

## ЭНЕРГЕТИКА

С. Е. Акопян

Характеристика изменения скоростей ветра с высотой  
в условиях горных районов Армении

(Представлено С. С. Мкртчяном 3. III. 1958)

Ветер или динамика атмосферы, как известно, является одним из наиболее мощных источников активной кинетической энергии, которая может быть широко использована в народном хозяйстве. Но для того, чтобы судить об эффективности ветроиспользования, о выборе ветродвигателей, оценке их производительности и т. д., необходимо в числе многих других показателей знать также изменения скоростей ветра по вертикальному профилю, что является важнейшим условием выбора целесообразной высоты установки ветроколеса, тем более для горных районов Армении.

Для расчета вертикального профиля скоростей ветра было предложено несколько зависимостей (1, 2, 3, 4).

Одна из первых крупных работ по изучению изменения скоростей ветра с высотой принадлежит Гельману (3).

Количественно близкие к выводам Гельмана результаты дает Подтягин в своей работе (1). На основании своих исследований, он вывел зависимость скоростей ветра от высоты флюгера и класса станций и пришел к выводу, что в пределах высот флюгера от 6 до 20 м скорость ветра меняется в среднем на 0,082 м/сек при подъеме на 1 метр. Эта цифра близка к данным Гельмана на соответствующих высотах. Этим вопросом занимались также Д. Л. Лайхтман (5), М. И. Будыко (6). Однако все эти исследования относятся к равнинным условиям.

Для горных условий принимают, что скорость ветра по высоте не увеличивается, а часто даже уменьшается вместе с увеличением высоты над земной поверхностью (7).

Основной причиной возникновения движений в атмосфере является неравномерное распределение атмосферного давления и плотности воздуха над поверхностью земли, происходящее вследствие неравномерности нагревания земной поверхности. Поэтому в горных условиях, где по причине сложного рельефа распределение атмосферного давления и плотности воздуха более неравномерно, скорость ветра не

только абсолютна, но с высотой, по нашему предположению, должна соответственно увеличиваться, хотя это в сильной степени связано с конфигурацией гор, расположенных вокруг исследуемого района.

Для исследования изменений скоростей ветра с высотой в горных районах Армении в 1956 году в Севанском бассейне (п-ов Севан и Норадус) были проведены соответствующие наблюдения с помощью телескопических мачт, высотой 16 метров. Результаты наблюдений показали, что скорость ветра по высоте увеличивается больше чем в равнинных условиях (<sup>8</sup>).

Для получения правильных выводов об изменении скоростей ветра по профилю в приземном слое в условиях горных районов Армении требовалось вести градиентные наблюдения на разных пунктах горных районов на высоте до 20—30 метров. Такие наблюдения дали бы возможность определить характеристику изменения скоростей ветра по профилю не только в зоне Севанского бассейна, но и для всего горного района Армении.

В связи с этим в 1957 году летом (с 1 июня по 15 сентября) СОПСом АН Армянской ССР было организовано такое исследование, где участвовали научные сотрудники Главной геофизической обсерватории, Центральной научно-исследовательской лаборатории по ветроиспользованию при Всесоюзной сельскохозяйственной Академии имени Ленина и Управления гидрометслужбы Армянской ССР.

Работа проводилась с помощью двух специальных телескопических мачт высотой в 24 метра.

Измерение величины скоростей ветра было выполнено с помощью контактных анемометров с десятиминутными интервалами в течение трех месяцев.

Эти круглосуточные фактические наблюдения изменения скоростей ветра с высотой, определенные в каждые 10 минут в экспедиционный период, на разных пунктах горных районов (Сисианский, Зодский перевалы), показали, что во всех случаях скорость ветра с высотой неуклонно увеличивается. В этом можно убедиться, рассмотрев нижеприведенные среднечасовые наблюдения над скоростями ветра (табл. 1), которые близки к среднесуточным и месячным скоростям.

Как видно из этих данных, скорость ветра на высоте от 2 до 24 метров увеличивается в районе Зодского перевала в среднем на 2,4 м/сек, а в районе Сисианского перевала на 2,3 м/сек, т. е. через каждый метр скорость ветра увеличивается на 0,11 м/сек.

Если сравнить полученные данные с данными, предложенными Подтягиным и Гельманом для равнинных условий, то в горных условиях рост скорости ветра с высотой на 0,3 м/сек больше роста скорости ветра на равнинах (<sup>1, 3</sup>).

