

МЕТОДИКА ВЫБОРА ТРАССЫ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ГОРНОЙ ЛАВИНООПАСНОЙ МЕСТНОСТИ

Г. Ы. Токтошов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,
630090, Новосибирск, Россия

УДК 519.6:624.9:625.7

Предложена методика выбора трассы для прокладки сети автомобильных дорог в условиях высокогорья с лавиноопасной обстановкой. Рассматривается гиперсетевой подход к проектированию автомобильных дорог, в котором предполагается, что лавинная опасность данного участка должна быть оценена на уровне первичной сети.

Ключевые слова: автомобильная дорога, трасса, граф, гиперсеть, снежная лавина, сетка.

In this paper in highlands with high avalanche situation, track selection methodology for laying of the road network is proposed. Hypernetwork approach to the optimization of roads network is considered.

Key words: road, track, graph, hypernetwork, avalanche, grid.

Введение. В настоящее время большое значение приобретает строительство новых и реконструкция существующих автомобильных дорог в горной местности. Это обусловлено тем, что в горной местности автомобили (легковые, грузовые, пассажирские и т. д.) являются основным видом транспорта, им принадлежит ведущая роль в своевременном удовлетворении потребностей современного общества. Вместе с тем значительные по протяженности автомобильные дороги в горной местности, на которые приходится основная доля перевозок, подвержены воздействию опасных природных явлений, таких как лавины, селевые потоки, оползни, камнепады и т. п. Вследствие сложности рельефа, климата и геологического строения горной местности в зимний период снежные лавины более опасны для автомобильных дорог, чем другие экзогенные и гидрометеорологические процессы, в силу их масштабности, повторяемости и широкой распространенности [1].

Поскольку воздействие снежных лавин на автомобильные дороги имеет ряд особенностей, целесообразность их строительства и эксплуатации на соответствующих участках местности может быть определена на ранних этапах проектирования. Как показывает практика, именно на ранних стадиях проектирования вследствие недоучета степени риска от схода снежных лавин возникают системные ошибки в выборе трассы автомобильных дорог, что приводит к необходимости либо применения дорогостоящих методов инженерной защиты, либо перетрассировки из-за невозможности строительства и эксплуатации.

Таким образом, при проектировании и строительстве автомобильных дорог в горных районах необходимо максимально точно определять границы лавиноопасных зон и выбирать места размещения инфраструктуры автомобильных дорог. Строительство дороги в лавиноопасной зоне, как правило, недопустимо, поскольку снежные лавины нарушают основные условия эксплуатации на горных участках — безопасность и бесперебойность движения.

