

УДК 656.062:625.7/8

ПРИМЕНЕНИЕ СТРАТЕГИИ НАПРАВЛЕННОГО ПОИСКА ВАРИАНТА РЕКОНСТРУКЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

THE USE OF A DIRECTED SEARCH STRATEGY OPTIONS FOR THE RECONSTRUCTION OF ROADS

Р. Б. Ивуть,
заведующий кафедрой «Экономика и логистика» БНТУ, д-р экон. наук, профессор

R. Ivut

А. Ф. Зубрицкий,
директор ГУ «БелИСА»

A. Zubritsky

И. М. Царенкова,
доцент кафедры «СЭД» УО «БелГУТ», канд. экон. наук, доцент

I. Tsarenkova

Дата поступления в редакцию — 21.05.2015 г.

Для повышения безопасности дорожного движения и скоростей движущихся автомобилей, развития сети автомобильных дорог и увеличения их провозной способности разработана методика выбора рационального варианта реконструкции автомобильных дорог, позволяющая из множества комбинаций выбирать интервал неопределенности в порядке, соответствующем числам Фибоначчи, в пределах которого осуществляется проведение некоторого числа вариантов расчета с дальнейшим уменьшением интервала неопределенности до выявления оптимального решения.

To improve road safety and speed of moving vehicles, development of the road network and increase their capacity to develop a methodology of rational choice variant of reconstruction of roads, allow-composed of many combinations to choose an uncertainty in the order corresponding to the Fibonacci numbers within which is conducting a number of variants of calculation with a further reduction of the interval of uncertainty to the identification of optimal management decisions.

Введение. Учитывая заинтересованность Беларуси в укреплении партнерства с сопредельными государствами по развитию транспортной инфраструктуры, в стране проводится активная работа по модернизации участков автомобильных дорог на направлениях международных транспортных коридоров. Практически завершена работа по реконструкции республиканской автомобильной дороги М-5 Минск — Гомель по параметрам I категории с применением самых современных технологий и соблюдением норм и стандартов, аналогичных

действующим в ЕС. Реконструкция осуществляется за счет финансирования из нескольких источников: кредиты Всемирного банка и Эксим-банка КНР. В результате автомобильная дорога будет полностью отвечать требованиям международного транспортного коридора.

Выполненный анализ физических показателей развития дорожного хозяйства показывает, что в последние годы объемы работ по реконструкции автомобильных дорог превышают аналогичные показатели капитального ремонта (рис. 1).

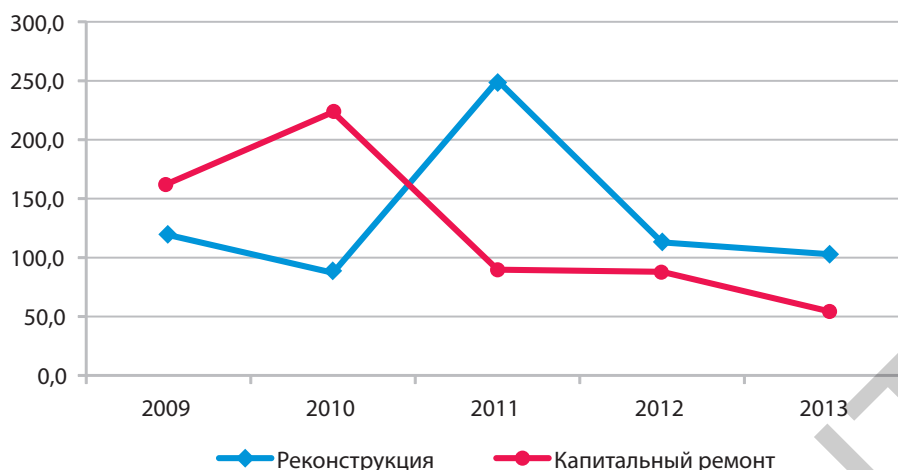


Рис. 1. Выполненные объемы работ по реконструкции и капитальному ремонту автомобильных дорог в физическом выражении (км)

Сложившаяся динамика распределения объемов работ по дорогам республиканского и местного значения (рис. 2) свидетельствует о смене приоритетов в распределении средств, начиная с 2009 г., в сторону модернизации республиканских автомобильных дорог (рис. 3).

