

### 3.4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Исраелян Р.Г., д.т.н., профессор

Арцахский государственный университет, Армения

[Перейти на ГЛАВНОЕ МЕНЮ](#)  
[Вернуться к СОДЕРЖАНИЮ](#)

Выполнена систематизация природно-климатических факторов горных условий, выявлены закономерности их развития. Разработана математическая модель, позволяющая оценить влияние факторов горных условий на продолжительность строительства.

Многолетний опыт строительства в Армении и Нагорном Карабахе, охватывающим часть территорий двух горных систем – Армянского нагорья и Большого Кавказского хребта – позволил заключить, что в существующем нормативном документе СНиП 1.04.03-85\* [1] отсутствуют четкие положения по учету влияния факторов горных условий на продолжительность строительства. Имеющаяся в этом документе оговорка о допустимости увеличения норм продолжительности строительства объектов в горных условиях с высоты 1500 м над уровнем моря не более чем на 50%, представляется недостаточно убедительной.

- Во-первых, применяемый здесь термин «горная местность» как бы исключает влияние на процессы строительства природно-климатических факторов горных условий, связанных между собой в единую целостную геосистему, способную изменять свое состояние во времени и пространстве.
- Во-вторых, как показывает практика строительства, влияние природно-климатических факторов горных условий проявляется на высотах и менее 1500 м, а в условиях высокогорья может превысить и 50%.
- В-третьих, при составлении проектов организации строительства нет возможности правильно учесть влияние факторов горных условий на процессы строительства ввиду отсутствия научных разработок по этому вопросу.

Таким образом, на высотах ниже 1500 м над уровнем моря в нормативных документах влияние факторов горных условий на процессы строительства вовсе не учитывается, а для высот выше 1500 м учитывается приближенно. Для восполнения этого пробела автором были выполнены исследования по отклонениям нормативных сроков строительства объектов жилищно-гражданского строительства на различных высотах горного рельефа в Армении и Нагорном Карабахе [2, 3, 4]. При этом установлено, что нормативная продолжительность строительства в горных условиях превышает за счет влияния двух групп факторов.

- Первая – нарушение сроков поставок материально-технических ресурсов, машин и механизмов; низкий уровень организации труда и производства строитель-

но-монтажных работ; неудовлетворительное качество проектов, поставляемых конструкций и выполняемых работ, сейсмичность районов строительства, твердые и каменистые грунты, выполнение строительных работ в определенные временные периоды, состояние дорожных покрытий (класс дороги) и т.д., влияние которых на процессы строительного производства проявляется вне зависимости от высоты строящихся объектов над уровнем моря.

- Вторая – изменение по мере роста высоты гор над уровнем моря радиусов закруглений и извилистости дорог, расстояний видимости, продольных уклонов, расчлененности рельефа районов строительства, оползне-обвальных процессов; физические эмоциональные перегрузки водителей; наличие разнообразных климатических поясов, ливней, селей, снежных заносов, туманов, каменных лавин, уменьшение содержания кислорода в воздухе и т.д. Влияние этих факторов на процессы строительного производства проявляется с высоты строящихся объектов 800 м и более над уровнем моря.

Количественная оценка степени влияния указанных факторов на продолжительность строительства в горных условиях была рассчитана нами методами математической статистики, обработкой данных о фактических сроках строительства более 160 объектов, в результате которой установлены:

- превышение нормативных сроков строительства за счет факторов первой группы носит постоянный характер, не зависит от высоты строящихся объектов над уровнем моря и выражается через

$$k_1 = 1,45; \tag{1}$$

- превышение нормативных сроков строительства за счет влияния факторов второй группы проявляется с высоты 800 м над уровнем моря и определяется:

$$K_2 = 0,618 + 4,810 * 10^{-4}h, \tag{2}$$

где  $h$  – высота строящихся объектов над уровнем моря, м.

Превышение нормативных сроков строительства объектов за счет совместного влияния факторов первой и второй групп определяется по выражению

$$k_{1,2} = 0.896 + 6.974 \times 10^{-4} h, \tag{3}$$

В табл. 1 приводятся значения коэффициентов превышения нормативных сроков строительства  $k_1$ ,  $k_2$  и  $k_{1,2}$  для горных условий.

Отметим, что географическое положение исследуемой территории обуславливает ее четко выраженную климатическую зональность от умеренного теплого (в равнинных, предгорных и средневысотных гипсометрических зонах) до умеренно холодного (в умеренно высоких и высоких гипсометрических зонах).

