

УДК [551.506:551.524:624.139.64]-047.43:621.311.1(23)(575.2)  
DOI: 10.36979/1694-500X-2025-25-4-160-168

**ОЦЕНКА СРЕДНИХ ГОДОВЫХ И ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР ВОЗДУХА  
И ГЛУБИНЫ ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТОВ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗСТАНА**

*О.А. Подрезов, А.О. Подрезов, Ш.Б. Дикамбаев, Ю.П. Симаков*

*Аннотация.* Приводятся научно-технические рекомендации по определению расчетных значений средних годовых, максимальных и минимальных температур воздуха, а также глубин сезонного промерзания грунтов для проектирования, строительства и эксплуатации воздушных линий электропередачи и других сооружений на территории Кыргызстана до высот 4,5 км. Даются научные обоснования приводимым рекомендациям, полученные как обобщение результатов многолетних исследований, выполненных лабораторией прикладных геофизических исследований КиргНИО Энергетики и кафедрами метеорологии КирГУ и КРСУ по данным наблюдений метеостанций Кыргызгидромета.

*Ключевые слова:* территория Кыргызстана; воздушные линии электропередачи; средние годовые; максимальные и минимальные температуры воздуха; сезонное промерзание грунтов.

---

**КЫРГЫЗСТАНДА АБА ЭЛЕКТР ЛИНИЯЛАРЫН ДОЛБООРЛООДО  
АБАНЫН ОРТОЧО ЖЫЛДЫК ЖАНА ЭКСТРЕМАЛДЫК ТЕМПЕРАТУРАСЫН  
ЖАНА ЖЕР ТОҢУУНУН ТЕРЕҢДИГИН БААЛОО**

*О.А. Подрезов, А.О. Подрезов, Ш.Б. Дикамбаев, Ю.П. Симаков*

*Аннотация.* Кыргызстандын аймагында 4,5 км бийиктикке чейинки электр линияларын жана башка курулуштарды долбоорлоо, куруу жана эксплуатациялоо үчүн абанын орточо жылдык, максималдуу жана минималдуу температураларынын, ошондой эле кыртыштын сезондук тоңуу тереңдиктеринин эсептелген маанилерин аныктоо боюнча илимий-техникалык сунуштар берилген. Кыргызгидрометтин метеостанцияларынын байкоолорунун негизинде Кыргыз мамлекеттик университетинин жана КРСУнун прикладдык геофизикалык изилдөөлөр лабораториясы жана метеорология кафедралары тарабынан жүргүзүлгөн көп жылдык изилдөөлөрдүн натыйжаларын жалпылоо катары алынган берилген сунуштарга илимий негиздемелер келтирилген.

*Түйүндүү сөздөр:* Кыргызстандын аймагы; аба электр линиялары; жылдык орточо; абанын максималдуу жана минималдуу температурасы; кыртыштын мезгилдик тоңушу.

---

**ASSESSMENT OF AVERAGE ANNUAL AND EXTREME AIR TEMPERATURES  
AND SOIL FREEZING DEPTH FOR DESIGNING OVERHEAD  
POWER TRANSMISSION LINES IN THE TERRITORY OF KYRGYZSTAN**

*O.A. Podrezov, A.O. Podrezov, Sh.B. Dikambaev, Yu.P. Simakov*

*Abstract.* Scientific and technical recommendations are provided for determining the calculated values of average annual, maximum and minimum air temperatures, as well as the depths of seasonal soil freezing for the design, construction and operation of overhead power lines and other structures on the territory of Kyrgyzstan up to altitudes of 4.5 km. Scientific justifications for the given recommendations are given, obtained as a generalization of the results of many years of research carried out by the laboratory of applied geophysical research of the Kyrgyz Scientific Research

Institute of Energy and the departments of meteorology of Kyrgyz State University and KRSU based on observation data from Kyrgyzhydromet weather stations.

**Keywords:** territory of Kyrgyzstan; overhead power lines; average annual; maximum and minimum air temperatures; seasonal soil freezing.

