АКАДЕМИЯ НАУК СССР
КАЗАНСКИЙ ФИЛИАЛ

ИЗВЕСТИЯ
КАЗАНСКОГО ФИЛИАЛА АКАДЕМИИ НАУК СССР

СЕРИЯ ЭНЕРГЕТИКИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Выпуск 1

КАЗАНЬ 1957

II-146

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
КАЗАНСКИЙ ФИЛИАЛ

ИЗВЕСТИЯ
КАЗАНСКОГО ФИЛИАЛА АКАДЕМИИ НАУК СССР

СЕРИЯ ЭНЕРГЕТИКИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Выпуск 1

КАЗАНСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ
АКАДЕМИЯ НАУК СССР

КАЗАНЬ 1957

Ответственный редактор профессор *Ю. В. Скобельцын*

П-17840
ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
А.Н. Киргизской ССР

Печатается по постановлению Редакционно-издательского совета
Казанского филиала Академии наук СССР

ИЗВЕСТИЯ КАЗАНСКОГО ФИЛИАЛА АКАДЕМИИ НАУК СССР
СЕРИЯ ЭНЕРГЕТИКИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА
Вып. 1 *1957*

Н. И. Беднов, В. А. Капустин

ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ И РЕЖИМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАЙОНОВ

Электрификация сельскохозяйственных районов в СССР получила за последнее десятилетие настолько большое развитие, что настало время для некоторых обобщений и выводов, которые могут быть использованы в практике предстоящего, еще более широкого сельского электростроительства. Справедливо ставится вопрос о необходимости при проектировании ориентироваться на фактические данные эксплуатационной практики, характеризующие режим энергопотребления сельскохозяйственных районов.

В настоящей статье приведены данные, характеризующие состояние электрификации и режим энергопотребления четырех сельскохозяйственных районов, снабжаемых энергией на протяжении уже значительного числа лет от крупных промышленных энергосистем.

В этих условиях развитие электрификации районов и режим энергопотребления свободны от ограничений, которые часто бывают при электроснабжении от местных сельскохозяйственных электростанций. Потребители получают энергию бесперебойно, нормального качества и по приемлемым для них тарифам.

Значительное место мы уделяем данным, характеризующим потребителей энергии и структуру присоединенной мощности, так как лишь на фоне их представляют интерес эксплуатационные показатели режимов энергопотребления.

Белоярский район, расположенный в 40—50 км от г. Свердловска, является типичным пригородным районом. Электрификация его началась с 1947 года после сооружения в районном центре Белоярка подстанции 35/10 кв, питаемой от системы Свердловэнерго.

К семи из общего числа восьми питающих линий 10 кв, отходящих от подстанции, подключены сельскохозяйственные потребители, однако не имеется ни одной линии с чисто сельскохозяйственной нагрузкой.

В состав потребителей Белоярской подстанции входят 14 колхозов, 2 МТС, один совхоз, две опытные животноводческие фермы, ИПС, а также 22 промпредприятия, среди которых основными по мощности являются: деревообделочная фабрика (мощность ТП — 560 ква), мельзавод (мощность ТП — 500 ква), лесохимзавод (мощность ТП — 180 ква), щебзавод (мощность ТП — 320 ква), железнодорожная станция Баженово (мощность ТП — 100 ква).

86 потребительских ТП, подключенных к сети 10 кв на 1955 год, распределяются между различными категориями потребителей следующим образом:

Таблица 1

Наименование потребителей	ТП		Мощность ТП	
	количество	%	ква	%
1. Колхозы	35	40,7	1270	24,0
2. Совхозы, МТС и пр. сельскохозяйственные потребители	25	29,0	1205	22,8
3. Предприятия местной промышленности и др.	26	30,3	2820	53,2
Итого . . .	86	100	5295	100

Таким образом, примерно половина ТП по мощности и около 70% по количеству относятся к сельскохозяйственным потребителям.

В таблице 2 приведены производственные характеристики девяти колхозов, входящих в зону обслуживания Баженовской МТС, по состоянию на 1955 г. По этим колхозам, достаточно характерным для всего района, ниже приводятся данные о состоянии их электрификации.

Таблица 2

Наименование колхозов	Число дворов	Общая площадь землепользования га	Площадь пахотных земель га	Площадь под зерновыми культурами га	Площадь под картофелем и овощами га	Количество					Подсобные производства
						Лошадей	Кр. рогатого скота	Свиней	Овец	Птицы	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. „Яровой Колос“	390	7570	3488	1660	298	315	1058	729	881	2387	Кузница, мельница, лесопилка, кирпичный завод.
2. „Заря Коммунизма“ . .	145	3746	1488	683	105	94	406	280	355	1546	Лесопилка, кузница, столярная мастерская.
3. „Авангард“	450	8181	3983	2230	233	335	848	623	484	4057	Мельница, кузница, лесопилка.
4. Им. Тельмана.	325	6582	2670	1660	365	296	764	535	406	2708	Кузница, мастерская, мельница, шерстобитка, лесопилка.
5. „Красный Сеятель“ . .	198	3937	1677	683	169	145	437	366	250	2197	Лесопилка, мельница, мастерская, кузница.
6. Им. Молотова	115	3304	1362	681	105	112	387	252	306	1895	Мельница, кузница, лесопилка.
7. Им. Сталина	219	3994	1799	467	162	116	478	352	350	1160	Мельница, кузница, лесопилка, мастерская.
8. „Рассвет“ .	215	4145	2402	1070	157	198	457	535	372	1020	Кузница, мастерская.
9. Им. Тимирязева	131	2028	1190	681	98	86	308	178	332	1910	Лесопилка, мельница, кузница.
В среднем на 1 колхоз . .	246	4820	2220	1090	188	188	570	430	415	2100	

В каждом колхозе имеется по 1—2, а в некоторых по 3 трансформаторных пункта 10/0,4 кв.

Установленная мощность потребителей в колхозах составляет около 1760 квт, в том числе мощность электродвигателей около 1580 квт, т. е. 90%. Установлено 333 электродвигателя (см. таблицу 3) или на один колхоз от 20 до 75 электродвигателей (в среднем по 37).

Таблица 3

Наименование колхозов	Число электродвигателей	Установл. мощность электродвигат. квт.	Устан. мощность осветительно-бытовых токоприемников квт.	Общая установл. мощность квт.	Общая присоед. мощность квт.	Отношение присоед. мощности к мощности ТП	Мощность силовых токоприемников в % к общей установленной мощности
1	2	3	4	5	6	7	8
1. „Яровой Колос“.	75	301,8	34,0	335,8	411	1,21	89,9
2. „Заря Коммунизма“	22	154,0	16,5	170,5	208	2,08	86,3
3. „Авангард“ .	46	248,5	44,0	292,5	355	2,62	85,0
4. Им. Тимирязева.	24	127,5	15,0	142,5	175	2,7	89,5
5. Им. Тельмана .	30	167,1	11,0	178,1	220	2,3	93,8
6. „Красный Сеятель“	41	193,5	14,0	207,5	256	2,7	93,7
7. Им. Молотова .	20	103,5	10,0	113,5	139	0,9	91,2
8. Им. Сталина . .	33	171,5	11,0	182,5	225	2,37	94,0
9. „Рассвет“ . .	42	168,5	22,0	190,5	238	2,45	88,5
В среднем на 1 колхоз	37	184,0	19,7	203,7	246	2,14	90,0

Таблица 4 показывает распределение электродвигателей по процессам производства.

Таблица 4

Наименование процессов	Электродвигатели		Мощность электродвиг.	
	количество	%	квт	%
1. Обработка зерна	65	19,5	165	10,4
2. Кормоприготовление	30	9,0	182	11,5
3. Другие процессы в животноводстве	16	5,1	31,5	2,0
4. Водоснабжение	17	4,8	78,7	5,0
5. Вспомогательные производства (мельницы, лесопилки и пр.)	38	11,4	459	29,0
6. Мастерские, гаражи и пр. . .	167	50,2	669,7	42,1
Итого .	333	100	1585,9	100

Динамика развития электропривода во всех 14 колхозах района, дающая возможность судить о темпах развития электрификации, приводится в таблице 5 и на рис. 1.