Характеристика изменения скоростей ветра по высоте в среднесуточных данных на Сисианском (рис. 1) и на Зодском перевале (рис. 2) показывает, что градиент изменения скоростей ветра в низких слоях атмосферы (2—10 м) интенсивнее, чем в высоких слоях. Это

Таблица 1

Наименование даты времени	Средняя часовая скорость ветра в м/сек на различных высотах в метрах				
	1	2	5	15	24
<b>30. VII. 57 г.</b>					
<b>I. Сиснанский перевал</b>					
0 <sup>30</sup> —1 <sup>30</sup>	—	4,9	6,3	6,5	7,1
1 <sup>30</sup> —2 <sup>30</sup>	—	4,7	6,1	6,6	7,3
2 <sup>30</sup> —3 <sup>30</sup>	—	4,8	6,3	6,8	7,5
3 <sup>30</sup> —4 <sup>30</sup>	—	5,2	6,6	6,7	7,1
4 <sup>30</sup> —5 <sup>30</sup>	—	4,7	6,2	6,5	7,1
5 <sup>30</sup> —6 <sup>30</sup>	—	5,2	6,6	6,7	7,1
6 <sup>30</sup> —7 <sup>30</sup>	—	5,6	6,8	6,7	7,1
7 <sup>30</sup> —8 <sup>30</sup>	—	6,9	6,9	6,9	7,4
8 <sup>30</sup> —9 <sup>30</sup>	—	6,2	7,2	7,3	8,2
9 <sup>30</sup> —10 <sup>30</sup>	—	6,2	7,3	7,4	7,8
10 <sup>30</sup> —11 <sup>30</sup>	—	6,0	7,0	7,2	7,6
12 <sup>30</sup> —13 <sup>30</sup>	—	6,1	7,5	7,6	8,4
13 <sup>30</sup> —14 <sup>30</sup>	—	5,6	6,9	7,2	7,9
14 <sup>30</sup> —15 <sup>30</sup>	—	5,8	7,3	7,5	8,3
15 <sup>30</sup> —16 <sup>30</sup>	—	5,9	7,5	7,6	8,3
16 <sup>30</sup> —17 <sup>30</sup>	—	5,8	7,5	7,9	8,5
17 <sup>30</sup> —18 <sup>30</sup>	—	5,9	7,6	8,0	8,8
18 <sup>30</sup> —19 <sup>30</sup>	—	5,6	7,2	7,7	8,5
19 <sup>30</sup> —20 <sup>30</sup>	—	5,0	6,9	7,5	7,1
20 <sup>30</sup> —21 <sup>30</sup>	—	4,9	6,4	6,8	6,3
21 <sup>30</sup> —22 <sup>30</sup>	—	4,9	6,4	6,8	7,3
22 <sup>30</sup> —23 <sup>30</sup>	—	4,6	6,1	6,4	7,0
23 <sup>30</sup> —0 <sup>30</sup>	—	4,4	6,0	6,3	6,7
Средняя за сутки	—	5,4	6,4	7,0	7,7
<b>I. IX. 57 г.</b>					
<b>II. Зодский перевал</b>					
0 <sup>30</sup> —1 <sup>30</sup>	4,4	5,0	5,8	6,3	6,9
1 <sup>30</sup> —2 <sup>30</sup>	5,1	5,9	7,0	7,7	8,1
2 <sup>30</sup> —3 <sup>30</sup>	2,3	2,4	2,8	2,8	3,9
3 <sup>30</sup> —4 <sup>30</sup>	2,9	3,3	4,2	4,4	4,8
4 <sup>30</sup> —5 <sup>30</sup>	2,7	3,1	3,8	3,9	4,6
5 <sup>30</sup> —6 <sup>30</sup>	6,1	6,6	7,5	8,0	8,6
7 <sup>30</sup> —8 <sup>30</sup>	6,5	7,1	8,3	8,3	9,6
8 <sup>30</sup> —9 <sup>30</sup>	6,5	7,7	8,3	8,7	9,2
9 <sup>30</sup> —10 <sup>30</sup>	6,8	7,2	8,8	8,9	9,2
10 <sup>30</sup> —11 <sup>30</sup>	6,3	7,5	8,0	8,7	9,8
11 <sup>30</sup> —12 <sup>30</sup>	5,6	6,8	8,9	9,4	9,9
12 <sup>30</sup> —13 <sup>30</sup>	6,4	7,0	7,5	8,6	8,9
13 <sup>30</sup> —14 <sup>30</sup>	6,1	7,3	8,5	9,5	9,4
14 <sup>30</sup> —15 <sup>30</sup>	5,3	6,3	7,7	8,0	9,0
15 <sup>30</sup> —16 <sup>30</sup>	2,1	2,5	3,8	4,3	4,7
16 <sup>30</sup> —17 <sup>30</sup>	3,3	4,0	4,8	5,5	6,7
17 <sup>30</sup> —18 <sup>30</sup>	4,0	4,5	5,4	5,5	5,9
18 <sup>30</sup> —19 <sup>30</sup>	5,2	6,3	7,2	7,7	8,6
19 <sup>30</sup> —20 <sup>30</sup>	6,5	7,9	9,5	10,0	10,8
20 <sup>30</sup> —21 <sup>30</sup>	5,7	6,6	7,9	9,9	9,6
21 <sup>30</sup> —22 <sup>30</sup>	5,4	6,3	7,4	8,7	9,7
22 <sup>30</sup> —23 <sup>30</sup>	4,7	5,3	6,4	7,1	7,8
23 <sup>30</sup> —0 <sup>30</sup>	5,1	5,5	7,0	7,6	8,2
Средняя за сутки	5,0	5,7	6,7	7,3	8,1