**Введение.** Согласно Правил устройства электроустановок (ПУЭ) [1], при расчете воздушных линий электропередачи (ВЛ) всех классов напряжений учет характеристик температуры воздуха производится по фактическим данным метеостанций, а расчетные температуры округляются до значений, кратных 5 °С. При этом механический расчет проводов, тросов и опор ВЛ по нормальному режиму работы необходимо производить на сочетание следующих климатических условий:

1. Высшая температура  $T_{\text{макс}}$ , ветер и гололед отсутствуют.
2. Низшая температура  $T_{\text{мин}}$ , ветер и гололед отсутствуют.
3. Средняя годовая температура  $T_{\text{ср}}$ , ветер и гололед отсутствуют.

При расчете ВЛ по аварийному режиму необходимо учитывать сочетание следующих климатических условий:

1. Средняя годовая температура  $T_{\text{ср}}$ , ветер и гололед отсутствуют.
2. Низшая температура  $T_{\text{мин}}$ , ветер и гололед отсутствуют.

Механический расчет фундаментов опор, согласно ПУЭ [1], производится с учетом нагрузок, воспринимаемых проводами и тросами от метеорологических факторов в нормальном и аварийном режимах, а также дополнительно регламентируется Строительными нормами и правилами (СНиП) по условиям сезонного промерзания грунтов, строительства на вечной мерзлоте и другим геофизическим факторам [2, 3–6].

За нормативную глубину промерзания почвы принимается среднее значение из ежегодных максимальных глубин сезонного промерзания грунтов  $f_i$  на открытой, оголенной от снега горизонтальной площадке [2, 4, 5]. Заметим, что метеостанции, по данным которых находят оценку глубины промерзания почвы, производят наблюдения по мерзлотомерам на метеоплощадках *под естественным снежным покровом*. Поэтому расчетные данные станций  $f_i$  (МС) несколько занижают глубины промерзания по сравнению с  $f_i$  по СНиП, так как снежный покров уменьшает промерзание и тем сильнее, чем мощнее снежный покров и более длительно его залегание.

Косвенной, но близкой к  $f_i$  (МС) величиной промерзания, может служить измеряемая на метеостанциях глубина проникновения нулевой изотермы в почву, если  $h_i$  (МС) определять как среднюю из ежегодных максимальных глубин сезонного проникновения нулевой изотермы в почву, рассчитанную по данным глубинных почвенных термометров метеостанций, располагающихся на метеоплощадках под естественным снежным покровом. Причина того, что  $h_i$  (МС) всегда несколько больше  $f_i$  (МС) ясна. Кристаллизация почвенной влаги, являющейся слабым солевым раствором, происходит не при нуле, а при слабо отрицательных температурах, например, для суглинков при  $-1$  °С, а супесей  $-0,5$  °С. Разность  $h_i$  (МС) и  $f_i$  (МС) обычно не превышает 20–25 см, но в малоснежных районах может достигать 50–70 см.

Сезонное промерзание служит причиной двух мерзлотных явлений: пучением грунта в результате замерзания влаги и увеличения за счет этого его объема примерно на 9 %, что может приводить к поднятию дневной поверхности на десятки см; просадкой грунта при его протаивании в теплое время года и опускании дневной поверхности.

Поэтому основания и фундаменты сооружений, согласно СНиП [4, 5] надо закладывать на глубину большую, чем сезонное промерзание  $f$ , а на вечномерзлых грунтах для их закладки следует руководствоваться особыми правилами, изложенными в СНиП [6].

Целью настоящей статьи является разработка научно-практических рекомендаций для оценки расчетных значений средних годовых  $T_{\text{ср}}$ , абсолютных максимальных  $T_{\text{макс}}$  и абсолютных минимальных  $T_{\text{мин}}$  температур воздуха, а также глубины промерзания грунтов и  $f_i$  и  $h_i$  по результатам обобщения

специальных многолетних климатических исследований, проведенных лабораторией прикладных геофизических исследований КиргНИО Энергетики (1963–1980 гг.), а также кафедрами метеорологии КиргГУ (1981–1993 гг.) и КРСУ (1994–2020 гг.).

# **1. Расчетные значения средних годовых, максимальных и минимальных температур воздуха**

**Основные факторы, определяющие высотные зависимости температуры воздуха в горных местностях.** Влияние сложной горной орографии Кыргызстана на режим температуры представляется весьма сложным и многообразным. Однако, как и для других горных стран, главными его особенностями являются четко выраженная закономерная тенденция понижения температуры с высотой места и образование приземных инверсий температуры в котловинных формах рельефа, которые искажают эту закономерность в холодный период года.