Таблица 5

	Годы							
	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954
Количество электродвигателей	53	192	302	351	418	438	449	462
Мощность электродвигателей (квт)	352	1115	1540	1762	2042	2120	2177	2440

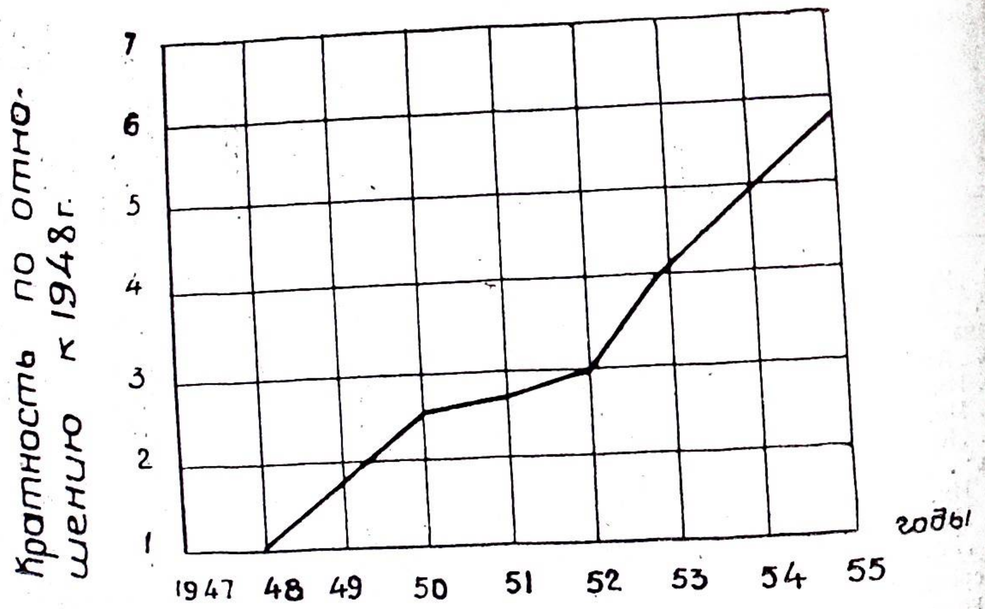


Рис. 1. Динамика развития электропривода в колхозах Белоярского района.

Средние и предельные значения основных показателей степени электрификации колхозов зоны Баженовской МТС определяются цифрами таблицы 6.

Таблица 6

Наименование показателей		Единицы измерения	От	До	Средн.
1		2	3	4	5
Мощность потребительских ТП на 1 колхоз		ква	65	340	130
Мощность и число электродвигателей	на 1 колхоз	шт. / квт	20 / 104	75 / 302	33 / 176
	на 1 колх. двор	шт. / квт	0,09 / 0,515	0,21 / 1,06	0,15 / 0,79
	на 100 га земли	шт. / квт	0,46 / 2,5	1,18 / 6,3	0,77 / 5,0
	на 100 га пашни	шт. / квт	1,12 / 6,25	2,44 / 11,55	1,64 / 8,3
	на 100 голов кр. рогат. скота	шт. / квт	3,9 / 21,9	9,3 / 44,3	6,5 / 32,3

Продолжение табл. 6.

Наименование показателей		Единицы измерения	От	До	Средн.
1		2	3	4	5
Соотношение силовой и общей установленной мощности		—	0,86	0,94	0,9
Годовое энергопотребление	на 1 колхоз	т. квтч.	45,8	342	182
	на 1 колх. двор	"	0,35	1,275	0,762
	на 100 га земли	"	1,87	6,15	3,8
	на 100 га пашни	"	3,85	14,1	8,36
	на 100 голов кр. рогатого скота	"	14,9	47,7	32,3

На рис. 2 показано распределение энергопотребления по месяцам (в процентах к годовому) для 9 колхозов зоны Баженовской МТС. В таблице 7 приведены данные о числе часов использования в году присоединенной мощности потребителей и установленной мощности трансформаторных пунктов.

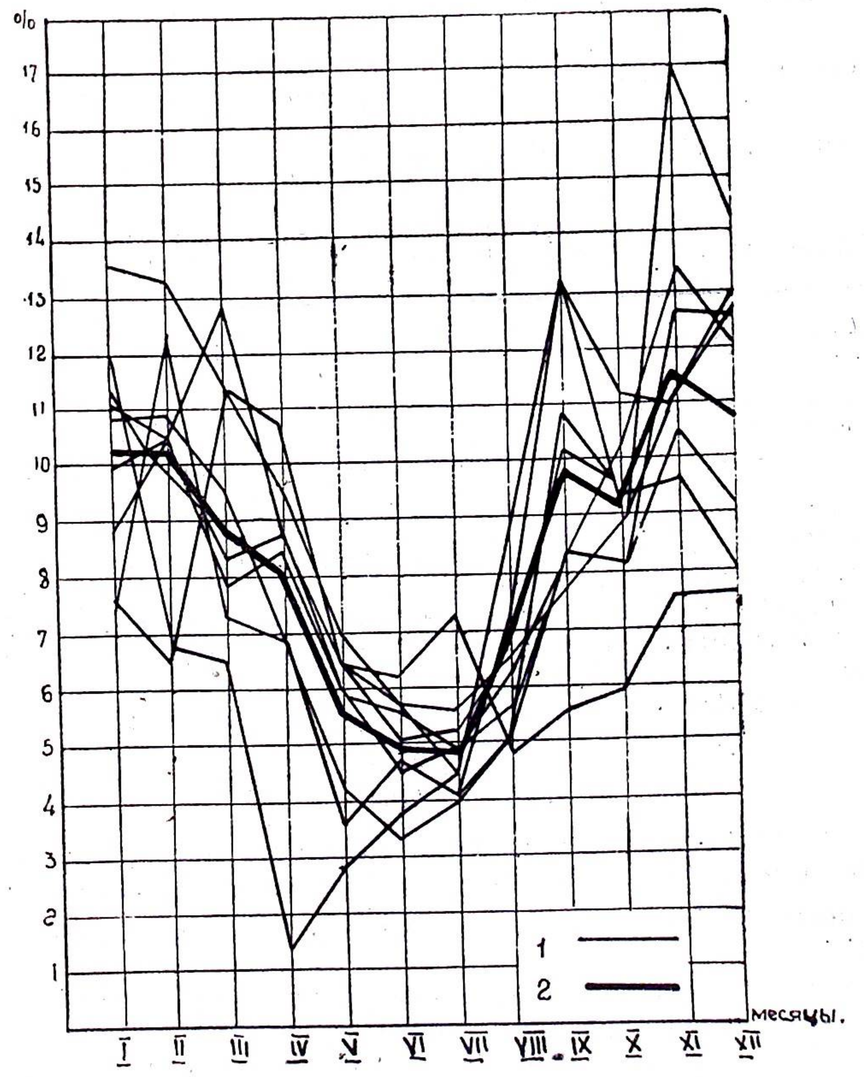


Рис. 2. Распределение годового энергопотребления по месяцам в колхозах Белоярского района.

1 — по отдельным колхозам; 2 — в среднем по всем колхозам.

Таблица 7

Наименование колхозов	Число часов использования присоединенной мощности			Число часов использования установленной мощности		
	1953 г.	1954 г.	1955 г.	1953 г.	1954 г.	1955 г.
1	2	3	4	5	6	7
1. „Яровой Колос"	840	915	490/930	910	1005	590/1190
2. „Заря Коммунизма"	495	670	425/685	700	960	499/1000
3. „Авангард"	610	820	266/500	1580	2120	695/1290
4. Им. Тельмана	530	610	250/420	1135	1300	575/970
5. „Красный Сеятель"	700	920	520/1000	1840	2430	1390/2700
6. Им. Молотова	770	1515	560/1250	605	1190	505/1120
7. Им. Сталина	695	670	500/1310	1520	1520	1180/3100
8. „Рассвет"	695	660	360/650	1610	1615	920/1600
9. Им. Тимирязева	нет сведений	264	150/284	нет сведений	705	400/760
В среднем на 1 колхоз	620	780	400/770	1080	1370	730/1410

Примечание к табл. 7: В графах за 1955 год числитель обозначает число часов использования за 7 месяцев, по которым имелись фактические данные об энергопотреблении, знаменатель — ожидаемое число часов использования за год.

На рис. 3 представлены графики нагрузок на стороне 10 кв подстанции 35/10 кв за 4 сезона 1954 года. Абсолютная максимальная нагрузка (2800 квт) была зарегистрирована в декабре. Коэффициент заполнения графиков изменяется по сезонам от 0,67 (весна) до 0,837 (зима).

Средняя годовая нагрузка на подстанции за 1954 год составляла 1660 квт.

