \{0, 1\}^a$. Будем понимать $u_k(t)$ как решение обновить, если $u_k(t) = 1$, или не обновить, если $u_k(t) = 0$, актив k в момент времени t .

Все характеристики износа конкретного актива могут быть определены по его сроку службы (возрасту). Далее, говоря об износе, будем подразумевать возраст актива (в годах). Обозначим $x: \{0, \dots, T\} \rightarrow \mathbb{N}_a$ – оператор, определяющий износ ж.-д. сети. А именно, будем понимать $x_k(t)$ – возраст актива k в момент времени t . Динамика износа определяется следующим образом:

$$x_k(t) = \begin{cases} x_k(t-1) + 1, & u_k(t) = 0, \\ 1, & u_k(t) = 1, \end{cases} \quad (1)$$

$$k \in A, t \in \{1, \dots, T\},$$

$$x_k(0) = x_k^0, \quad k \in A. \quad (2)$$

Ограничения на максимальный и минимальный срок службы:

$$x_k(t) \in X_k^t \subset \square, \quad k \in A, t \in \{1, \dots, T\}. \quad (3)$$

В зависимости от износа и управления могут быть однозначно определены следующие показатели деятельности ж.-д. компании: расходы на обновление, расходы на ТО, экономические потери [13]. Все показатели вычисляются для каждого сегмента в зависимости от состояния его активов. Для удобства введем обозначения:

$$u^j(t) = (u_{\bar{a}_j}(t), \dots, u_{\hat{a}_j}(t)),$$

$$x^j(t) = (x_{\bar{a}_j}(t), \dots, x_{\hat{a}_j}(t)), \quad j \in S, t \in \{1, \dots, T\}.$$

Величина *расходов на обновление* на сегменте j в момент времени t определяется функцией

$$f_j^{sr}(u^j(t), t), \quad j \in S, t \in \{1, \dots, T\},$$

Как уже отмечалось, эти расходы обладают важной особенностью – их величина зависит от *сочетания* обновляемых активов. Таким образом, справедливо неравенство:

$$\sum_{k \in A_j} u_k(t) f_j^{sr}(e_j(k - \bar{a}_j + 1), t) \geq f_j^{sr}(u^j(t), t),$$

$$j \in S, t \in \{1, \dots, T\},$$

где $e^j: \{1, \dots, a_j\} \rightarrow \{0, 1\}^{a_j}$ определяется равенством:

$$e^j(i) = \begin{cases} e_k^j(i) = 1, & k = i, \\ e_k^j(i) = 0, & k \neq i, \end{cases} \quad j \in S.$$

Величина *расходов на ТО* на сегменте j в момент времени t задается функцией:

$$f_j^{sm}(x^j(t), t) = \sum_{k \in A_j} f_k^{am}(x_k(t), t),$$

$$j \in S, t \in \{1, \dots, T\},$$

где $f_k^{am}(x_k(t), t)$ – расходы на ТО отдельного актива k .

Возникновение *экономических потерь* связано с уменьшением пропускной способности, вызванной вводом ограничений на скорость передвижения пассажирских и грузовых поездов. Чем больше срок службы актива, тем больше вероятность, что это ограничение будет введено. Если срок службы актива меньше инженерного срока, то вероятность считается равной нулю:

$$P(ATSR_{k,t}) = f_k^{ah}(x_k(t), t), \quad k \in A, t \in \{1, \dots, T\},$$

где $P(ATSR_{k,t})$ – вероятность ввода ограничения в результате чрезмерного износа актива k в момент времени t .

Сегмент может состоять из нескольких активов, и ограничение вводится в том случае, если хотя бы один актив не удовлетворяет требованиям безопасности. При этом ввод ограничений в результате чрезмерного износа одного актива является статистически независимым от износа другого актива. Математическое ожидание экономических потерь на сегменте j в момент времени t запишем в виде:

$$f_k^{sh}(x^j(t), t) =$$

$$= P(ATSR_{\bar{a}_j,t} \text{ или } \dots \text{ или } ATSR_{\hat{a}_j,t}) f_j^{ISR}(t),$$

$$j \in S, t \in \{1, \dots, T\},$$

где $f_j^{ISR}(t)$ – величина экономических потерь (в случае ввода ограничения) на сегменте j в момент времени t .