Механизм образования сильных ночных радиационных инверсий температуры в холодный период года в горных котловинах в климатологии общеизвестен [7–11]: воздух над склонами хребтов, окружающих котловины, за счет сильного инфракрасного излучения с земной поверхности охлаждается и стекает в днище котловины. Здесь он накапливается, застаивается и дополнительно выхолаживается от земной поверхности за счет ее сильного излучения при малооблачной погоде, слабых ветрах и затишьях, характерных для котловин. В результате, в приземном слое днищ котловин формируется устойчивая линза холодного воздуха толщиной в несколько сотен метров, над которой располагается более теплый воздух свободной атмосферы. Это и есть приземная радиационная инверсия температуры, в которой в значительной мере ослабевает турбулентная диффузия, обуславливающая эффективное перемешивание воздуха по вертикали, которое обеспечивает закономерное понижение ее с высотой места. Разрушить такую инверсию могут только достаточно сильный солнечный прогрев земной поверхности с возникновением термической конвекции, что возможно в конце весны, летом и в начале осени, а также сильные ветры, сопровождающие прохождение атмосферных фронтов. Поэтому в холодный период года возникшая ночная инверсия обычно сохраняется и днем, лишь несколько ослабевая, и вновь усиливается в следующую ночь. И так продолжается день за днем, пока не произойдет циклонического вторжения с фронтальными усилениями ветра, натеканием сплошной облачности с возможными осадками. Наиболее сильно все это сказывается зимой на минимальные суточные и минимальные месячные температуры, которые в слое инверсии не понижаются, а растут с высотой.

Начиная примерно со второй половины весны, когда солнечный прогрев земной поверхности заметно усиливается, инверсии начинают ослабевать и днем полностью исчезают. Разрушает их возникающая от нагретой земной поверхности интенсивная термическая конвекция. Так продолжается вторую половину весны и все лето, но с началом осени термическая конвекция ослабевает, постепенно прекращаясь, и все возвращается снова к режиму холодного периода, с его постоянными и интенсивными инверсиями температуры.

В результате, в днищах котловин, по сравнению с открытыми для воздухообмена склонами, сильно занижаются абсолютные минимальные температуры воздуха, занижаются также хоть и в гораздо меньшей степени значения средних годовых температур. Обе эти характеристики, как уже сказано выше, используются в расчетах при проектировании ВЛ.

**Высотные зависимости для средних годовых температур воздуха.** Средние годовые температуры воздуха  $T_{\text{ср}}$  в горах достаточно хорошо коррелируют с высотой места, что позволяет найти их статистические высотные зависимости. Такие зависимости были получены в работах [10–13] по данным наблюдений метеостанций за различные периоды наблюдений. Так, исторически первые зависимости, по данным 112 станций Кыргызстана [11], и сопредельных районах Казахстана, Таджикистана и Узбекистана, соответствующие периоду наблюдений 1930–1960 гг., получены О.А. Подрезовым еще в 1970 г. Позже, в 2007 г., аналогичные расчеты за этот же период наблюдений, но по несколько расширенной выборке из 212 станций, включая дополнительно станции Китайского Тянь-Шаня, проведены В.А. Кузьмиченком [12], Наконец, в 2025 г. в работе О.А. Подрезова, И.А. Павловой и А.О. Подрезова

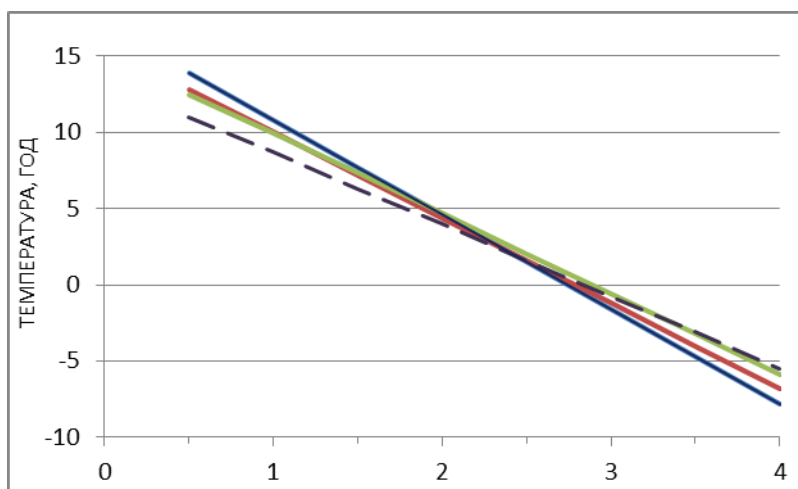


Рисунок 1 – Высотные регрессионные зависимости средних годовых температур, полученные в [11–14]

[13] приведены расчеты по 23-м действующим в настоящее время станциям за 30-летний период 1991–2020 гг., который по рекомендации Всемирной метеорологической организации (ВМО) следует рассматривать как соответствующий текущему современному климату.