Общий коэффициент заполнения годового графика:

$$\gamma = \frac{P_{ср.}}{P_{макс.}} = \frac{1660}{2800} = 0{,}59.$$

Средневзвешенный коэффициент мощности ($\cos\varphi$) за 1954 год составлял (по данным Белоярского отделения Сельэлектро) 0,88.

Ютазинский район — расположен в юго-восточной части Татарской АССР.

Направление хозяйства колхозов района — зерно-животноводческое; преобладающие культуры — рожь и пшеница.

С 1947 года 11 колхозов района (из общего числа 26) получают электроэнергию от линии 6 кв.

Присоединенных к линии потребителей можно разделить на 3 группы:

А. 11 колхозов.

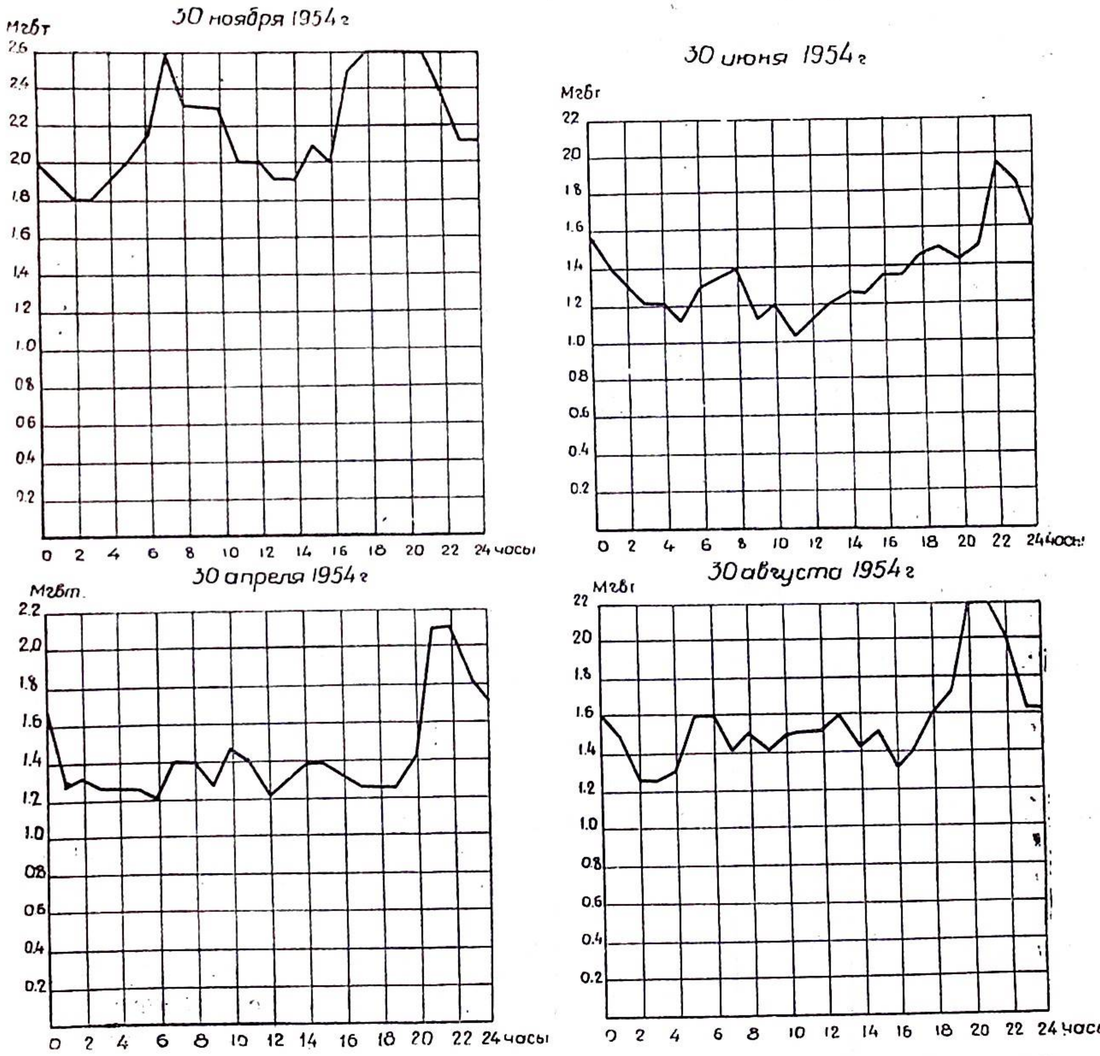


Рис. 3. Графики нагрузок за характерные месяцы на шинах 10 кв Белоярской районной подстанции.

Б. Потребители, характерные для сельскохозяйственных районов: Ютазинская МТС, Байрякинская МТС, Заготзерно, Пищепром, ИПС, Промкомбинат.

В. Потребители, нехарактерные для сельскохозяйственных районов: кумысолечебница, авторота, автобаза, Уфаэлектрострой, ж.-д. станция.

На 1955 год всего к фидеру подключено 37 потребительских ТП, общей мощностью 1635 ква.

В таблице 8 показано распределение ТП по группам потребителей, среди которых, как видно, основными являются сельскохозяйственные потребители.

Таблица 8

Наименование потребителей	ТП		Мощность ТП	
	количество	%	ква	%
1. Колхозы	27	73,0	845	52
2. Потребители, характерные для с.х. районов	5	13,5	525	32
3. Потребители, нехарактерные для с.х. районов	5	13,5	265	16
Итого	37	100	1635	100

Производственные характеристики электрифицированных колхозов приведены в таблице 9.

Таблица 9

Наименование колхозов	Число дворов	Общая площадь землепользования га	Площадь пахотных земель га	Площадь под зерновыми культурами га	Площадь под картофелем и овощами га	Количество					Подсобные производства
						лошадей	кр. рогатого скота	свиней	овец	птицы	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. „Гигант" . .	186	2686	1534	1012	71	280	251	251	750	900	Кузниц — 3, мельниц —2, цирк. пил —2.
2. Им. Жданова	85	1839	1165	772	32	67	172	172	630	550	Кузница, мельница, циркульная пила.
3. Им. Кирова	317	5042	3549	1956	141	389	611	431	2049	2982	Мельница, столярная мастерская, пилорама, кузница, кирпичный завод.
4. Им. Тукая .	182	2156	1752	1051	71	334	302	194	1018	3082	Кузниц — 4, мельниц — 4, циркульных пил — 4.
5. Им. К. Маркса	250	9958	1942	1220	74	274	378	209	1246	9181	Кузница, мельница, столярная мастерская, пилорама, крупорушка, циркульная пила.
6. „Коммунизмга" . .	404	6675	5332	3477	167	396	534	312	2012	4845	Кузница, столярная мастерская, мельница, маслобойка, циркульная пила.
7. Им. Микояна	133	1840	1223	895	55	186	261	207	968	1359	Кузница, мельница, циркульная пила.
8. „Уныш" . .	138	2024	1405	906	53	246	154	240	1082	2387	То же
9. „Кзыл Тан"	143	1622	1214	832	24	121	190	130	618	998	То же
10. Им. Чапаева	79	2369	1793	802	40	140	225	192	807	2170	То же
11. „Ютаза" .	140	3429	2596	1666	90	315	366	364	1470	1260	Кузниц — 2, мельниц — 2, шерстобитка, маслобойка.
В среднем на 1 колхоз . .	187	3600	2130	1320	74	250	313	246	1140	2700	

В таблице 10 приведены сведения о колхозных электроустановках.

Таблица 10

Наименование колхозов	Число электродвигателей	Установленная мощность электродвигателей квт.	Установленная мощность осветительно-бытовых токоприемников квт	Общая установленная мощность квт.	Общая присоединен. мощность квт.	Отношение присоед. мощности к мощности ТП	Мощность силовых токоприемн. в % к общей устан. мощности
1 2	3	4	5	6	7	8	9
1. „Гигант"	14	51,2	12,6	63,8	73,4	1,22	80,4
2. Им. Жданова	4	20,8	8,9	29,7	33,3	0,18	70,0
3. Им. Кирова	9	65,0	17,8	82,8	94,3	1,34	78,7
4. Им. Тукая	27	173,7	15,4	189,1	216,2	2,50	91,1
5. Им. К. Маркса	10	68,0	31,4	99,4	112,5	1,13	68,6
6. „Коммунизмга"	10	61,1	48,0	109,1	119,0	0,98	56,0
7. Им. Микояна	20 *	107,6 *	16,0	123,6	159,9	2,30	87,1
8. „Уныш"	6 **	40 **	17,7	57,7	62,0	1,24	69,3
9. „Кзыл-Тан"	5	23,3	17,3	40,6	46,3	2,30	57,4
10. Им. Чапаева	5	28,1	7,7	35,8	41,0	0,82	78,5
11. „Ютаза"	11	64,6	12,6	77,2	102,6	1,70	83,7
В среднем на 1 колхоз	10,5	60,0	18,6	78,6	92,0	1,40	76,5

Распределение электродвигателей по различным процессам производства приведено в таблице 11.