Для того чтобы исключить решения, в которых активы обновляются много раньше ожидаемого срока, введем функции штрафов за раннее обновление активов:

$$f_j^{sp}(u^j(t), x^j(t-1)t) = \sum_{k \in A_j} f_k^{ap}(u_k(t), x_k(t-1), t) =$$

$$= \sum_{k \in A_j} u_k(t) f_j^{sr}(e_j(k - \tilde{a}_j + 1), t) \frac{x_k(t-1) + 1}{f_k^{life}(t - x^j(t-1) - 1)},$$

$$j \in S, t \in \{1, \dots, T\},$$

где $f_j^{life}(\tau)$ – функция, определяющая срок службы актива k , при условии, что в последний раз он был обновлен в момент времени τ .

Введем также ограничение на паузы между обновлениями:

$$\left\| \text{col}(u_{\tilde{a}_i}(t), \dots, u_{\tilde{a}_i}(t)) \right\| \cdot \left\| \text{col}(u_{\tilde{a}_i}(t - \psi), \dots, u_{\tilde{a}_i}(t - \psi)) \right\| = 0, \quad (4)$$

$$i \in \{1, \dots, L\}, t \in \{1, \dots, T\},$$

$$\psi \in \{1, \dots, \rho_i\}, t - \psi > 0,$$

где $\rho_i > 1$ – минимально допустимая пауза между проектами на линии i .

Целевой минимизируемый критерий записывается следующим образом:

$$\sum_{t=1}^T \sum_{j \in S} (f_j^{sm}(x^j(t), t) + f_j^{sr}(u^j(t), t) + f_j^{sh}(x^j(t), t) + f_j^{sp}(u^j(t), x^j(t-1), t)). \quad (5)$$

Чтобы не усложнять запись, будем полагать, что все слагаемые целевой функции содержат множитель дисконтирования.

Стоит особо отметить, что это только одна из возможных формулировок целевого критерия. Ввиду ограниченного прогнозного периода может возникнуть проблема, выражающаяся в неадекватном откладывании ряда проектов за рассматриваемый период с целью избежать расходов на обновление. Для решения данной проблемы могут быть использованы разные приемы, ни один из которых не является универсальным. Например, целевая функция может быть дополнена терминальным штрафным слагаемым; для ряда линий суммирование может происходить на укороченном временном периоде; вместо функций расходов на обновление может использоваться функция выигрыша от совместного обновления и т.д. Кроме экономических целей, ж.-д. компания или государство может руководствоваться и политическими мотивами. В этом случае дополнительный критерий может стать частью интегрального критерия, определяющего эффективность проектов.

Когда речь идет о материальных и трудовых ресурсах, неизбежно встает вопрос их ограниченности. Поэтому в условия задачи нужно ввести также ряд ресурсных ограничений, касающихся всей ж.-д. сети целиком. Это ограничение на суммарную стоимость обновления (6), на суммарную стоимость ТО (7), на

суммарную длину сегментов, на которых выполнялись работы по ТО определенных видов (8), на суммарную длину обновляемых активов (9):

$$\sum_{j \in S} f_j^{sr}(u^j(t), t) \leq b_t^r, \quad t \in \{1, \dots, T\}, \quad (6)$$

$$\sum_{j \in S} f_j^{sm}(x^j(t), t) \leq b_t^m, \quad t \in \{1, \dots, T\}, \quad (7)$$

$$\sum_{j \in W_{p,t}} l_j \leq b_t^{wp}, \quad t \in \{1, \dots, T\}, p \in \{1, \dots, P\}, \quad (8)$$

$$\sum_{j \in R_{z,t}} l_j \leq b_t^{rz}, \quad t \in \{1, \dots, Z\}, z \in \{1, \dots, Z\}, \quad (9)$$

где p – вид работы; P – число рассматриваемых видов работы; $W_{p,t}$ – множество всех сегментов, на которых в момент времени t должна проводиться работа p ; l_j – длина сегмента j ; b_t^{wp} – максимальная суммарная длина сегментов, на которых может быть проведена работа p в момент времени t ; z – вид актива; Z – число рассматриваемых видов активов; $R_{z,t}$ – множество всех сегментов, на которых в момент времени t обновляется актив z ; b_t^{rz} – ограничение на суммарную длину обновляемых активов вида z в момент времени t .