Для повышения транзитной привлекательности страны необходимо продолжать работу по доведению параметров автомобильных дорог на стратегически важных направлениях до требований международных стандартов.

Постановка задачи. Значительные размеры сети автомобильных дорог, большое разнообразие технического оснащения ее звеньев, различная

степень загруженности направлений при неодинаковой структуре и темпах роста грузо- и пассажиропотоков на них, наличие взаимодействующих параллельных ходов, тесная взаимосвязь с другими видами транспорта обуславливают сложность прогнозирования оптимального развития сети. Поэтому выработан подход к оптимизации развития сети автомобильных дорог, предполагающий вначале решение принципиальных вопросов стратегии усиления сети, затем — решение сетевой задачи на направлениях и разработку комплекса мероприятий по увеличению пропускной и провозной способности отдельных участков.

При делении автомобильной дороги на участки можно исходить из условия превышения



Рис. 2. Ввод в действие автомобильных дорог (км)

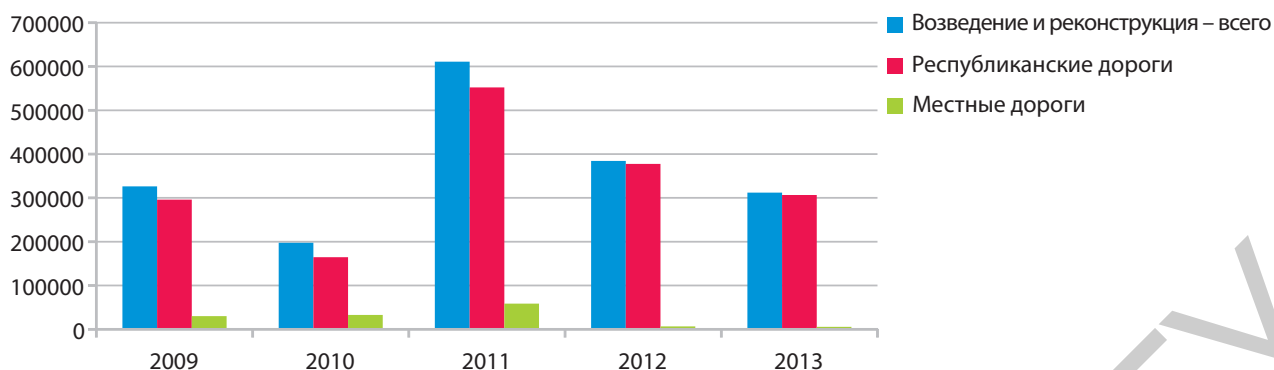


Рис. 3. Объемы выполненных работ по возведению и реконструкции автомобильных дорог в сопоставимых ценах (млн руб.)

суммарной интенсивности движения. Анализ транспортного баланса экономических районов, выполненный на основе статических материалов, показал, что данное условие выполняется в случае деления сети по границам экономических районов. Это позволяет принимать за расчетный полигон сеть автомобильных дорог экономического района.

Решение задачи выбора оптимальной схемы реконструкции автомобильной дороги сводится к определению такой совокупности реконструктивно-строительных мероприятий на каждый расчетный год t по звеньям (i, j) дороги и такого распределения грузопотоков по ним, при которых сумма дисконтированных затрат на перевозку всего объема грузов и на усиление звеньев и узлов полигона была бы минимальной.

Анализ принципиальных решений, полученных при оптимизации реконструкции, позволяет перейти к задаче усиления конкретных автомобильных дорог. После анализа разрабатываются рекомендации по развитию отдельных участков автомобильных дорог с учетом повышения эффективности использования существующих дорог.

Особенности оптимизации проектных решений. Анализ исследований, посвященных выбору рациональных вариантов реконструкции, позволяет выявить два принципиально различных подхода к решению задачи — выбор наилучшего решения из множества предварительно сформированных вариантов усиления сети и «безвариантная» постановка, заключающаяся в определении оптимального технического состояния элементов сети.