На рисунке 1 показаны графики линейных регрессий, представляющие высотные зависимости средних годовых температур  $T_{сг}$  для территории Кыргызстана, приводимые в работах [11–13], а также зависимость, полученная по климатическому справочнику 1989 г. [14].

Как видно на этих графиках, они образуют компактный пучок из 4 примерно параллельных отрезков прямых, которые пересекаются под малым углом на высоте 2,4 км. Им соответствуют коэффициенты корреляции  $r = -0,81 \dots -0,94$ , стандартные ошибки  $s = \pm 1,9 \dots 3,2$  °C и вертикальные градиенты температуры  $b_l = -4,72 \dots -6,19$  °/км. С точки зрения статистики, правомерно использовать любую из этих регрессий в качестве рабочей высотной зависимости среднегодовых температур. Но надо помнить, что зависимости [13] и [14] получены по малому числу станций, равному соответственно 23 и 33, и поэтому малонадежны. Зависимость [12] соответствует их наибольшему числу – 212, но значительная часть станций относится к предгорным равнинным станциям Казахстана, а также к станциям, расположенным на территории Китая. Поэтому, на наш взгляд, наиболее целесообразно в качестве рабочей высотной зависимости  $T_{сг}$  от высоты взять линейную регрессию из [11], полученную по 112 станциям Кыргызстана и сопредельных районов Таджикистана, Узбекистана и Казахстана. Ей соответствует уравнение:

$$T_{сг} = -4,72z + 13,4 \pm 3,2 \dots \dots (r = -0,81), \quad (1)$$

где  $z$ , км – высота;  $b_l = -4,72$  °C/км – угловой коэффициент регрессии (вертикальный градиент температуры),  $s = \pm 3,2$  °C – стандартная ошибка (1).

Согласно (1), средние годовые температуры убывают в Кыргызстане с высотой на  $-4,72$  °C на каждый км высоты, составляя на высотах 0,5 и 4,5 км соответственно значения 11,0 и  $-7,8$  °C.

**Высотные зависимости для максимальных и минимальных температур воздуха.** Высотная зависимость для абсолютных максимальных годовых температур (будем далее использовать, согласно ПУЭ, термин – максимальных) по данным работ О.А. Подрезова [10, 11] имеет вид:

$$T_{мак} = -6,74z + 46,6 \pm 2,2 \dots \dots (r = -0,92), \quad (2)$$

где все обозначения те же, что и в (1).

Другими авторами высотные зависимости для максимальных и минимальных температур не искали. Из (2) следует, что коэффициент корреляции для  $T_{\max}$  больше ( $r = -0,92$ ), чем для  $T_{\text{ср}}$ , а стандартная ошибка ( $s = \pm 2,2$ ) меньше, что говорит о более слабом влиянии орографии на режим максимальных температур по сравнению со средними годовыми температурами. Все это позволяет надежно использовать (2) в качестве добротной рабочей высотной зависимости для максимальных температур. Согласно (2), величины  $T_{\max}$  убывают на  $-6,74$  °C на каждый км высоты, составляя на отметках 0,5 и 4,5 км значения, равные 43,2 и 16,3 °C.

Хуже обстоит дело с минимальными температурами  $T_{\min}$  из-за очень сильного влияния на них приземных инверсий температуры, условия образования которых были рассмотрены выше. Полученный коэффициент корреляции с высотой места для  $T_{\min}$  по данным 112 станций оказался равным  $r = -0,2$  и статистически незначимым (на уровне значимости  $q = 0,05$ ). Для повышения  $r$  из полной выборки 112 станций были исключены те, которые расположены в подгорных равнинах и днищах межгорных котловин. То есть расчеты  $r$  сделаны только для станций, расположенных в узких склоновых долинах и на перевалах, где влияние приземных инверсий ослаблено или отсутствует. В результате, была получена статистически значимая величина  $r = -0,6$ , а найденная высотная регрессия имеет вид [10, 11]:

$$T_{\min} = -2,76z - 28,7 \pm 4,1, \quad (3)$$

где все обозначения те же, что и в (1).