частично связано с уменьшением силы трения по мере удаления от поверхности земли и расположением окружающих гор вокруг исследуемого района. В энергетических расчетах для определения теоретических среднегодовых скоростей ветра, согласно полученным данным в условиях горных районов Армении, можно использовать следующую преобразованную нами формулу Подтягина:

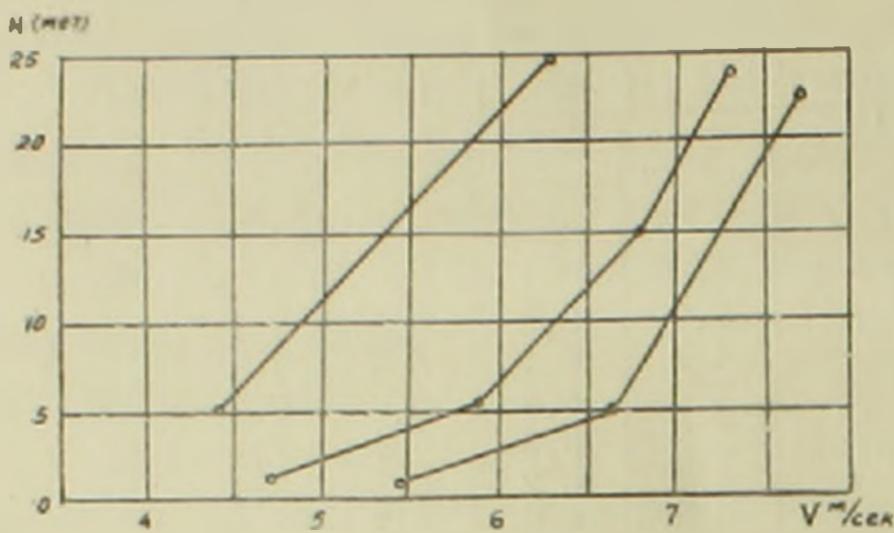


Рис. 1. Изменение скорости ветра с высотой на Сиснанском перевале по среднесуточным данным

В энергетических расчетах для определения теоретических среднегодовых скоростей ветра, согласно полученным данным в условиях горных районов Армении, можно использовать следующую преобразованную нами формулу Подтягина:

$$V = V_M + 0,571i + 0,11H \text{ м/сек,}$$

- где  $V$  — среднегодовая скорость ветра.  
 $V_M$  — известная величина среднегодовой скорости ветра на месте установки ВЭС.  
 $H$  — высота установки ветроколеса в метрах,  
 $i$  — класс открытости метеостанции.

Предложенную зависимость можно использовать до высоты 30 метров.

**Выводы.** 1. В исследуемых районах скорость ветра с высотой увеличивается. Величина увеличения составляет на каждый метр подъема в среднем 0,11 м/сек.

2. Увеличение скорости ветра с высотой зависит от высоты и расположения окружающих гор.

3. Дальнейшие исследования необходимо вести круглогодично, не только на перевалах, но и в низовьях и котловинах на разных пунктах горных районов Армении.