Для установления причинно-следственной связи отклонений нормативных сроков строительства нами выполнена систематизация природно-климатических факторов горных условий и выявлены закономерности их развития в пределах высот 800-2000 м над уровнем моря, которые приводятся ниже.

Таблица 1

#### ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРЕВЫШЕНИЯ НОРМАТИВНЫХ СРОКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА $k_1$ , $k_2$ И $k_{1,2}$ ДЛЯ ГОРНЫХ УСЛОВИЙ

Показатели	Высота над уровнем моря $h$ , м
------------	---------------------------------

	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
Коэффициент $k_1$	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45
Коэффициент $k_2$	1,0	1,10	1,19	1,29	1,38	1,48	1,58
Коэффициент $k_{1,2}$	1,45	1,59	1,73	1,87	2,00	2,14	2,29

*Первое.* Извилистость дорог и расчлененность рельефа – фактор  $X_{1,1}$ . Критерием оценки фактора является коэффициент, определяемый отношением фактической длины дороги между двумя пунктами к кратчайшей длине на плане местности. Значения коэффициента извилистости для различных высот горного рельефа  $h$  определяется:

$$X_{1,1} = 0.4604 + 1.411 \times 10^{-3} h \quad (4)$$

*Второе.* Сейсмичность – фактор  $x_{1,2}$ . Установлено, что с ростом высоты над уровнем моря наблюдается определенная тенденция к увеличению горизонтальных ускорений грунтов. Однако ярко выраженного характера их развития по вертикали не наблюдается, так как главным образом этот показатель зависит от геологических условий площадок строительства, которые в горных условиях отличаются большой разнотипностью.

*Третье.* Твердость грунтов, каменность (грунтовые условия) – факторы  $x_{1,3}, x_{1,4}$ . Выявлено, что геологическая структура поверхности исследуемых горных районов складывается из скальных и дисперсных грунтов, которые распространяются по всей территории независимо от высоты горного рельефа над уровнем моря.

*Четвертое.* Глубина промерзания грунтов – фактор  $x_{1,5}$ . Установлено, что различие физико-механических свойств разновидностей грунтов (водопроницаемость, структура, гранулометрический состав, водонасыщение, пористость и т.д.) приводит к некоторому разбросу величины наибольшей глубины промерзания грунтов и составляет 60-70 см. независимо от их высоты над уровнем моря.

*Пятое.* Обвально-оползневые процессы – фактор  $x_{1,6}$ . Выполненные исследования позволили заключить, что обвально-оползневые процессы в горных районах начинаются с высоты 600-800 м над уровнем моря. Наибольшая частота этих процессов наблюдается на высотах 800-1000 м над уровнем моря (34%), в то время как в пределах высот 1000-1600 м этот показатель составляет 9-13%. Закономерного развития обвально-оползневых процессов, по мере увеличения высоты не наблюдается.

*Шестое.* Атмосферные осадки – фактор  $x_{2,1}$ . Установлено, что количество осадков за апрель-июнь превышает среднемесячные показатели по сравнению с остальными месяцами года в два и более раза. Изменение среднегодового количества осадков в зависимости от высоты над уровнем моря определяется:

$$X_{2,1} = 33.56 + 472.56 \times 10^{-3} h - 80 \times 10^{-6} h^2, \text{ мм.} \quad (5)$$

*Седьмое.* Температура воздуха – фактор  $x_{2,2}$ . Выявлено, что среднегодовая температура воздуха до

высоты 800 м над уровнем моря имеет, как правило, плюсовое значение. На высотах 800-2000 м продолжительность времени с отрицательной температурой составляет 3-4 месяца, а выше 2000 м над уровнем моря – 5-8 месяцев. Изменение температуры воздуха в зависимости от высоты над уровнем моря имеет вид:

$$X_{2,2} = 18.557 - 7.091 \times 10^{-3} h, \text{ } ^\circ \text{C} . \quad (6)$$

*Восьмое.* Ветры – фактор  $x_{2,3}$ . С учетом выраженной направленности горно-долинных ветров установлена зависимость изменения по вертикали среднегодовой скорости ветра:

$$X_{2,3} = 0.8236 + 0.836 \times 10^{-3} h \text{ м/сек.} \quad (7)$$

*Девятое.* Барометрическое давление – фактор  $x_{2,4}$ . Закономерность изменения барометрического давления в зависимости от высоты, рассчитанная методами математической статистики, приводится ниже.