Таблица 11

Наименование процессов	Электродвигатели		Мощность электродвиг.	
	колич.	%	квт	%
1 2	3	4	5	6
1. Обработка зерна	26	22,0	118	17,7
2. Кормоприготовление	12	10,0	65	9,8
3. Водоснабжение	8	6,7	33	5,0
4. Вспомогат. производства	62	52,8	408	61,8
5. Прочие	10	8,5	38	5,7
Итого . .	118	100	662	100

В таблице 12 и на рис. 4 показана динамика развития электропривода в колхозах за период с 1947 по 1955 г.

Таблица 12

	Годы								
	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955
1. Количество электродвиг. в колхозах . .	4	19	32	51	54	65	86	106	118
2. Мощность электродвиг. в колхозах (квт)	23	114	196	279	306	330	470	556	662

* В эту цифру включены водоподогреватель и электросварочный агрегат.
** В эту цифру включена зерносушилка.

Удельные показатели, характеризующие степень электрификации колхозов, приведены в таблице 13.

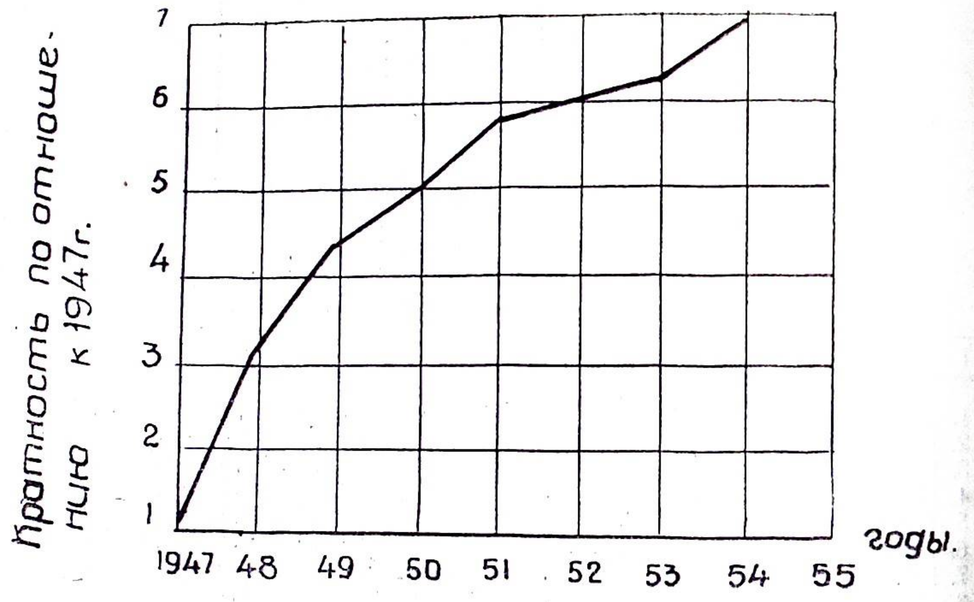


Рис. 4. Динамика развития электропривода в колхозах Ютазинского района.

Таблица 13

Наименование показателей		Единицы измерения	От	До	Сред.
1		2	3	4	5
1. Мощность потребительских ТП на 1 колхоз		ква	20,0	180,0	77,0
Мощность и число электродвигателей	на 1 колхоз	шт.	4,0	27,0	10,5
		квт	20,8	173,7	60,0
	на 1 колхозный двор	шт.	0,025	0,148	0,065
		квт	0,15	0,95	0,35
	на 100 га земли	шт.	0,1	0,98	0,40
		квт	0,64	8,0	2,17
	на 100 га пашни	шт.	0,19	1,48	0,60
		квт	0,93	9,9	3,2
	на 100 голов кр. рогатого скота	шт.	1,46	9,00	3,85
		квт	10,1	57,0	19,2
2. Соотношение силовой и общей установленной мощности			0,56	0,91	0,76
Годовое энергопотребление	на 1 колхоз	т. квтч.	31,9	338,7	106,0
	на 1 колхозный двор	»	0,374	0,840	0,530
	на 100 га земли	»	1,22	6,38	3,33
	на 100 га пашни	»	1,8	7,8	5,0
	на 100 голов крупн. рогатого скота	»	18,5	63,5	35,0

Распределение годового энергопотребления по месяцам показано на рис. 5. В таблице 14 приведены показатели годового числа часов использования за 1955 год.

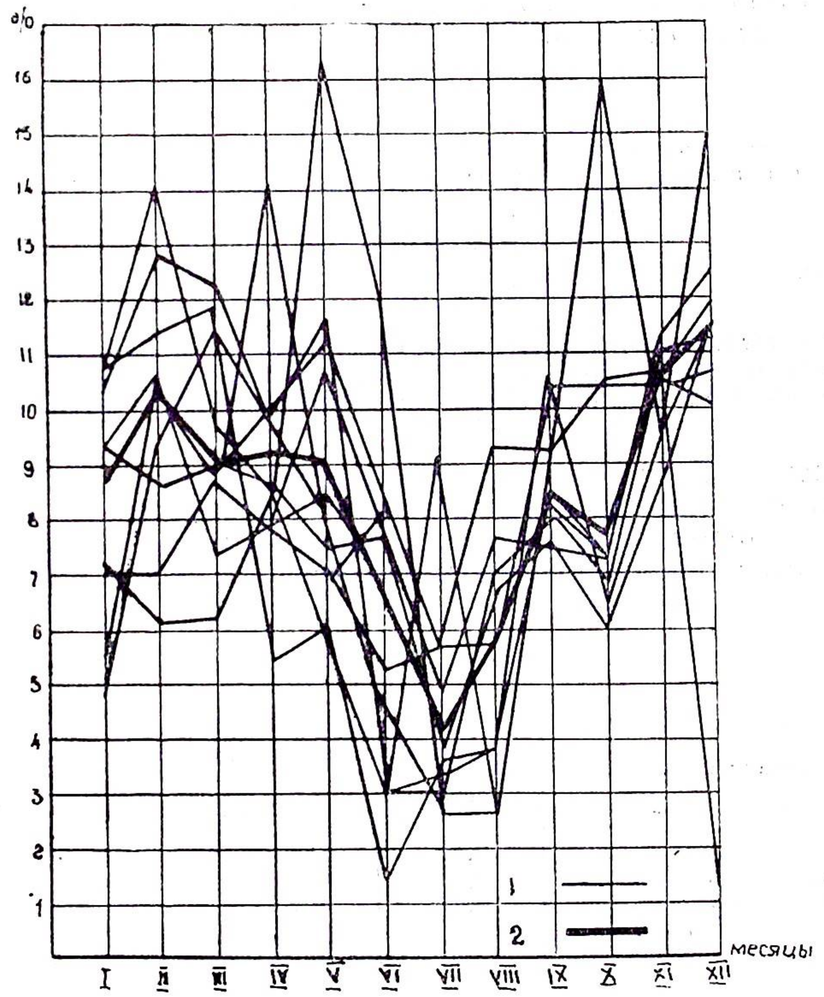


Рис. 5. Распределение годового энергопотребления по месяцам в колхозах Ютазинского района.

1 — по отдельным колхозам; 2 — в среднем по всем колхозам.

Таблица 14

Наименование колхозов	Число часов использования	
	присоединенной мощности	установленной мощности ТП
1	2	3
1. „Гигант"	1770	2170
2. Им. Жданова	1410	—
3. Им. Кирова	1810	2440
4. Им. Тукая	580	1450
5. Им. К. Маркса	1085	1208
6. „Коммунизмга"	3400	4088
7. Им. Микояна	635	1450
8. „Уныш"	1250	1560
9. „Кзыл-Тан"	1320	3050
10. Им. Чапаева	1230	1000
11. „Ютаза"	940	1610
В среднем на 1 колхоз	1400	2000

На рис. 6 показаны суточные графики нагрузок по фидеру в целом за характерные (по сезонам) месяцы 1955 и 1956 гг.