Если расчеты выполняются для ближайших лет функционирования сети, когда исходная информация детерминирована, целесообразно использовать детерминированные модели и методы. В случае расчетов с учетом дальней перспективы, когда данные о размерах перевозок, их структуре, стоимостных оценках реконструкции, нормах эксплуатационных расходов по содержанию постоянных устройств и организации перевозок и другое носят стохастический характер, значительно повышается роль вероятностных моделей и стохастических методов расчета.

Для упрощения решения задач при многомерном поиске рекомендуется представлять выражение критерия в виде функции, в которой независимые переменные не были бы взаимно связаны.

Например, при поиске оптимального решения проектной задачи с трехэтапными капитальными вложениями критерий представляется в виде (1):

$$\mathcal{E}_n = K_0 + \sum_1^{t_1} C_1(t) \eta_t + K_1 \eta_{t_1} + \sum_{t_1+1}^{t_2} C_2(t) \eta_t + K_2 \eta_{t_2} + \sum_{t_2+1}^T C_3(t) \eta_t,$$

где K_0, K_1, K_2 — инвестиционные вложения соответственно в первом, t_{1+1} и t_{2+1} годах; C_1, C_2, C_3 — текущие затраты (эксплуатационные расходы) соответственно в первом, t_{1+1} и t_{2+1} годах; t, t_{1+1}, t_2, t_{2+1} — шаг расчета в пределах расчетного периода; T — расчетный период; η_t — коэффициент дисконтирования.

В этом случае все переменные через сроки t_1, t_2 взаимно связаны и поиск оптимума хотя и возможен, но осуществляется более сложно, так как изменение t_1 влечет за собой

изменение не только $\sum_1^{t_1} C_1(t)\eta_t$, но и $K_1\eta_{t_1}$, $\sum_1^{t_2} C_2(t)\eta_t$, а изменение t_2 вызывает изменение как $\sum_1^{t_2} C_2(t)\eta_t$, так и $K_2\eta_{t_2}$, $\sum_1^{t_3} C_3(t)\eta_t$.

Если же к выражению (1) прибавить разность сумм:

$$\sum_1^{t_1} C_1(t)\eta_t - \sum_1^{t_1} C_2(t)\eta_t + \sum_1^{t_2} C_2(t)\eta_t - \sum_1^{t_2} C_3(t)\eta_t,$$

то количественно значение критерия не изменится, но примет вид:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_\Pi = & K_0 + \left\{ K_1\eta_{t_1} + \sum_1^{t_1} [(C_1(t) - C_2(t))\eta_t] \right\} + \\ & + \left\{ K_2\eta_{t_2} + \sum_1^{t_2} [(C_2(t) - C_3(t))\eta_t] \right\} + \sum_1^T C_3(t)\eta_t. \end{aligned}$$

В правой части этого выражения управляемые переменные сохранены, но без взаимных связей. Обозначая:

$$P_{12} = K_1\eta_{t_1} + \sum_1^{t_1} [C_1(t) - C_2(t)]\eta_t = f(t_1);$$

$$P_{23} = K_2\eta_{t_2} + \sum_1^{t_2} [C_2(t) - C_3(t)]\eta_t = f(t_2),$$

получим:

$$\mathcal{E}_\Pi = K_0 + P_{12} + P_{23} + \sum_1^T C_3(t)\eta_t. \quad (2)$$

Экстремальное значение этого критерия может быть найдено определением экстремумов P_{12} и P_{23} независимо друг от друга, что значительно упрощает решение задачи. P_{12} и P_{23} — критерии переходов.

Методика выбора рационального варианта реконструкции автомобильной дороги. Возможным инструментом оптимизации перспективного развития полигонов сети является метод статического моделирования, сущность которого для рассматриваемого случая заключается в том, что процесс функционирования сети имитируется компьютерной программой. Математическая модель процесса функционирования полигона, реализуемая на ПЭВМ, позволяет по заданным или определяемым в процессе оптимизации параметрам развития элементов сети выявить наиболее рационально решение.