Не все эти ограничения могут быть актуальны для разных ж.-д. компаний, поэтому какие-то из них можно опустить или объединить между собой. Так, например, в компании Banedanmark (Дания) формируется единый бюджет на ТО, куда входят все виды работ. А в Нидерландах бюджет планируется на каждый вид работ отдельно [14].

Окончательная формулировка задачи выглядит следующим образом:

$$\min_u \{(5)|(1)-(4), (6)-(9)\}. \quad (10)$$

Ресурсные ограничения могут отсутствовать:

$$\min_u \{(5)|(1)-(4)\}. \quad (11)$$

Решение задачи без ограничений может быть использовано для получения ориентира при планировании бюджета.

Алгоритм решения

Очевидно, что если ресурсные ограничения отсутствуют, то решение сводится к поиску оптимального плана работ для каждой ж.-д. линии отдельно. Алгоритм решения основан на идее метода ветвей и границ, с использованием динамического программирования для получения нижних оценок ветви. Подробное обоснование и вариации этого алгоритма будут опубликованы в последующих статьях. Сейчас же мы

предполагаем, что нам известна некая процедура решения задачи (11). Сформулируем алгоритм для поиска решения задачи (10), использующий эту процедуру.

Есть наблюдение, что должный экономический эффект от модернизации достигается лишь при полном обновлении всех устаревших активов, а не какой-то их части [4]. Этот эффект имеет несколько объяснений. Во-первых, т.к. поезд не может мгновенно сбросить или набрать скорость, то зона с TSR «накладывается» на замененные участки пути, сводя на нет эффект от их обновления. Во-вторых, вследствие требования проводить обновления не чаще чем один раз в 5 – 10 лет следует, что стоимость обслуживания тех активов, которые не были вовремя обновлены, за это время резко возрастает. В-третьих, как уже отмечалось, организация более крупных проектов предпочтительнее. Поэтому при нехватке каких-либо ресурсов бывает целесообразно отложить реализацию *всего* проекта целиком на более поздний срок вместо выполнения только части положенных работ [3].

Приняв во внимание данную предпосылку о «неделимости» проектов и в условиях нехватки ресурсов, можно предложить следующий алгоритм для нахождения решения задачи (10):

1. Для каждой линии решается своя задача оптимизации работ. В результате формируется

некоторый исходный оптимальный перечень проектов, не учитывающий ограничений на ресурсы.

2. Поочередно в каждый момент времени проверяется выполнение ограничений. Если в какой-то момент времени выполняются все ограничения, то все проекты, относящиеся к данному моменту времени, считаются одобренными. Если в какой-то момент времени t не выполняется хотя бы одно ограничение, то происходит отбор проектов, в результате которого часть проектов одобряется, а остальная часть отклоняется.

3. Для тех линий, на которых были отклонены проекты, повторно решается задача оптимизации работ. Эта задача решается в моменты времени $t+1, \dots, T$. Начальное состояние активов определяется из условия, что в момент времени t ни один из активов не был обновлен.

4. С учетом скорректированного перечня проектов повторяются этапы 2 и 3 до тех пор, пока не будут утверждены проекты для всех моментов времени.

Блок-схема предложенного алгоритма представлена на рис. 3. Примечательной особенностью алгоритма является тот факт, что в каждый момент времени задача оптимизации линии пересчитывается ограниченное, как правило, очень небольшое число раз, которое соответствует количеству отклоненных проектов.