В таблице 15 приведены вычисленные на основе графиков коэффициенты заполнения „γ", коэффициенты спроса K_c и среднесуточный $\cos\varphi$ для каждого месяца.

Таблица 15

Показатели \ Годы и месяцы	1955 г.			1956 г.								
	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь
Коэффициент заполнения γ	0,65	0,71	0,80	0,68	0,79	0,67	0,69	0,57	0,62	0,51	0,64	0,68
Коэффициент спроса K_c	0,30	0,33	0,35	0,37	0,32	0,33	0,28	0,26	0,24	0,20	0,27	0,29
Среднесуточный $\cos\varphi$ . .	0,883	0,918	0,938	0,945	0,92	0,89	0,88	0,85	0,82	0,80	0,77	0,80

На рисунке 7 показаны суточные графики нагрузок (для летнего и зимнего сезонов) отдельных колхозов, присоединенных к фидеру, заснятые часовыми записями по счетчикам на колхозных ТП. В таблице 16 приведены коэффициенты заполнения и спроса, вычисленные на основе этих графиков.

Таблица 16

Наименование колхозов	Коэффициент заполнения		Коэффициент спроса	
	лето	зима	лето	зима
„Уныш"	0,56	0,74	0,22	0,36
Им. Чапаева	0,35	0,66	0,28	0,34
Им. Кирова	0,48	0,77	0,26	0,56
Им. Тукая	—	0,71	—	0,15

Высокогорский район Татарской АССР расположен в 20—30 км от г. Казани и является типичным пригородным районом. С 1948 года 7 колхозов района, а также ряд других потребителей, присоединены к двум фидерам 10 кв (№ 19 и № 23), питаемым от мощной подстанции системы Казэнерго. Их можно разделить на три группы:

А. Колхозы.

Б. Потребители, характерные для сельскохозяйственных районов.

В. Потребители, нехарактерные для сельскохозяйственных районов.

К фидеру 19 присоединено 3 колхоза, к фидеру 23 — 4 колхоза.

Из потребителей группы Б присоединены: МТС, райцентр, откормочный совхоз, зверосовхоз (фидер № 19); учхоз, Заготскот, зверосовхоз (фидер № 23).

Из потребителей группы В присоединены: насосная станция, санаторий, карьер, железнодорожная водокачка, спиртзавод (к фидеру № 19); пионерский лагерь, Казпищепром, Дом отдыха, артель „Прогресс" (к фидеру 23).

На 1956 год к фидеру № 19 присоединены 21 потребительских ТП, общей мощностью 1485 ква; к фидеру № 23 — 15 ТП, общей мощностью 665 ква.

Производственные характеристики электрифицированных колхозов по состоянию на 1956 год приведены в таблице 17.

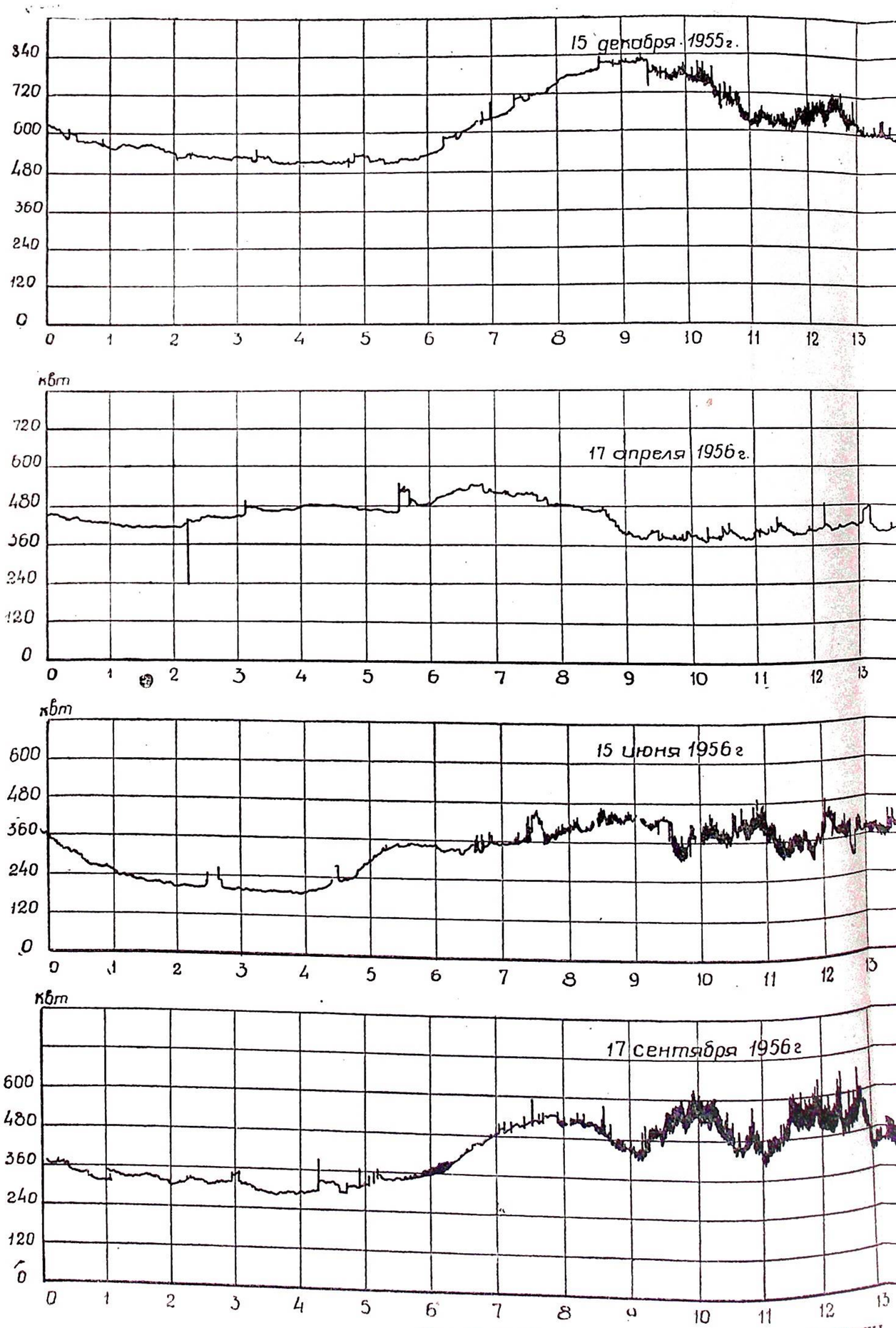


Рис. 6. Графики нагрузок за характерные месяцы

по фидеру в целом
.
ве графиков коэф-
и среднесуточный

Таблица 15

956 г.

май	июнь	июль	август	сентябрь
0,57	0,62	0,51	0,64	0,68
0,26	0,24	0,20	0,27	0,29
0,85	0,82	0,80	0,77	0,80

узок (для летнего
ненных к фидеру,
козных ТП. В таб-
роса, вычисленные

Таблица 16

Коэффициент спроса	
лето	зима
0,22	0,36
0,28	0,34
0,26	0,56
—	0,15

ожен в 20—30 км
йоном. С 1948 года
лей, присоединены
т мощной подстан-
три группы:

ственных районов.
вяйственных райо-

ру 23 — 4 колхоза.
, райцентр, откор-
Заготскот, зверо-

асосная станция,
иртзавод (к фидеру
цыха, артель „Про-

потребительских
3—15 ТП, общей

кированных колхо-
ие 17.