$$X_{2,4} = 1000 - 0.11 h + 0.41 \times 10^{-5} h^2, \text{ ГПа.} \quad (8)$$

*Десятое.* Число дней со снежным покровом – фактор  $x_{2,5}$ . Время сохранения устойчивого снежного покрова в горных районах зависит от высоты, формы рельефа и экспозиции склонов и имеет вид:

$$X_{2,5} = 81.689 - 118.631 \times 10^{-3} h + 75.128 \times 10^{-6} h^2, \text{ дни.} \quad (9)$$

*Одиннадцатое.* Влажность воздуха – фактор  $x_{2,6}$ . В зависимости от времени года относительная влажность воздуха в горных районах отличается как по величине, так и по характеру распределения.

Изменение среднегодовой относительной влажности воздуха в горных условиях имеет вид:

$$X_{2,6} = 60.68 + 4.45 \times 10^{-3} h, \% \quad (10)$$

*Двенадцатое.* Солнечная радиация – фактор  $x_{2,7}$ . Количество солнечной радиации, поступающей на конкретную поверхность в горных районах, зависит от высоты местности и определяется колебаниями солнечного сияния в течение светового дня и законом косинуса. В этом случае плотность потока наиболее велика на поверхности склона, нормальной к направлению излучения, и сокращается пропорционально косинусу угла падения.

Установлено, что распределение солнечной энергии в горных условиях убывает по вертикали вниз с коэффициентом ослабления от 0,2 до 0,7 и зависит от экспозиции склонов. С учетом сложного характера распределения туманов локальные колебания солнечной радиации носят вероятностный характер.

*Тринадцатое.* Число дней с туманом – фактор  $x_{2,8}$ . Распределение туманов на территории имеет сложный характер и значительную повторяемость, не имеет закономерного развития по вертикали.

Для проверки достоверности полученных результатов был проведен многофакторный регрессионный анализ. Оценки адекватности и достоверности полученных результатов приняты по критериям Стьюдента, Фишера и Дарвина-Уотсона. Выполненный ана-

лиз подтвердил достоверность полученных результатов [5].

Коэффициент увеличения нормативной продолжительности строительства  $K^h$  в зависимости от изменения природно-климатических факторов горных условий относительно высоты 800 м над уровнем моря можно также представить в виде многофакторной модели.

$$K^h = 1.45 + 0.250 \times \delta_{1,1}^h + 0.222 \times \delta_{2,1}^h + 0.186 \times \delta_{2,2}^h + 0.113 \times \delta_{2,3}^h + 0.133 \times \delta_{2,4}^h + 0.059 \times \delta_{2,5}^h + 0.037 \times \delta_{2,6}^h \quad (11)$$

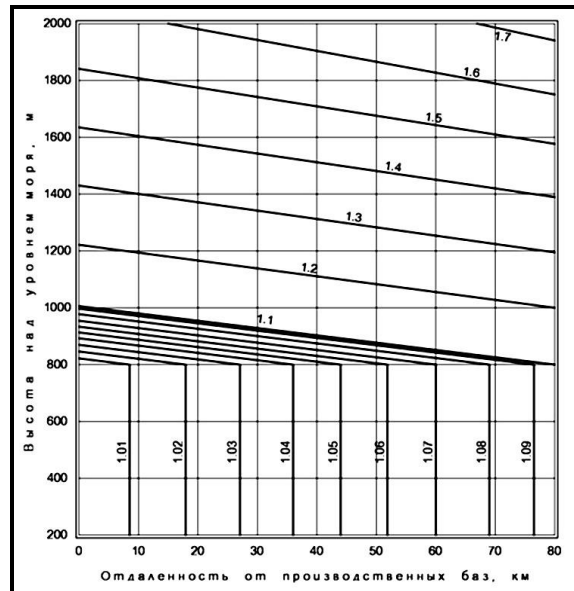
где  $\delta_{1,1}^h; \delta_{2,1}^h; \delta_{2,2}^h; \delta_{2,3}^h; \delta_{2,4}^h; \delta_{2,5}^h; \delta_{2,6}^h$  соответственно – значения относительных приращений факторов второй группы к высоте 800 м над уровнем моря, расчлененности рельефа, атмосферных осадков, температуры воздуха, скорости ветра, атмосферного давления, числа дней со снежным покровом и влажности воздуха.