Стохастический вариант развития полигона определяется случайным порядком удовлетво-

рения транспортно-экономических связей между поставщиками и потребителями. Случайную величину N_j — порядковый номер удовлетворения очередной транспортно-экономической связи, равномерно распределенную в интервале $[m_0, m_k]$, получают по формуле:

$$N_j = E [\xi_i (\sum m_k - 1)] + 1, \quad (3)$$

где $E[]$ — символ части числа; ξ_i — случайная величина, равномерно распределенная в интервале от 0 до 1; m_0, m_k — начальный и конечный номера связей; $\sum m_k$ — общее число транспортно-экономических связей на сети дорог.

Необходимое число случайных проб N_c для отыскания наилучшего решения с заданной надежностью определяется по формуле:

$$N_c = \lg(1 - P) / \lg(1 - \alpha), \quad (4)$$

где P — заданная вероятность отыскания наилучшего варианта; α — вероятность отыскания оптимума при одном испытании.

Расчеты показывают, что в зависимости от размеров сети автомобильных дорог и плотности транспортных связей можно принимать $0,80 < P < 0,95$ и $0,025 < \alpha < 0,40$. Для уменьшения необходимого числа случайных проб целесообразно использовать закон распределения функционала цепи. При известном законе распределения этого показателя на основе статистического анализа N_c проб, вычисляемого по формуле:

$$N_c' = \alpha q \chi^2 / \varepsilon^2, \quad (5)$$

определяется предельное значение целевой функции $[\mathcal{E}_\Pi]$, до получения которой следует проводить расчеты.

В формуле (5) $q = 1 - \alpha$; χ — величина, определяемая по таблицам значений интервала вероятности в зависимости от степени надежности $P(\chi)$; ε — показатель точности поиска решения.

Если, например, $\varepsilon = 0,05$; $\alpha = 0,025$; $q = 0,975$, а $\chi = 1,96$ при $P(\chi) = 0,95$, то $N_c' = 37$, то есть статистический анализ должен быть выполнен на основе выборки объемов не менее 37 вариантов.

Исследования показали, что экстремальные значения целевой функции (чистый дисконтированный доход (ЧДД) или модифицированные дисконтированные строительно-эксплуатационные

затраты) для стохастических вариантов развития автомобильных дорог подчиняются логарифмически нормальному закону распределения. Тогда:

$$\lg[\Theta_{II}] = \sigma_{\Theta} \arg\Phi^*(\alpha) + M(\lg\Theta_{II}), \quad (6)$$

где σ_{Θ} — среднее квадратическое отклонение величины $\lg[\Theta_{II}]$; $\arg\Phi^*(\alpha)$ — обратная величина нормальной функции распределения $\lg[\Theta_{II}]$; $M(\lg\Theta_{II})$ — математическое ожидание случайной величины $\lg[\Theta_{II}]$.

Значение параметров $M(\lg\Theta_{II})$ и σ_{Θ} в формуле (4) определяются на основе статистического анализа N_c испытаний.

При известном значении $[\Theta_{II}]$ статистические испытания продолжаются до выполнения условия:

$$\begin{aligned} N_c^* &\leq N_c \text{ при } \Theta_{II(j)} \leq [\Theta_{II}]; \\ N_c^* &= N_c \text{ при } \Theta_{II(j)} > [\Theta_{II}], \end{aligned} \quad (7)$$

где $\Theta_{II(j)}$ — значение дисконтированных затрат j -й пробы; N_c^* — выполненное число случайных испытаний.

Значение $[\Theta_{II}]$ уточняется по мере увеличения числа проб сети автомобильных дорог.

Значительного уменьшения числа статистических испытаний при известном законе распределения показателя оптимизации можно добиться за счет определения величин $M(\lg\Theta_{II})$ и σ_{Θ} в формуле (6) с помощью их доверительных интервалов, устанавливаемых при малом ($N_c < 30$) числе проб [1].

Все методы решения задач с применением направленного поиска сводятся к установлению первоначального интервала неопределенности, проведению некоторого числа опытов в пределах этого интервала, сопоставлению результатов этих опытов и на основании этого к выявлению нового (сокращенного) интервала неопределенности, в пределах которого осуществляется новая группа опытов и производится дальнейшее уменьшение интервала неопределенности, и так до тех пор, пока не будет выявлено окончательное оптимальное решение.