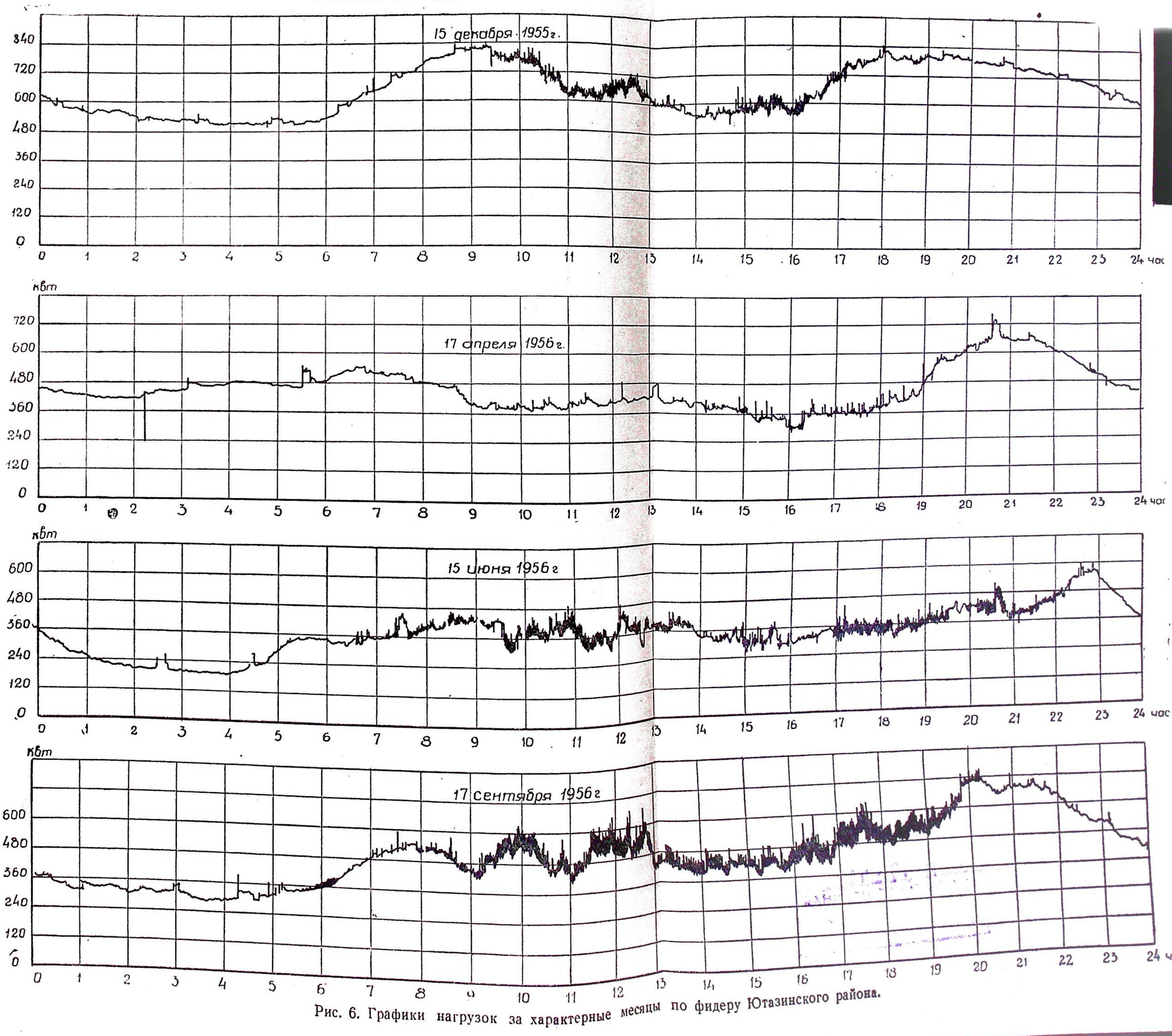
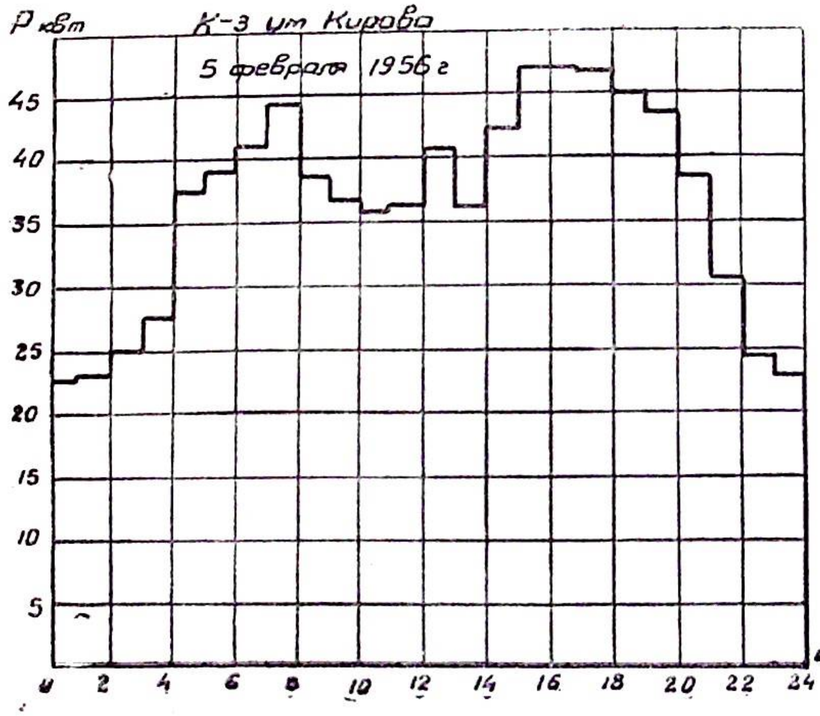
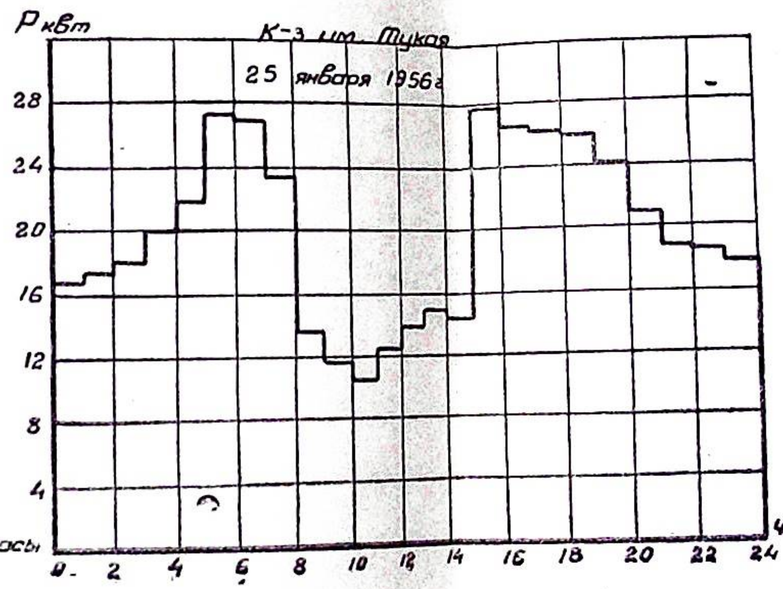
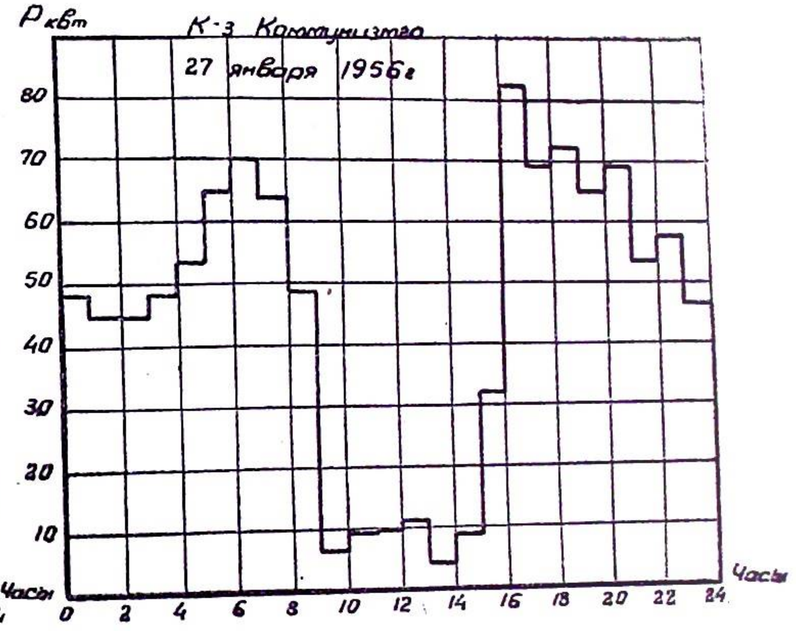
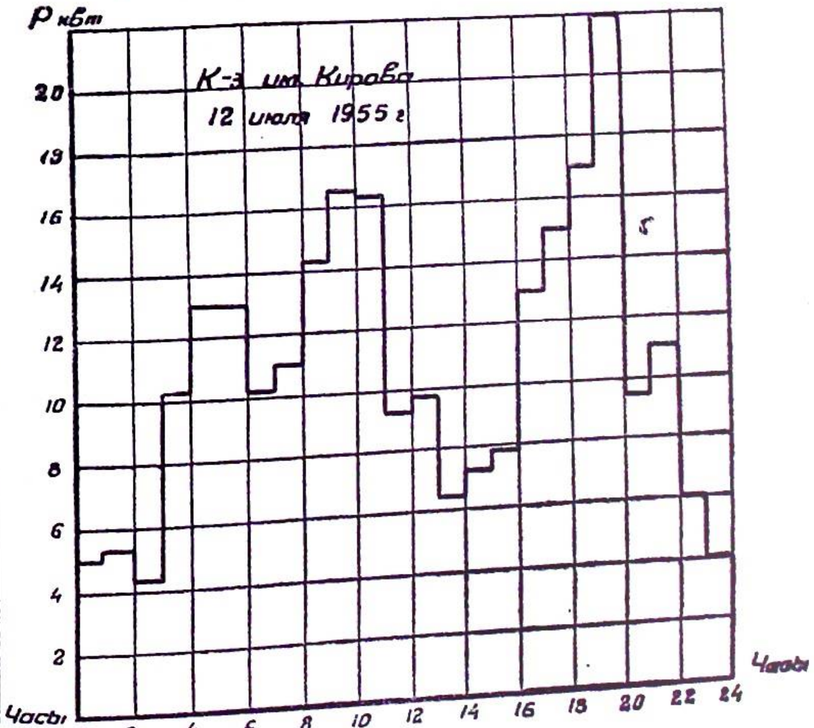