Стандартная ошибка (3), равная  $s = \pm 4,1$  °C, что заметно больше, чем ошибка для среднегодовых температур по (1) и максимальных по (2). Согласно (3),  $T_{\min}$  убывают с высотой на  $-2,76$  °C на каждый км высоты, составляя на высотах 0,5 и 4,5 км значения, равные  $-30,1$  и  $-41,1$  °C.

Зависимость (3) может быть использована на практике для оценки расчетных минимальных температур для склоновой части хребтов, где метеостанции отсутствуют. В качестве фоновой, она может быть использована и для днищ котловин, но тогда, в результаты расчетов по ней для повышения надежности, рекомендуется вводить поправку, равную  $\Delta T_{\min} = -k \cdot 4,1$ , где  $k$  следует принимать равным 1 или 2 в зависимости от желательной надежности расчетов [15].

**Практические рекомендации по определению расчетных значений средних годовых, максимальных и минимальных температур.** Расчет проводов, тросов и опор воздушных линий электропередачи на территории Кыргызстана для их нормального и аварийного режимов работы следует производить с учетом значений средних годовых  $T_{\text{ср}}$ , максимальных  $T_{\max}$  и минимальных  $T_{\min}$  температур воздуха, приведенных в таблицах 1 и 2.

В таблице 1 приведены высотные зависимости этих расчетных температур, полученные для средин стандартных слоев (0–0,5; 0,5–1; 1–1,5 км и т. д.), толщиной 0,5 км, до высоты 4–4,5 км. Значения  $T_{\text{ср}}$ ,  $T_{\max}$  и  $T_{\min}$  следует принимать одинаковыми в пределах толщины каждого слоя.

Значениями средних годовых  $T_{\text{ср}}$  и максимальных  $T_{\max}$  температур по таблице 1 следует пользоваться на всей территории Кыргызстана. Исключение представляют днища Суусамырской и Ак-Сайской котловин, для которых более точные значения  $T_{\text{ср}}$  приведены в примечании 1 к таблице 1, полученные с учетом климатических особенностей этих котловин.

Значения минимальных температур  $T_{\min}$  для участков склонов всех хребтов находятся по таблице 1.

Для днищ котловин, в которых имеются метеостанции,  $T_{\min}$  следует принимать по фактическим данным метеостанций, приведенным в таблице 2.

Для днищ тех котловин, где метеостанции отсутствуют, следует использовать два метода возможной косвенной оценки  $T_{\min}$ :

- по высоте днища котловины подбирать для нее аналоговое значение  $T_{\min}$  по таблице 2;
- использовать оценки  $T_{\min}$  по таблице 1, вводя в них поправку  $\Delta T$  со знаком, равную однократной ( $\Delta T = -4,1$  °C) или, для большей надежности, двукратной ( $\Delta T = -8,2$  °C) стандартной ошибки регрессии (3).

Таблица 1 – Расчетные значения средних годовых ( $T_{cp.}$ ), максимальных ( $T_{макс.}$ ) и минимальных ( $T_{мин.}$ ) температур воздуха для середин слоев, толщиной 0,5 км

| Характеристика | Высота границ слоя, км |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                | 0,5–1                  | 1–1,5 | 1,5–2 | 2–2,5 | 2,5–3 | 3–3,5 | 3,5–4 | 4–4,5 |
| $T_{cp}^*$     | 11                     | 8     | 5     | 2     | 0     | –3    | –6    | –9    |
| $T_{макс.}$    | 41                     | 38    | 35    | 32    | 29    | 26    | 23    | 20    |
| $T_{мин.}^*$   | –27                    | –29   | –32   | –34   | –37   | –39   | –41   | –44   |

Примечания\*:

1. Для участков днищ Суусамырской и Ак-Сайской котловин следует использовать расчетные  $T_{cp.}$ , соответственно, равные –5 и –10 °С.
2. Для участков днищ межгорных котловин  $T_{мин.}$  следует определять по таблице 2 или по двум приводимом в тексте косвенным методам.