Для определения необходимой последовательности производства экспериментов в математике используются различные методы: метод дихотомии, метод Фибоначчи, «золотого сечения», поиск по дискретным точкам [2].

Метод Фибоначчи может быть с достаточной эффективностью применен для выявления оптимума при решении ряда проектных задач. Метод основан на производстве экспериментов для последовательного уменьшения интервала неопределенности в порядке, соответствующем числам Фибоначчи.

Числа Фибоначчи образованы так, что каждое последующее число (кроме нулевого и первого) равно сумме двух предшествующих. Если обозначить число Фибоначчи F_k , где k соответствует порядковому номеру числа, то:

$$F_0 = F_1 = 1; F_k = F_{k-1} + F_{k-2}; k = 2, 3, 4, 5 \dots$$

Для k от нуля до 9 эти числа приведены ниже:

K	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F_k	1	1	2	3	5	8	13	21	34	55

Применение этих чисел позволяет существенно сократить интервал неопределенности. Так, если для выявления какого-либо оптимального значения при стратегии пассивного поиска необходимо осуществить 55 экспериментов, то это соответствует числу Фибоначчи F_9 , и при последовательном поиске в направлении к F_1 найти это оптимальное значение можно, осуществив всего лишь 9 экспериментов.

Например, требуется составить программу работ по реконструкции автомобильной дороги. Реконструкция дороги или отдельных ее участков предусматривает:

- улучшение плана и продольного профиля — спрямление извилистых участков, увеличение радиуса кривых, устройство виражей, уширений и переходных кривых, смягчение крутых продольных уклонов, обеспечение видимости, постройку дополнительных полос проезжей части для движения на подъем грузовых автомобилей;

- устройство пересечений в разных уровнях с железными и автомобильными дорогами или улучшение конструкции пересечений в одном уровне путем устройства направляющих островков;

- строительство обходов населенных пунктов;
- уширение земляного полотна и проезжей части;

- усиление дорожной одежды, устройство краевых полос;

- усиление земляного полотна для повышения его устойчивости;
- переустройство искусственных сооружений в соответствии с новыми габаритами и нагрузками [3].

Выявлено 55 участков реконструкции общей длиной 300 км. Сформировано 55 вариантов комбинаций участков, имеющих различное расположение. Ставится задача выбора оптимального сочетания участков реконструкции. Если длина определяется с точностью до 1 км, то в этом случае первоначальный интервал неопределенности можно считать равным 55 и при стратегии пассивного поиска следовало бы осуществить 55 экспериментов (вариантов проектирования). Установлено, что в этом интервале критерий дисконтированных строительно-эксплуатационных расходов \mathcal{E}_{np} представляет собой унимодальную функцию.

Дисконтированные строительно-эксплуатационные расходы (\mathcal{E}_{np}) используются как показатель сравнения вариантов, имеющих одинаковый объем оказанных услуг или реализованной продукции (в стоимостной форме).

Дисконтированные строительно-эксплуатационные затраты в этом случае рассчитываются по формуле:

$$\mathcal{E}_{np} = \sum_{t=0}^{T_p} K_t \eta_t + (1-\gamma) \sum_{t=0}^{T_p} C_t \eta_t, \quad (8)$$

где K_t — инвестиционные вложения в t -ом году; C_t — текущие затраты по производству строительно-монтажных работ или эксплуатационные расходы в t -м году; γ — доля налоговых отчислений от прибыли; T_p — расчетный период (горизонт расчета) в годах, t — номер шага расчета.

Число 55 соответствует числу Фибоначчи F_9 , которое получено как $F_9 = F_8 + F_7$ при $F_8=34$ и $F_7=21$. При направленном поиске, используя числа Фибоначчи, намечается первая группа вариантов расчета, соответствующая длине участков реконструкции 34 и 21 км (два варианта). При этих длинах участков определяются критерии \mathcal{E}_{34} и \mathcal{E}_{21} .

Исходя из унимодальной функции и так как $\mathcal{E}_{21} > \mathcal{E}_{34}$, то искомый минимум расположен правее точки 21 и может находиться в интервале между точками 21 и 34 или 34 и 55, но не может быть в интервале между точками 1–21 (рис. 4). Интервал 1–21 исключается из дальнейшего расчета.