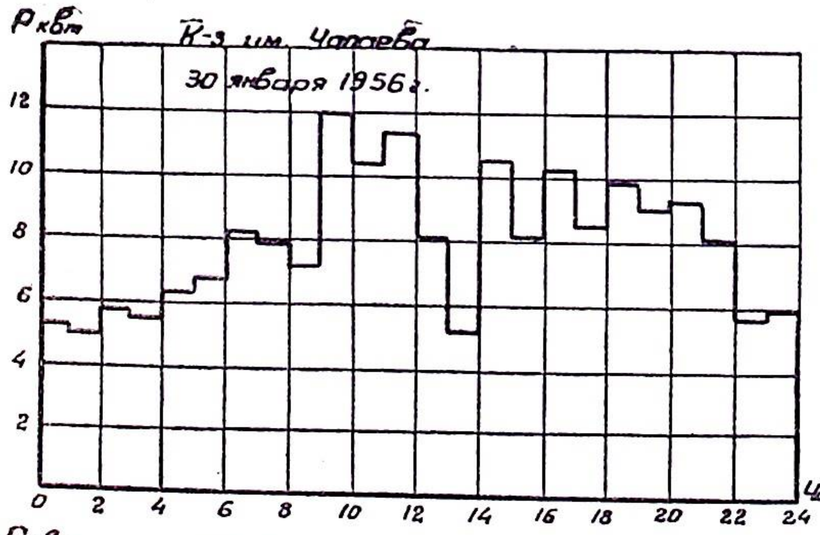
Рис. 6. Графики нагрузок за характерные месяцы по фидеру Ютазинского района.

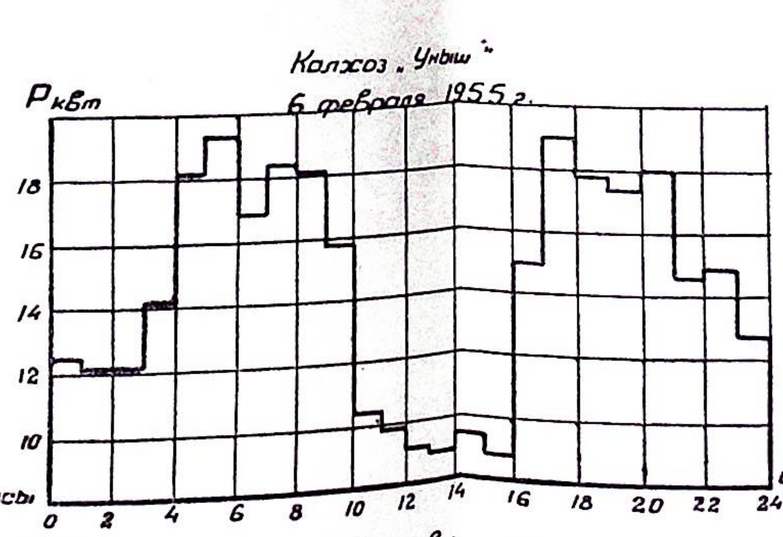


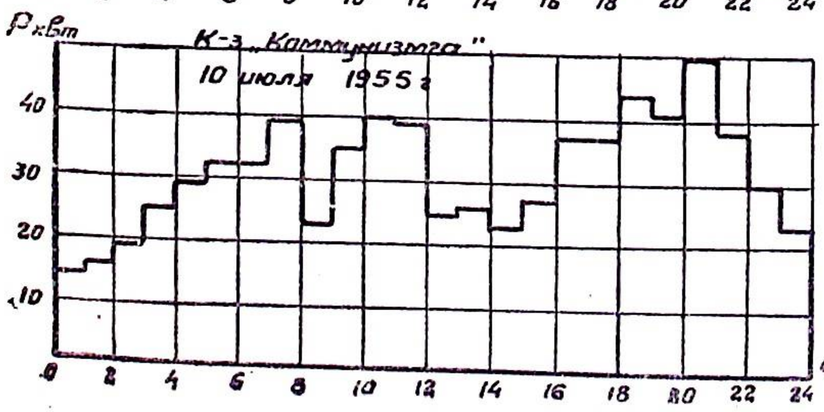


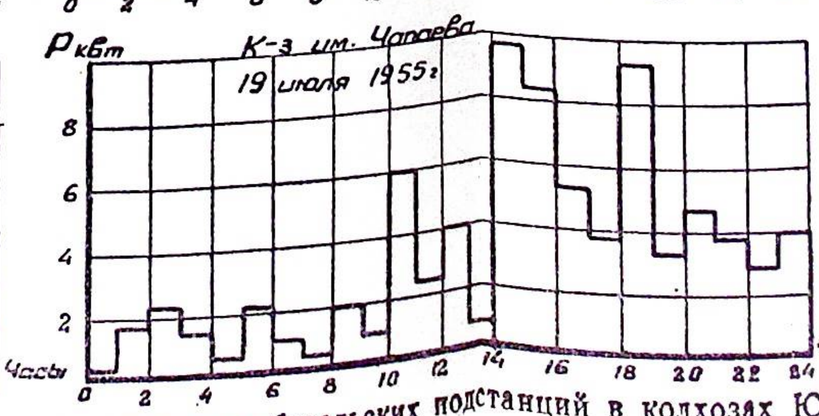












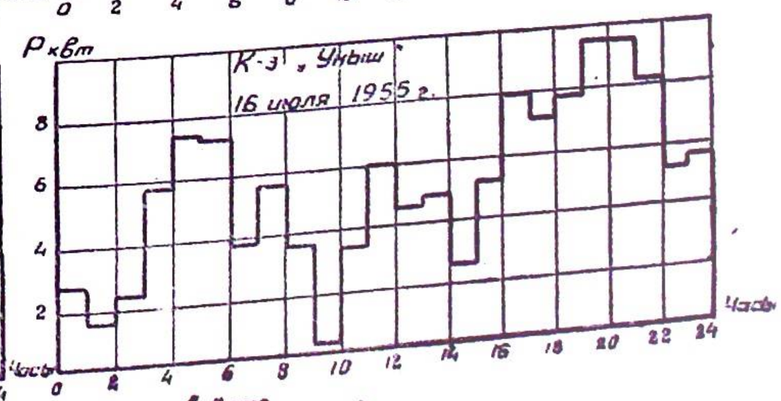


Рис. 7. Графики нагрузок потребительских подстанций в колхозах Ютазинского района.

Таблица 1.