Таблица 2 – Рекомендуемые расчетные значения  $T_{мин.}$  в днищах котловин с резко выраженным радиационным выхолаживанием приземных слоев воздуха, (округлены до 5 °С) по прямым данным метеостанций

| Название долин/котловин    | $T_{мин.}$ | Название долин/котловин | $T_{мин.}$ |
|----------------------------|------------|-------------------------|------------|
| Чуйская долина:            |            | Кочкорская              | –35        |
| высоты днища $\geq 0,7$ км | –40        | Джумгалская             | –35        |
| высоты днища $< 0,7$ км    | –45        | Суусамырская            | –55        |
| Таласская долина:          |            | Ат-Башинская            | –45        |
| высоты днища $\geq 0,9$ км | –40        | Аксайская               | –55        |
| высоты днища $< 0,9$ км    | –45        | Арпинская               | –50        |
| Токтогульская              | –40        | Чатыркульская           | –50        |

При этом под участками днищ котловин следует понимать их пониженные подгорные зоны – от минимальных высот до подножий склонов окружающих хребтов.

### 3. Расчетные значения глубин сезонного промерзания грунтов. Основные сведения о режиме глубины промерзания грунтов

Промерзание грунта зимой есть естественный сезонный процесс, захватывающий от нескольких десятков см до 2–3 м в зависимости от климатических условий местности. Примерно с высоты около 3 км в Кыргызстане обнаруживается вечная мерзлота – слой многолетних мерзлых грунтов, протаивающий летом до 1 м и более.

Основания и фундаменты сооружений, согласно СНиП [2, 4, 5], надо закладывать на глубину большую, чем сезонное промерзание  $f$ , а на вечномерзлых грунтах для их закладки следует руководствоваться особыми правилами СНиП [6]. Кроме того, тепловые и канализационные сети должны заглубляться ниже глубин нулевой изотермы  $h$ .

Очевидно, что реальное промерзание верхнего слоя почвы зависит от многих факторов: режима температуры воздуха, снежного покрова, состава грунтов, их влажности, растительного покрова. Априори нами была сделана попытка получить для территории Кыргызстана множественную линейную регрессию, описывающую глубину промерзания от пяти предикторов [11]: средняя годовая температура воздуха –  $T_{cp.}$ ; средняя температура холодного периода –  $T_{хп.}$ ; средняя высота снежного покрова –  $H$ ; средняя из годовых максимумов высот снежного покрова –  $H_{макс.}$ ; высота места  $z$ . Такая регрессия была найдена, однако она оказалась малоприменимой для практики ввиду трудности определения



значений самих предикторов для произвольной точки территории, входящих в ее уравнение. В дальнейшем она использовалась главным образом как эталон максимально достижимого качества решения.

Одновременно статистический анализ уравнения этой многофакторной регрессии показал, что самым главным предиктором, определяющим глубину промерзания для территории Кыргызстана, является высота места. По имеющимся многолетним данным 50 метеостанций Кыргызстана, которые вели наблюдения за промерзанием грунта и глубиной проникновения нулевой изотермы в почву, были получены общие для всей его территории высотные зависимости  $f_1$  и  $h_1$  [11]. Эти общие зависимости оказались следующими (коэффициенты корреляции от высоты соответственно равны  $r = 0,67$  и  $r = 0,69$ ):

$$f_1 = 45z \pm 34, \dots h_1 = 53,3z + 1 \pm 39, \quad (4)$$

где  $f_1$  и  $h_1$ , см;  $z$ , км – высота, а  $s = \pm 34$  и  $s = \pm 39$  – есть стандартные погрешности уравнений в см.

Кроме того, были найдены статистические зависимости между  $f_1$  и их значениями, вероятными 1 раз в 5, 10, 15 и 20 лет ( $f_5, f_{10}, f_{15}$  и  $f_{20}$ ):

$$f_5 = 1,09f_1 + 9 \pm 6, \dots f_{10} = 1,12f_1 + 19 \pm 10, \quad (5)$$

$$f_{15} = 1,13f_1 + 26 \pm 12, \dots f_{20} = 1,12f_1 + 33 \pm 15,$$

где  $f$  даны в см, а слагаемые со знаком « $\pm$ » – есть статистические ошибки уравнений в см.