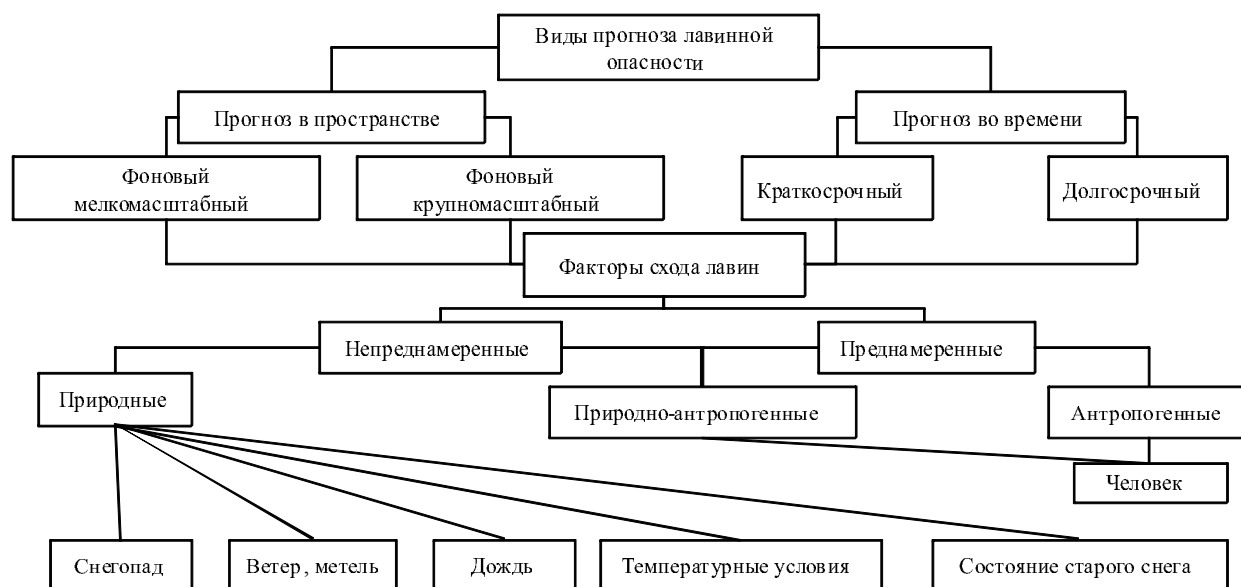


Рис. 1. Виды прогноза и факторы схода лавин

Поэтому безопасность грузо- и пассажиропотоков, капиталовложения в строящиеся дороги в лавиноопасных районах, условия эксплуатации и экономическая эффективность автомобильных дорог существенно зависят от результатов решения ряда инженерных задач.

1. Методы прогноза лавинной опасности. Снежные лавины — одно из наиболее распространенных опасных природных явлений, оказывающих негативное влияние на производственно-хозяйственную деятельность в горных районах. Почти все горные системы подвержены лавинной опасности. Таким образом, при проектировании, строительстве и эксплуатации автомобильных дорог в горной местности необходима информация о лавиноопасности данного участка для учета и прогнозирования наиболее вероятных причин формирования и обрушения снежных лавин. Лавинный прогноз предполагает заблаговременное определение для данного участка некоторого временного интервала, в течение которого снегонакопление и процессы метаморфизма могут привести к нарушению устойчивости снежного покрова и образованию лавин. Прогноз лавинной опасности в общем виде включает указание места и времени схода лавин. На начальном этапе изучения лавин на определенной территории необходимо выявить места возможного схода лавин, рассчитать их параметры, определить лавинный режим. С этой целью используются материалы снеголавинных наблюдений, косвенные признаки лавинной опасности, статистические зависимости, математические модели, изучаются архивы и проводятся опросы местных жителей. Согласно [2] в настоящее время применяются следующие виды прогнозов лавинной опасности:

- по охвату территории: локальный (для отдельного лавинного очага или группы таких очагов) или фоновый (для горного региона или совокупности регионов);
- по времени: краткосрочный или долгосрочный (рис. 1).

В [3] предложена методика определения причин схода снежных лавин, основанная на построении расчетной таблицы с использованием исходных данных. Согласно работам [2, 3] в качестве факторов, влияющих на возникновение и сход снежных лавин, можно выделить следующие:

- угол (крутизна) склона;
- толщина снежного покрова и ее изменение;
- скорость ветра;

- дождь, снег и их интенсивность;
- температура воздуха;
- землетрясения;
- внутреннее строение снежного покрова и т. д.

В зависимости от указанных параметров заданный участок оценивается как нелавиноопасный, лавиноопасный и исключительно лавиноопасный. Следует отметить, что влияние на процесс лавинообразования оказывают не только указанные выше факторы, но и их сочетание.

2. Математические модели сети автомобильных дорог. Структура сети автомобильных дорог должна рассматриваться как взаимодействия подсистем земельный участок — автомобильная дорога, поскольку в основе решения задачи прокладки автомобильной дороги лежит проблема взаимодействия автодорог и окружающей среды. В настоящей работе предложена идея разделения структуры сети автомобильной дороги на первичную и вторичную сети. Для этого целесообразно использовать гиперсеть [4], описывающую взаимодействие подсистем земельный участок — автомобильная дорога как единый объект исследования. При этом в качестве первичной сети принимается цифровая модель местности (ЦММ), построенная на основе сеточной технологии, а в качестве вторичной — конфигурация сети автомобильных дорог.