Рис. 3. Блок-схема алгоритма

Когда встает вопрос о необходимости выбора ограниченного числа линий для обновления, то кроме соображения экономической эффективности нередко должны учитываться и политические цели. Организация бесперебойного ж.-д. сообщения между крупными административными, промышленными и активно развивающимися регионами, стратегическими, военными или строящимися объектами, приведение ж.-д. инфраструктуры в надлежащее состояние в преддверие крупных политических, экономических, спортивных или культурных событий, все это и многое другое может являться частью решения государственных политических задач. Описанный алгоритм позволяет безболезненно выделить отдельный этап, на котором можно отбирать экономически оптимальные проекты исходя из их политической значимости (приоритетов).

Рассмотрим подробнее процедуру отбора проектов с учетом ограничений. Пусть в момент времени t найдено множество проектов $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, $n \leq L$. Каждый проект p_i характеризуется стоимостью и объемами необходимых ресурсов. Обозначим полный набор используемых ограничений вида (6) и (9) вектором $b = \text{col}(b_1, b_2, \dots, b_m)$, а ограничений (7) и (8) вектором $e = \text{col}(e_1, e_2, \dots, e_q)$. Все элементы векторов b и e должны быть положительны. Через $a_{ij} > 0$ обозначим объем ресурса типа i , необходимого для реализации проекта j . Обозначим как $d_{kj} > 0$ экономию ресурса k в случае выполнения проекта j . Определим вектор $e^0 = \text{col}(e_1^0, e_2^0, \dots, e_q^0)$, каждый элемент которого $e_k^0 > 0$ равен суммарному объему ресурса k при условии, что на сети не выполняется ни один проект. Если ввести вектор $c = \text{col}(c_1, c_2, \dots, c_n)$, каждый элемент которого c_j означает эффективность от реализации проекта j , то можно сформулировать следующую задачу линейного программирования:

$$\sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \max, \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (13)$$

$$x_j \in \{0; 1\}, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^n d_{kj} x_j \geq e_k^0 - e_k, \quad k = 1, 2, \dots, q. \quad (15)$$

Здесь для искомым переменных использовано следующее обозначение:

$$x_k(t) = \begin{cases} 1, & \text{если проект выполняется,} \\ 0, & \text{если проект не выполняется,} \end{cases} \\ j = 1, 2, \dots, n.$$

Ключевым вопросом становится нахождение способа определения вектора c^0 . Предложим несколько вариантов такой оценки:

1. Выполнение проекта позволяет избежать возникновения дополнительных расходов на ТО, вызванных превышением активов инженерного срока службы. Чем больше эта величина, тем выше, при прочих равных условиях, должна быть эффективность проекта.

2. В качестве оценки эффективности проекта можно использовать разницу между величиной экономических потерь в случае невыполнения и выполнения проекта.

3. Кроме того, можно использовать разницу между минимумами (или оценками минимумов) целевой функции задачи оптимизации работ на линии в случае выполнения и невыполнения проекта.

Стоит отметить, что ограничения (15) зачастую не оказывают никакого влияния на решение задачи. Для этого есть несколько причин.

Во-первых, очевидно, что если $e_k^0 - e_k \leq 0$, $k = 1, 2, \dots, q$, то $\max\{(12)|(13)-(15)\} = \max\{(12)|(13),(14)\}$. Такая ситуация возникает, если бюджетное или ресурсное ограничение, связанное с ТО, не меньше, чем максимально возможный объем требуемого бюджета/ресурса. Ж.-д. компании могут довольно точно оценить как гарантированный, так и максимальный объем работ, связанных с ТО, т.к. их приходится проводить каждый год для каждой линии (в отличие от работ по обновлению активов). Эти оценки учитываются при планировании бюджета и объема работ, при этом зачастую используются именно пессимистические оценки, поэтому нарушение этих ограничений априори маловероятно.

Во-вторых, заметим что, для того чтобы выполнить ограничения (15) необходимо, чтобы как можно больше проектов было реализовано. Аналогичное поведение также заложено и в целевой функции: для того чтобы её значение было больше, нужно выполнить как можно больше проектов. Однако достижению этой цели мешают ограничения (14).