Из этих уравнений следует, что в среднем для Кыргызстана ежегодная сезонная глубина промерзания  $f_1$  увеличивается на каждый км высоты на 45 см, а значение  $h_1$  – на 53,3 см. При практическом использовании этих уравнений рекомендуется для повышения надежности получаемых выводов вводить в результаты расчетов со знаком «+» значения  $s$  стандартных ошибок уравнений.

Результаты расчетов по найденным уравнениям глубин промерзания грунта  $f_1$  и ( $f_5, f_{10}, f_{15}$  и  $f_{20}$ ), а также глубины нулевой изотермы  $h_1$  на различных высотах от 0,5 до 3,5 км, приведены в таблице 3. При этом в оценки  $f_1$  и  $h_1$  введены статистические погрешности уравнений со знаком «+», равные 34 и 39 см.

Таблица 3 – Расчетные значения промерзания грунтов  $f$  (см) и глубины нулевой изотермы  $h_1$  (см) на различных высотах в Кыргызстане по зависимостям (4) и (5)

| Характеристика | Высота места, км |     |     |     |     |     |     |
|----------------|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                | 0,5              | 1   | 1,5 | 2   | 2,5 | 3   | 3,5 |
| $f_1$          | 57               | 79  | 102 | 124 | 147 | 169 | 192 |
| $h_1$          | 67               | 93  | 120 | 147 | 173 | 200 | 227 |
| $f_5$          | 71               | 95  | 120 | 144 | 169 | 193 | 218 |
| $f_{10}$       | 83               | 108 | 133 | 158 | 184 | 208 | 234 |
| $f_{15}$       | 91               | 115 | 141 | 166 | 192 | 217 | 243 |
| $f_{20}$       | 97               | 121 | 147 | 172 | 198 | 222 | 248 |

Прежде всего, отметим, что, как и следовало ожидать, значения  $h_1$  превышают  $f_1$  на 10–35 см, и в целом хорошо согласуются между собой.

Как видно из этих данных (таблица 3), на склонах хребтов значения  $f_1$  линейно увеличиваются с высотой места от 80 см в зоне около 1 км до 170 см на высоте 3 км. Значения глубин промерзания, вероятные 1 раз в 10 лет, увеличиваются с ростом высоты от 1 до 3 км в пределах от 108 до 208 см, а вероятные 1 раз в 20 лет, – от 121 до 222 см. При этом ежегодная глубина нулевой изотермы в грунте  $h_1$  увеличивается от 93 см на высоте 1 км до 200 см на высоте 3 км.

Для высокогорных станций Тянь-Шань (3,61 км, Кум-Торские сырты) и Чатыр-Куль (3,51 км, Чатыр-Кульская котловина) были определены глубины протаивания вечной мерзлоты летом. Они оказались значительными: Чатыр-Куль:  $h_1 = 211$  см,  $h_{\min} = 129$  см,  $h_{\max} = 276$  см; Тянь-Шань:  $h_1 = 125$  см,  $h_{\min} = 109$  см,  $h_{\max} = 206$  см. Эти данные, как аналоговые оценочные, также можно использовать в первом приближении для аналогичных высот других высокогорных районов Кыргызстана.

**Практические рекомендации по определению расчетных значений глубины промерзания грунтов  $f_r$ .** Основания и фундаменты энергетических объектов, согласно СНиП [2, 4, 5] надо закладывать на расчетную глубину большую, чем ежегодное сезонное промерзание грунтов  $f_r$ , определяемое как многолетнее среднее значение из максимальных годовых глубин промерзания, наблюдаемых на метеостанциях. На вечномерзлых грунтах для закладки фундаментов следует руководствоваться правилами СНиП [6].

В таблице 4 приведены расчетные значения сезонных глубин промерзания грунтов  $f_r$  (см), данными которой следует пользоваться для всей территории Кыргызстана. Величина  $f_r$  в пределах каждого слоя, толщиной 0,5 км, принимается по таблице 4 одинаковой.