3. Первичная сеть. Цифровая модель местности. В большинстве случаев выбор трассы автомобильных дорог осуществляется на основе ЦММ. Это позволяет быстро и качественно решить большое количество проблем (проектирование в плане и профиле, проектирование системы водоотвода, расчет объемов земляных работ и т. д.) [5]. С использованием имеющихся топографических, цифровых и электронных карт, материалов аэроизысканий прошлых лет, материалов изысканий, выполненных на предшествующих стадиях проектирования, а также результатов воздушных обследований строится предварительная ЦММ, которая охватывает заведомо бóльшую территорию, чем требуется для определения наилучшего направления трассы.

При подготовке предварительной ЦММ и аналитического определения конкурирующих вариантов трассы из рассмотрения исключаются объекты и участки местности, через которые прохождение трассы автомобильной дороги заведомо нецелесообразно либо невозможно, а также устанавливаются фиксированные точки и направления, через которые трасса должна проходить.

Как правило, при построении ЦММ используется метод сеток, суть которого заключается в дискретизации территории варьирования конкурирующих вариантов трассы сеткой определенной конфигурации. Далее каждой ветви построенной сетки ставятся в соответствие количественные характеристики природных и ситуационных условий, влияющие на построение автомобильной дороги на соответствующем участке территории. На практике с этой целью используются как регулярные, так и нерегулярные типы сеток [6]. Выбранный тип сетки принимается в качестве первичной сети некоторой гиперсети S .

4. Вторичная сеть. В теории гиперсетей вторичная сеть определяется относительно первичной сети. Например, структура автомобильной дороги (дорожное покрытие — асфальт или грунтовая дорога) понимается в качестве вторичной сети относительно ЦММ. В свою очередь схемы правил дорожного движения (ПДД), регулируемые светофорами, дорожными разметками и знаками и т. д., понимаются как вторичная сеть относительно структуры автомобильной дороги. Схема транспортного потока также образует вторичную сеть относительно схем ПДД. Таким образом, автомобильную дорогу в целом можно рас-



Рис. 2. Послойное представление построения сети автодорог

смаатривать как иерархическую гиперсеть [4], имеющую более двух различных образующих множеств и допускающую последовательную реализацию одной структуры в другую. Поэтому при построении первичной сети, на которой в дальнейшем будет реализована вторичная сеть, должны быть учтены все особенности области размещения (рис. 2).

5. Гиперсетевой подход. Таким образом, структура сети автомобильных дорог, как и других видов систем сетевой структуры, может рассматриваться как взаимодействие подсистем первичной и вторичной сетей некоторой гиперсети [4]. Для этого на основе сеточной технологии [6] строится ЦММ заданного участка, в которой особое внимание уделяется формированию и обрушению снежных лавин. На множестве узлов сеточной модели местности (ЦММ) строится граф, вершины которого соответствуют узлам этой сетки, а ребра — дугам. С использованием этой модели проводится поиск наиболее эффективного варианта трассы между заданными парами точек, и по ним реализуются (прокладываются) сети автомобильных дорог. Тем самым будет построена гиперсеть.

Определение. Гиперсеть $AS = (X, V, R; P, F, W)$ — математическая модель системы сетевой структуры (в том числе сети автомобильных дорог), включающая следующие объекты: $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ — множество вершин; $V = (v_1, v_2, \dots, v_g)$ — множество ветвей; $R = (r_1, r_2, \dots, r_m)$ — множество ребер; $P : V \rightarrow 2^X$ — отображение, ставящее в соответствие каждому элементу $v \in V$ множество $P(v) \subseteq X$ его вершин (тем самым отображение P определяет граф $PS = (X, V; P)$); $F : R \rightarrow 2^V_{PS}$ — отображение, ставящее в соответствие каждому элементу $r \in R$ множество ветвей $F(r)$. При этом семейство подмножеств ветвей 2^V_{PS} содержит такие подмножества, ветви которых составляют связную часть графа PS .