Совет по изучению производительных сил  
 Академии наук Армянской ССР

Ս. Ե. ՇԱԿՈՒՅԱՆ

**Հայաստանի լեռնային շրջաններում բազմաբնույթի քամու սրագուրյան փոփոխման բնութագիրը**

Քամու էներգիայի օգտագործման էֆեկտիվությունը որոշելու համար անհրաժեշտ է մի շարք ցուցանիշների հետ միասին որոշել նույնպես քամու արագության փոփոխման մեծությունը բազմաբնույթի պարբերական, որը համարվում է ամենակարևոր պայմանը քամանիվի տեղակայման նպատակահարմար բարձրությունը ընտրելու համար:

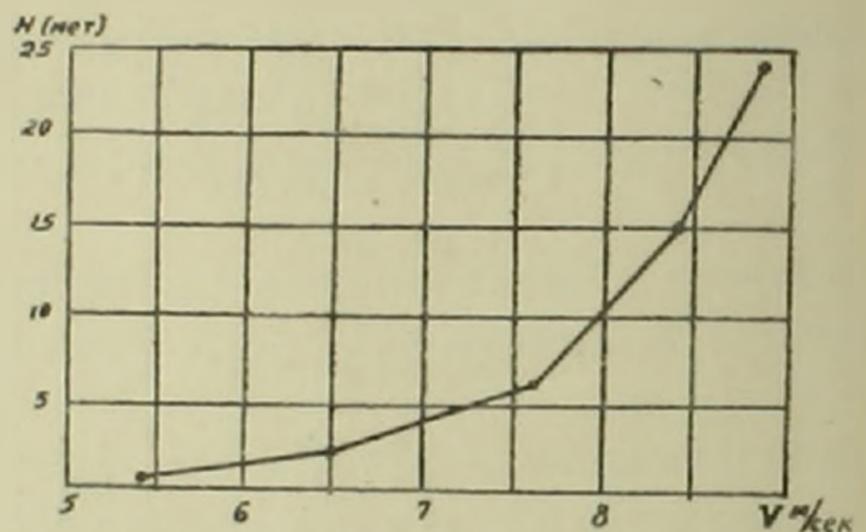


Рис. 2. Изменение скорости ветра с высотой по среднесуточным данным на зодском перевале

Հողփածուսմ բնութեան է սուսփած Հայաստանի լեռնային շրջաններում քամու արագութեան փոփոխման բնութագրի ըստ բարձրութեան: Աշխատանքը կատարված է ԱՍԻՈՒԽ-ի կողմից քամու էներգիայի օգտագործման կապակցութեամբ 1957 թվականին կազմակերպված Սիսիանի և Զոդի լեռնանցքներում էքսպեդիցիոն նյութերի մշակման հիման վրա:

Քամու արագութեան բնութագրի ուսումնասիրութեան ըստ բարձրութեան ցույց է տալիս, որ քամու արագութեան մեծութեանը Հայաստանի լեռնային շրջաններում սեռում է ըստ բարձրութեամբ 0,02 մետր վայրկյան ավելին քան հարթավայրերում, որոնց համար տվյալներ առաջադրել են Պոդտյագինը և Գելմանը: Բացի այդ քամու արագութեան ածի մեծութեանը մթնոլորտի ստորին շերտերում ավելի ինտենսիվ է, քան բարձր շերտերում:

## ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- <sup>1</sup> М. С. Подтягин, Математический анализ измерений ветра, Геофизика, т. V, вып. I, 1935. <sup>2</sup> С. А. Сапожникова, Измерение скорости ветра с высотой в нижнем слое воздуха, Л., 1946. <sup>3</sup> Г. Гельман, Über die Bewegung der Luft in den untersten Schichten der Atmosphäre. Met. Zeit., B. 34, H. 8/9, 1937. <sup>4</sup> В. П. Ветчинкин, Принципы ветроиспользования, разработанные А. Г. Уфимцевым, Труды ЦАГИ, первая всесоюзная конференция по аэродинамике, М., 1932. <sup>5</sup> Д. Л. Лайхтман, Изв. АН СССР, сер. географич. и геофизич., № 1, 1944. <sup>6</sup> М. И. Будыко, „Метерология и гидрология“, № 2, 1946. <sup>7</sup> Н. В. Красовский, Как использовать энергию ветра. М., 1936. <sup>8</sup> С. Е. Акопян, ДАН АрмССР, т. XXV, № 2, (1957).