Таблица 4 – Расчетные значения сезонных промерзаний грунта  $f_r$ , (см)  
для средин слоев толщиной 0,5 км до высот 4–4,5 км

| Характеристика               | Высота границ слоя, км |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                              | 0,5–1                  | 1–1,5 | 1,5–2 | 2–2,5 | 2,5–3 | 3–3,5 | 3,5–4 | 4–4,5 |
| $f_r$ , см для середины слоя | 68                     | 90    | 113   | 135   | 158   | 180   | 203   | 225   |

В таблице 5 приведены фактические нормативные значения  $f_r$ , а также максимальные глубины промерзания грунтов  $f_{\max}$ , зарегистрированные на метеостанциях при многолетних наблюдениях, которыми можно пользоваться непосредственно для возможных уточнений данных таблицы 4 в районах расположения этих метеостанций.

Таблица 5 – Фактические значения промерзания грунтов на различных высотах по данным метеостанций

| Станция                       | z, км | $f_r$ , см | $f_{\max}$ , см | Станция      | z, км | $f_r$ , см | $f_{\max}$ , см |
|-------------------------------|-------|------------|-----------------|--------------|-------|------------|-----------------|
| Станции до высоты менее 2 км  |       |            |                 |              |       |            |                 |
| Чуйская                       | 0,60  | 42         | 59              | Токмак       | 0,82  | 42         | 67              |
| Беловодск                     | 0,73  | 21         | 61              | Юрьевка      | 1,03  | 45         | 76              |
| Бишкек                        | 0,76  | 46         | 69              | Чон-Арык     | 1,1   | 51         | 84              |
| Калининское                   | 0,77  | 40         | 80              | Новороссийка | 1,53  | 87         | 110             |
| Станции на высотах более 2 км |       |            |                 |              |       |            |                 |
| Ак-Таш                        | 2,10  | 75         | 97              | Кичик-Алай   | 2,36  | 138        | 152             |
| Ат-Баши                       | 2,10  | 131        | 150             | Чон-Шорго    | 2,48  | 62         | 91              |
| Кызыл-Джар                    | 2,23  | 123        | 150             | Сары-Таш     | 3,15  | 139        | 150             |
| Сан-Таш пер.                  | 2,32  | 63         | 93              |              |       |            |                 |
|                               |       |            |                 |              |       |            |                 |

Поступила: 03.03.2025; рецензирована: 17.03.2025; принята: 19.03.2025.

#### Литература

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Энергоатомиздат, 1989. 96 с.
2. Заварина М.В. Строительная климатология / М.В. Заварина. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 336 с.
3. СНиП. 2.01.07–85. Нагрузки и воздействия. М.: Госстрой СССР. 1986. 34 с.



4. СНиП. 23.01–09. Строительная климатология. М.: Госстрой России, 2006. 67 с.
5. СНиП II-В. 15–74. Основания зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 1983. 68 с.
6. СНиП П18–76. Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. М.: Стройиздат, 1977. 46 с.
7. Климат Киргизской ССР / под ред. З.А. Рязанцевой. Фрунзе: Илим, 1965. 289 с.
8. Климатология / под ред. проф. О.А. Дроздова, проф. Н.В. Кобышевой. Л.: Гидрометеиздат. 1989. 568 с.
9. *Перова М.В.* Режим температуры воздуха в холодный период года и климатические параметры отопительного сезона на территории Северного, Северо-Западного Кыргызстана / М.В. Перова, О.А. Подрезов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2013. 181 с.
10. *Подрезов О.А.* Высотная климатическая зональность Кыргызстана: численная оценка высотных зависимостей метеорологических величин / О.А. Подрезов // Гидрометеорология и образование. 2021. № 1. С. 6–28.
11. *Подрезов О.А.* Горная климатология и высотная климатическая зональность Кыргызстана / О.А. Подрезов. Бишкек: Изд-во КРСУ. 2014. 170 с.
12. *Кузьмичёнок В.А.* Цифровые модели характеристик увлажнения Кыргызстана (Математико-картографическое моделирование) / В.А. Кузьмичёнок; под ред. проф. О.А. Подрезова. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2008. 229 с.
13. *Подрезов О.А.* Современные климатические условия Кыргызстана и их наблюдаемые изменения: средние месячные и годовые температуры воздуха в период 1991–2020 гг. / О.А. Подрезов И.А. Павлова, А.О. Подрезов // Гидрометеорология и образование. 2025. № 1. С. 5–21.
14. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6. Вып. 32. Киргизская ССР. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 375 с.
15. *Закс Л.* Статистическое оценивание / Л. Закс; пер. с нем. В.Н. Варыгиной. М.: Статистика, 1976. 598 с.