Отображение F определяет гиперграф $FS = (V, R; F)$; $W : r \rightarrow 2^{P(F(r))} \forall r \in R$ — отображение, ставящее в соответствие каждому элементу $r \in R$ подмножество $W(r) \subseteq P(F(r))$ его вершин ($P(F(r))$ — множество вершин PS , инцидентных ветвям $F(r) \subseteq V$). Отображение W определяет граф $WS = (X, R; W)$. Таким образом, граф PS будем называть первичной сетью абстрактной гиперсети AS , а граф WS — вторичной сетью.

Из определения абстрактной гиперсети следует, что в данном случае математическая модель области размещения описывается первичной сетью $PS = (X, V; P)$, конфигурация

сети автомобильных дорог — вторичной сетью $WS = (X, R; W)$, а взаимодействия этих структур — гиперсетью $AS = (X, V, R)$.

Очевидно, что существование элементов первичной и вторичной сетей в рассматриваемом случае (в зимний период) зависит от указанных выше факторов, влияющих на возникновение и сход снежных лавин на данном участке. Сеть автомобильных дорог должна моделироваться нестационарной гиперсетью, т. е. $AS(\tau) = (X(\tau), V(\tau), R(\tau))$, где $\tau \in [0, T]$ — интервал времени.

Далее поиск эффективного варианта трассы для сети автомобильных дорог на заданной территории осуществляется следующим образом:

— с помощью методики, предложенной в [3], прогнозируются наиболее вероятные причины формирования и обрушения снежных лавин на данном участке на период $\tau = [0, t]$, где $[0, t] \subset [0, T]$;

— если участок для данного периода считается нелавинноопасным, то существование элементов гиперсети не зависит от времени, поэтому строится гиперсеть $AS = (X, V, R)$;

— если участок является лавинноопасным или исключительно лавинноопасным, то существование элементов гиперсети на данном участке зависит от некоторого интервала времени $\tau = [0, t]$, поэтому строится гиперсеть $AS(\tau) = (X(\tau), V(\tau), R(\tau))$.

Заключение. Таким образом, для выявления экономической эффективности и технической возможности построения сети автомобильных дорог на данном участке необходимо сначала оценить его лавинноопасность. Предварительная оценка лавинноопасных участков на ранних стадиях проектирования позволяет значительно уменьшить финансовые затраты, так как в случае эффективного выбора направления трассы автомобильных дорог в период эксплуатации дополнительные затраты на восстановление и построение дополнительных защитных инженерных сооружений будут сведены к минимуму.

Список литературы

1. СЕВЕРСКИЙ И. В. Оценка лавинной опасности горной территории / И. В. Северский, В. П. Благовещенский. Алма-Ата: Наука, 1983.
2. СЕЛИВЕРСТОВ Ю. Г. Методы прогноза лавинной опасности. [Электрон. ресурс]. http://www.geogr.msu.ru/avalanche/avalanches/prognoz_text.doc/odyframe.htm.
3. ЗИМИН М. И. Программа для оценки ситуации в лавинном очаге. [Электрон. ресурс]. http://www.swsys.ru/print/article_print.php?id=2462.
4. ПОПКОВ В. К. Математические модели связности. 2-е изд. / Отв. ред. А. С. Алексеев. Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2006.
5. КОТОВ А. А. Автоматизация обработки и анализа интегрированных данных при изысканиях инженерных сооружений с распределенной структурой с применением геоинформационных технологий: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МАДИ, 2006.
6. ТОКТОШОВ Г. Ы. Сеточная аппроксимация элементов рельефа местности // Материалы Всерос. науч.-техн. конф. "Информатика и проблемы телекоммуникаций", Новосибирск, 27–28 апр. 2009 г. Новосибирск: СибГУТИ, 2009. Т. 1. С. 23–24.

*Токтошов Гүлжигит Ысакович — канд. техн. наук, мл. науч. сотр. Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН;
e-mail: tgi_tok@rambler.ru*

Дата поступления — 15.11.12