Наоборот, если $\mathcal{E}_{21} < \mathcal{E}_{34}$, то исключается интервал от 34 до 55. В результате двух экспериментов интервал неопределенности сократился до 21.

Допустим, что $\mathcal{E}_{21} > \mathcal{E}_{34}$. При этом переносится начало координат в точку 21. Новый интервал неопределенности равный 34 соответствует числу Фибоначчи $F_8 = F_7 + F_6$ при $F_7=21$ и $F_6=13$. Следовательно, варианты реконструкции участков автомобильных дорог назначаются в точках 21 и 13, что соответствует участкам 34 км (этот вариант был обсчитан ранее) и 42 км. Определяется \mathcal{E}_{42} и сравнивается с \mathcal{E}_{34} . Так как $\mathcal{E}_{34} > \mathcal{E}_{42}$, то экстремум находится правее, точки 34 и интервал до точки 34 (в старой нумерации) исключается.

Новый интервал неопределенности $55 - 34 = 21$ соответствует числу Фибоначчи F_7 , $F_7 = F_6 + F_5$ при $F_6=13$ и $F_5=8$, в котором дополнительный эксперимент назначается для варианта 47 км.

При $\mathcal{E}_{42} > \mathcal{E}_{47}$ выявляется новый интервал неопределенности ($55 - 42$) равный 13, что соответствует числу Фибоначчи F_6 , $F_6 = F_5 + F_4$ при $F_5=8$ и $F_4=5$, в котором дополнительный эксперимент назначается для варианта 52 км.

При $\mathcal{E}_{47} > \mathcal{E}_{52}$ выявляется новый интервал неопределенности равный $(55 - 47) = 8$, что соответствует числу Фибоначчи F_5 , $F_5 = F_4 + F_3$ при $F_4=5$ и $F_3=3$, в котором дополнительный эксперимент назначается для варианта 53 км. Интервал неопределенности сократился до $(55 - 52) = 3$.

При $\mathcal{E}_{52} > \mathcal{E}_{53}$ выявляется новый интервал неопределенности соответствующий $(55 - 53) = 2$.

Приведенный на рис. 4 случай соответствует выявлению минимума критерия при наибольшей длине участка реконструкции. Общее число экспериментов при решении данной задачи с использованием чисел Фибоначчи сокращается до 9, что наглядно показано на рис. 4, где черные кружки — эксперименты в предшествующем интервале неопределенности, а окружности — в рассматриваемом интервале.

Заключение.

1. Анализ принципиальных решений, полученных при оптимизации реконструкции, позволяет перейти к задаче усиления конкретных автомобильных дорог. После анализа разрабатываются рекомендации по развитию отдельных участков автомобильных дорог с учетом повышения эффективности использования существующих дорог.