Наиболее приемлемым для прогнозирования влияния природно-климатических факторов горных условий на продолжительность строительства, на наш взгляд, является метод Дельфи. Его достоинством по сравнению с другими методами является относительная простота и применимость для прогнозирования практически любых ситуаций, в том числе в условиях неполной информации. Специфика этого метода заключается в том, что обобщение результатов прогнозирования осуществляется путем индивидуального письменного опроса экспертов в несколько туров по специально разработанной программе исследования. Надежность метода Дельфи считается высокой при прогнозировании на более отдаленный период времени.

Вместе с тем, метод Дельфи имеет недостатки, связанные в первую очередь с привлечением большого количества экспертов и трудоемкостью расчетов. Нами разработана компьютерная программа, позволяющая выполнять процедуру прогнозирования одним оператором. Сравнение полученных указанным методом прогнозирования значений вероятных коэффициентов увеличения продолжительности строительства со среднестатистическими показали высокую сходимость результатов [5].

Для учета превышения нормативной продолжительности в строительстве в горных условиях в зависимости от отдаленности строящихся объектов от производственных баз разработана номограмма (рис. 1).

Установлено, что выбор оптимального варианта организации и управления строительством должен базироваться на показателях прогнозируемых затрат, зависящих от конкретных условий строительства объектов. В этой связи разработана методика расчета дополнительных затрат строительных организаций в горных условиях, учитывающая отдаленность объектов от производственных баз. Предложенная методика прогнозирования увеличения нормативной продолжительности строительства в горных условиях позволяет оптимизировать распределение ограниченного количества ресурсов по объектам строительства и ускорить строительство в горных условиях до 1,2 раза [5].



**Рис. 1. Номограмма для определения коэффициента увеличения нормативной продолжительности строительства в горных условиях**

В этом случае в качестве критерия эффективности принимается показатель максимальной стоимости объемов строительно-монтажных работ. На этой основе разработана компьютерная программа и блок-схема алгоритма расчета рекуррентных соотношений распределения ресурсов.

Таким образом, мы можем прийти к следующим выводам.

1. Выполнена систематизация природно-климатических факторов горных условий и выявлены закономерности их развития в пространстве и во времени.
2. Дана математическая модель изменения продолжительности строительства под воздействием природно-климатических факторов горных условий.
3. Разработана компьютерная программа прогнозирования продолжительности строительства в горных условиях, в зависимости от высоты строящихся объектов над уровнем моря.
4. Разработан алгоритм решения задачи оптимального распределения ограниченного количества ресурсов по объектам строительства в горных условиях.

### Литература

1. СНиП 1.04.03-85\*. Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений [Текст]. – М. : 1987. – 549 с.
2. Израелян Р.Г. Методика расчета продолжительности строительства в горных районах [Текст] / Р.Г. Израелян // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – №3. – С. 60.
3. Израелян Р.Г. О нормах продолжительности строительства в горных условиях [Текст] / Р.Г. Израелян, В.Г. Симонян // Промышленное строительство. – 1991. – №2. – С. 21-22.
4. Израелян Р.Г. Динамика развития природно-климатических факторов в горных районах [Текст] / Р.Г. Израелян // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – №8. – С. 66-66.
5. Израелян Р.Г. Основы организации и управления строительством в горных условиях. Анализ. Модели. Решения

[Текст] / Р.Г. Израелян. – Степанакерт : Изд-во АргУ, 2011. – 160 с.

### Ключевые слова

Горные условия; факторы; вероятность; отклонения; систематизация; опрос; оценка; прогнозирование; алгоритм; блок-схема; математическая модель.

*Израелян Рудольф Герасимович*

### РЕЦЕНЗИЯ

Статья посвящена изучению группы факторов горных условий, влияющих на продолжительность строительства. Установлена их значимость в продолжительности строительства. Представлена модель, в рамках которой установлены зависимости различных характеристик технологии строительства в горных условиях от базовых факторов. На основе такой модели могут быть разработаны нормативные документы по строительству в горных условиях, позволяющие как улучшить качество строительства, так и минимизировать затраты.

*Бекларян Л.А., д.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник Центрального экономико-математического института Российской Академии наук*

[Перейти на ГЛАВНОЕ МЕНЮ](#)

[Вернуться к СОДЕРЖАНИЮ](#)