В-третьих, множество допустимых решений задачи (12)-(15) может оказаться пусто, в то время как задача (12)-(14) всегда имеет решение. Таким решением может являться тривиальное (нулевое) решение или решение задачи (12),(13),(16), в котором

дробные значения x_j заменяются нулевыми (число дробных значений в оптимальных решениях линейных задач не превосходит m) [5].

$$0 \leq x_j \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (16)$$

Этот факт относится к вопросу принятия решений: в случае невозможности получить допустимое решение бывает важно узнать «хорошее» недопустимое решение.

Таким образом, вместо задачи (12)-(15) бывает целесообразно решать задачу (12)-(14), известную как задача об упаковке ранца. Ее свойства хорошо изучены и для её решения разработаны многочисленные эффективные методы.

Вычислительный эксперимент

Приведем описание некоторых результатов вычислительного эксперимента, проведенного на реальных данных, описывающих ж.-д. сеть Дании (49 линий). По договоренности с заказчиками проекта все результаты приводятся в относительных показателях. Период прогнозирования: 2012-2061 гг. Заданы ресурсные ограничения до 2020 г., также до 2030 г. введены ограничения, равные среднему уровню на периоде с 2012 по 2020 г. Общее количество неизвестных составляет 5 249 950. Была рассчитана модель износа (план работ А), получены оптимальные проекты без учета ресурсных ограничений (план работ В) и с учетом ограничений (план работ С).

Чистое время расчета всех задач оптимизации без учета ограничений составило 20 мин. 23 сек. Расчет

производился в четыре потока на компьютере со следующими параметрами: Intel® Core™ i5 CPU K 655 @ 3.20 GHz 3.19 GHz, 16Gb RAM, x64.

Для анализа изменчивости решения в зависимости от длины прогнозного периода был проведен расчет на укороченном периоде 2012-2054 гг. В первой части периода (2012-2028 гг.) результаты оказались практически неизменны: только для 2 из 61 проектов суммарная стоимость проекта изменилась более чем на 5%. Данный период достаточен для принятия как тактических, так и стратегических решений. Поэтому все дальнейшие КРІ посчитаны именно на этом периоде.

В результате использования плана работ В можно сократить расходы на обновление на 15% (по сравнению с планом работ А). Данные результаты объясняются экономией от совместного обновления активов, которая учитывается в процессе оптимизации. На рис. 4а приведена структура работ по обновлению при использовании плана А. Выдвинутые секторы соответствуют работам, при которых меняется только один вид актива. Доля таких работ превышает 70%. На рис. 4б показано аналогичное распределение работ при использовании плана В. Видно, что доля работ, при которых обновляется сразу несколько активов, резко возросла и превысила 55%. Однако в результате отклонения от инженерных сроков обновления возросли расходы на ТО – они увеличились на 67%. Появились и экономические потери.

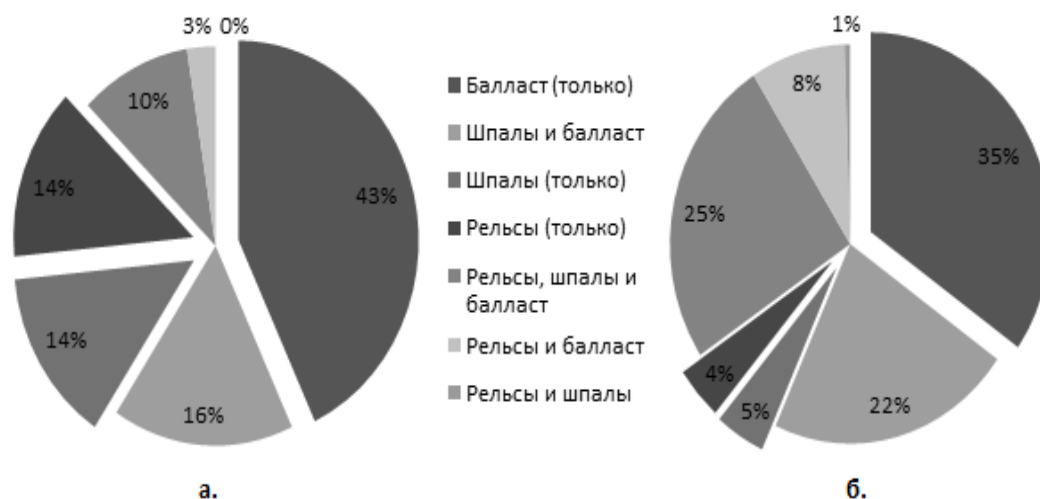


Рис.4. Структура работ по обновлению

План работ С удовлетворяет всем ограничениям, однако в результате того, что часть работ была отложена по причине