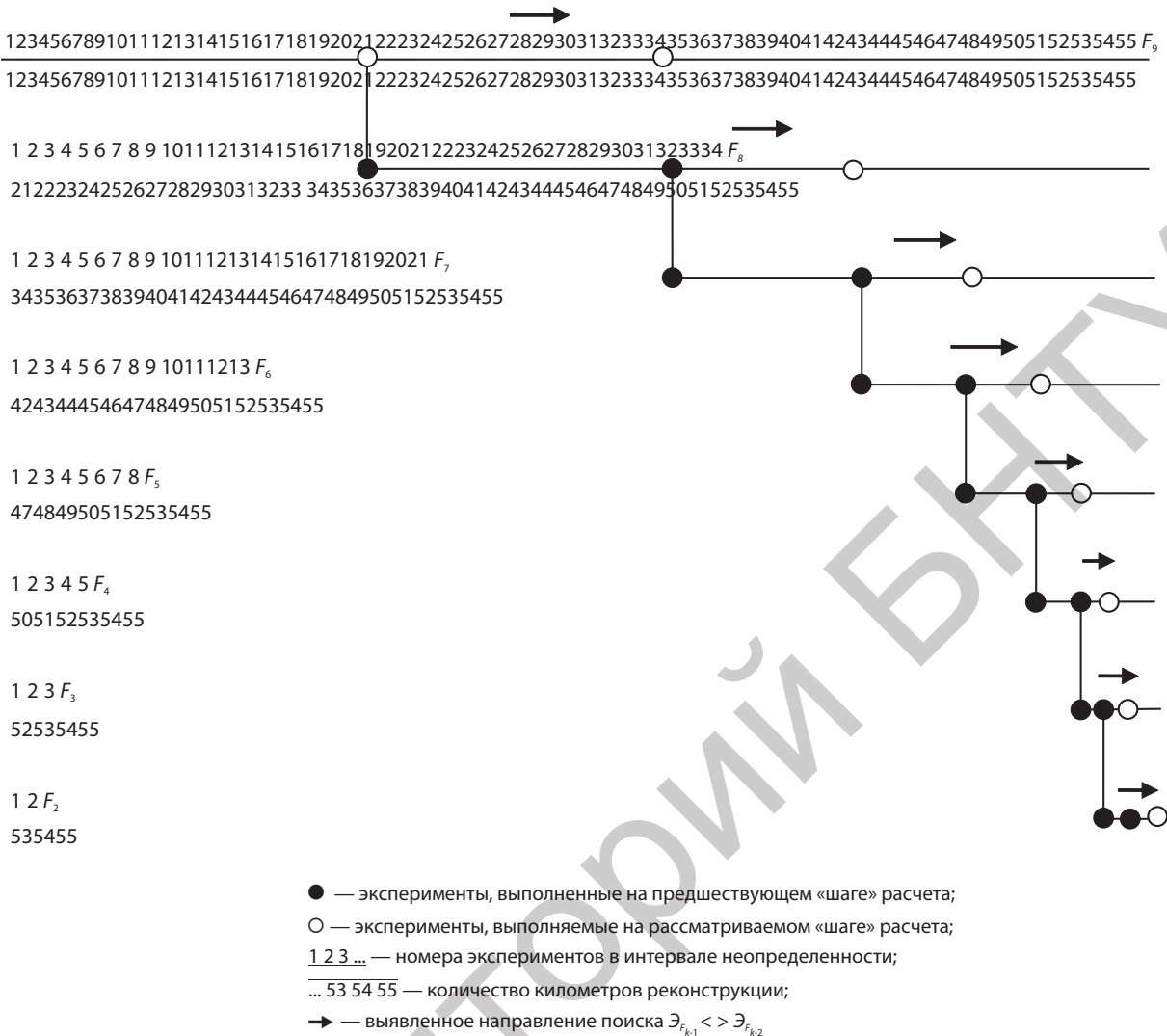


Рис. 4. Последовательность поиска числами Фибоначчи

2. Анализ исследований, посвященных выбору рациональных вариантов реконструкции, позволяет выявить два принципиально различных подхода к решению задачи — выбор наилучшего решения из множества предварительно сформированных вариантов усиления сети и «безвариантная» постановка, заключающаяся в определении оптимального технического состояния элементов сети.

3. Разработана методика выбора рациональных вариантов реконструкции автомобильных дорог, позволяющая из множества рассматриваемых вариантов уменьшать интервал неопределенности с использованием чисел Фибоначчи и дающая достаточную для практических целей точность расчетов.

Литература:

1. Турбин, И. В., Гавриленков, А. В., Кантор, И. И. Изыскания и проектирование железных дорог: учебник для вузов / И. В. Турбин, А. А. Гавриленков, И. И. Кантор и др.; под общ. ред. И. В. Турбина. — М.: Транспорт, 1989. — 479 с.
2. Гурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие / В. Е. Гурман. — М.: Высшая школа, 1972. — 368 с.
3. Автомобильные дороги. Классификация и состав работ по строительству, реконструкции и капитальному ремонту = Аўтамабільныя дарогі. Класіфікацыя і склад работ па будаўніцтву, рэканструкцыі і капітальнаму рамонту: ТКП 068-2007 (02191) — Введ. 01.06.07. — Минск: Мин-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, 2007. — 7 с.

«Новости науки и технологий» № 2 (33) 2015