нехватки ресурсов, возникли дополнительные расходы на ТО и экономические потери. Кроме показателей, выраженных в денежных

единицах измерения, стоит отметить общее снижение качества оказываемых услуг: возросло количество задержанных поездов,

увеличилось количество участков с TSR (табл.).

Сравнение планов работ В и С

	План С / план В, %
Расходы на ТО, ДКК	116
Экономические потери, ДКК	129
Количество задержанных поездов, шт	124
Количество участков с TSR, шт	123
«Потеря» времени пассажиров, мин	127

План работ в 4 раза нарушает ресурсные ограничения. Все нарушения относятся к первым 10 годам прогнозного периода, что свидетельствует о высоком уровне изношенности ж.-д. инфраструктуры. Максимальное превышение составило 263%. При этом стоит отметить, что суммарные недисконтированные расходы, которые запланированы в этом периоде, достаточны для выполнения всех проектов согласно плану В. Это свидетельствует о необходимости осуществления более гибкой бюджетной политики в компании «Banedanmark», которая должна быть направлена на повышение эффективности расходования денежных средств, предназначенных для поддержания инфраструктуры в надлежащем состоянии.

Список литературы

1. Ковалев В.В., Волкова О.Н. Анализ хозяйственной деятельности предприятия. М.: ПБОЮЛ Гриженко Е.М., 2000. 424 с.
2. Петров Ю.Д., Купоров А.И., Шкурина Л.В. Планирование в структурных подразделениях железнодорожного транспорта. М.: Высш. образование, 2008. 340 с.
3. Петровец Ю.О. Об одной особенности организации проектов по обновлению железнодорожной инфраструктуры // Экономика и управление в XXI веке: сб. ст. II Междунар. науч. конф. / Центр научного знания «Логос». Ставрополь, 2012. С. 221 – 223.
4. Развитие железнодорожной сети в Германии и проектирование новых линий // Железные дороги мира. 2009. №2. С. 13-21.

5. Сигал И.Х., Иванова А.П. Введение в дискретное программирование: модели и вычислительные алгоритмы: учеб. пособие. Изд. 2-е, испр. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 240 с.

6. Федосеев В.В. и др. Экономико-математические методы и прикладные модели: учеб. пособие для вузов. М.: ЮНИТИ, 2000. 391 с.

7. Цыгичко В.Н. Руководителю – о принятии решений. 2-е изд. М.: ИНФРА-М, 1996. 272 с.

8. Шешукова Т.Г., Колесень Е.В. Экономический потенциал предприятия: сущность, компоненты, структура // Вестник Пермского университета. Сер. Экономика. 2011. Вып. 4(11). С. 118-127.

9. Экономика железнодорожного транспорта: учебник для вузов ж.-д. транспорта / Н.П. Терешина, В.Г. Галабурда, М.Ф. Трихунков и др.; под ред. Н.П. Терешиной, Б.М. Липидуса, М.Ф. Трихункова. М.: УМЦ ЖДТ, 2006. 801 с.

10. High speed to the north // Modern Railways. 2006. № 689. P. 42–51.

11. Mlinaric T.J., Pirnar M. Optimizing track infrastructure availability // Promet – Traffic&Transport. 2009. Vol. 21, №.2. P. 113–121.

12. Riessberger K. Key elements in the maintenance of high speed track // Railway Gazette International. 1989. Vol. 145, №.3. P. 147–149.

13. Stagl J. Federal Legislation and Regulation Article // Progressive Railroading. 2009. № 4. P. 12–14.

14. Tegelberg E. Infrastructure maintenance under privatization // European Railway Review. 2006. № 3. P. 72–76.

15. White paper. European transport policy for 2010: time to decide. Office for official public publications of the European communities, 2001. 370 p.