№ фидера	Наименование колхозов	Число дворов	Общая площадь землепользования га	Площадь пахотных земель га	Площадь под зерновыми культурами га	Площадь под картофелем и овощами га	Количество					Подсобные производства
							лошадей	кр. рогатого скота	свиней	овец	птицы	
Фидер 19	Им. Чернышевского	192	2208	1538	726	215	135	307	190	474	377	Кузниц — 2, мельница, шерстобойка, пилорама, крупорушка.
	Им. Калинина	208	2863	2455	1165	200	70	300	400	430	1600	Теплица, циркульная пила, мельница.
	Им. Буденного	206	2347	1927	1204	215	183	256	300	530	400	Столярная мастерская, мельница, кузница.
	В среднем на 1 колхоз по зоне фидера	202	2470	1970	1022	210	129	288	297	476	790	—
Фидер 23	Им. Мичурина	483	1891	1015	545	146	90	190	180	310	730	Бетономешалка, кузница, теплица, мельница.
	„Правда“	220	2385	1423	940	160	70	200	350	354	800	Теплица, мельница, кузниц — 2, циркульных пил — 2.
	„12 лет Октября“	135	1963	1146	892	86	43	129	161	232	203	Кузница, мельница.
	„Путь Ленина“	288	3665	3200	1910	195	100	310	420	500	1500	То же
	В среднем на 1 колхоз по зоне фидера	282	2409	1680	1070	146	76	207	277	350	756	—
	В среднем на 1 колхоз по району в целом	245	2430	1820	1040	178	102	247	286	410	780	—

Таблица 18

Наименование потребителей	Фидер № 19				Фидер № 23			
	ТП		мощность ТП		ТП		мощность ТП	
	количество	%	ква	%	количество	%	ква	%
1. Колхозы	10	48	295	20	6	40	350	53
2. Потребители, характерные для с.х. районов	6	28	650	44	4	27	120	18
3. Потребители, нехарактерные для с.х. районов . .	5	24	540	36	5	33	195	29
Итого . . .	21	100	1485	100	15	100	665	100

В таблице 18 показано распределение ТП по группам потребителей. Как видно, значительная часть ТП как по количеству, так и по мощности относится к сельскохозяйственным потребителям.

В таблице 19 приведены сведения о колхозных электроустановках.

Таблица 19

№ фидера	Наименование колхозов	Число электродвигателей	Устан. мощность электродвиг. квт	Устан. мощность осветительно-бытовых токоприемников квт	Общая устан. мощность квт	Общая присоед. мощность квт	Отношение присоед. мощности к мощности ТП	Мощность силовых токоприемников в % к общей устан. мощности
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Фидер 19	Им. Чернышевского . .	19	85,1	67,7	152,8	173,7	1,73	56
	Им. Калинина	7	36,0	56,3	92,3	101,3	1,35	39
	Им. Буденного	24	106,3	58,8	165,1	191,8	1,66	65
	В среднем на 1 колхоз по зоне фидера	17	76,0	61,0	137,0	155,0	1,58	53
Фидер 23	„Правда"	11	61,8	61,8	123,6	139,0	1,46	50
	Им. Мичурина	15	76,8	59,6	136,4	155,6	1,20	56
	„12 лет Октября"	4	19,9	20,0	39,9	45,0	0,64	45
	„Путь Ленина"	2	22,8	11,7	34,5	40,2	0,27	66
	В среднем на 1 колхоз по зоне фидера	8	45,0	38,3	83,3	95,0	0,9	54
	В среднем на 1 колхоз по району в целом	12	58,5	48,0	106,5	121,0	1,2	54

Примечание к табл. 19: 5 двигателей колхоза им. Мичурина мощностью 24,5 квт и 9 двигателей колхоза „Правда" мощностью 43,8 квт присоединены к другим фидерам.

Распределение электродвигателей по различным процессам производства приведено в таблице 20.

Таблица 20

Наименование процессов	Фидер № 19				Фидер № 23			
	электродвигатели		мощность электродвигателей		электродвигатели		мощность электродвигателей	
	количество	%	квт	%	количество	%	квт	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Обработка зерна . .	12	24,0	62,6	27,6	3	9,4	19,9	11,0
2. Кормоприготовление .	4	8,0	24,3	10,7	4	12,4	27,5	15,2
3. Водоснабжение . . .	1	2,0	4,4	2,0	1	3,1	6,9	3,8
4. Вспомогательные производства	27	54,0	123,0	54,1	15	47,0	108,2	59,8
5. Прочие		12,0	12,7	5,6	9	28,1	18,5	10,2
Итого .	50	100	227	100	32	100	181	100

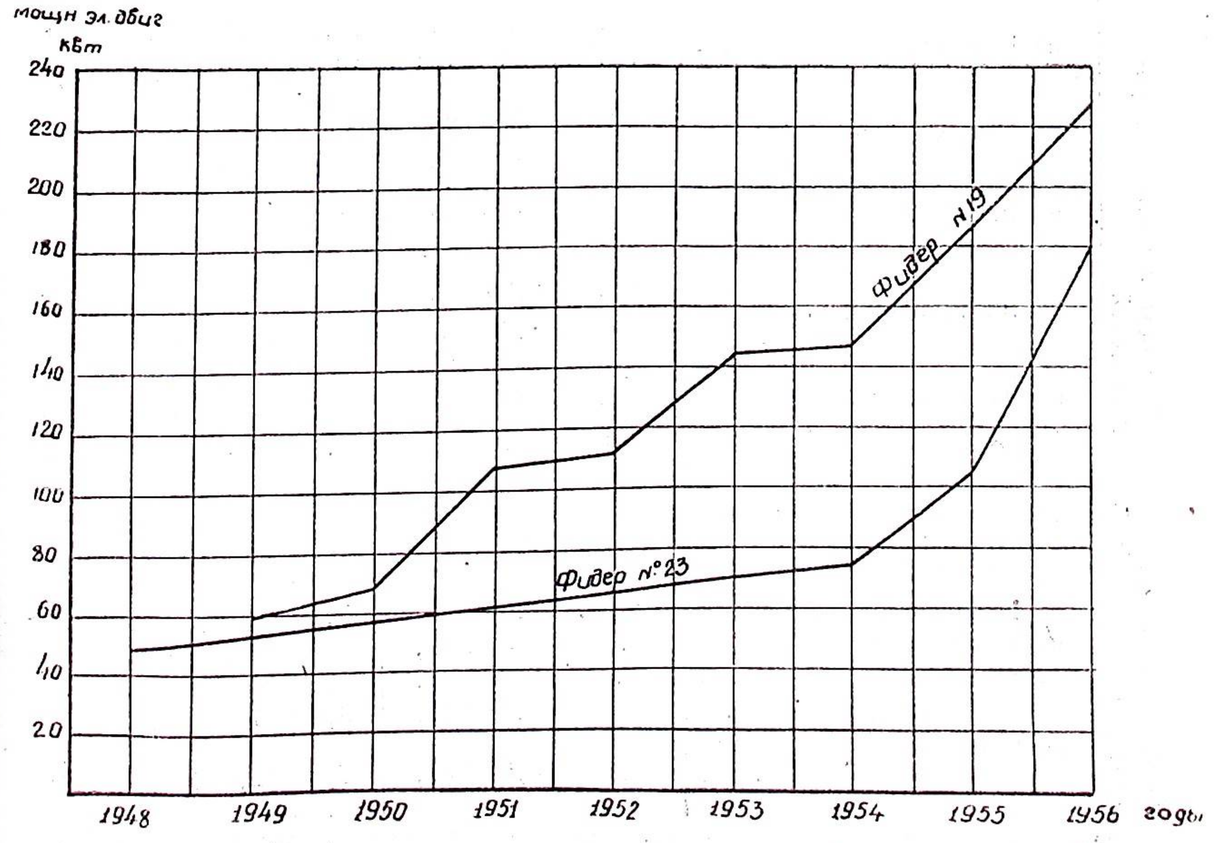


Рис. 8. Динамика развития электропривода в колхозах Высокогорского района.

ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА А.Н. Киргизской ССР

В таблице 21 и на рис. 8 показана динамика развития электропривода в колхозах.

Таблица 21

№ фидера		Годы								
		1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956
Фидер № 19	Количество электродвигателей . . .	—	12	15	20	22	29	31	41	50
	Мощность электродвигателей (квт) .	—	59,0	68,0	107,2	110,7	144,1	147,6	186,6	227
Фидер № 23	Количество электродвигателей . . .	6	6	6	6	6	6	10	22	32
	Мощность электродвигателей (квт) . .	49,1	49,1	49,1	49,1	49,1	49,1	72,7	104,8	181

Удельные показатели, характеризующие степень электрификации колхозов, приведены в таблице 22.

Таблица 22

Наименование показателей	Единицы измерения	Фидер № 19			Фидер № 23		
		от	до	средн.	от	до	средн.
Мощность потребительских ТП на 1 колхоз	ква	56,3	67,75	61,0	70,0	150,0	111,
Мощность и число электродвигателей: на 1 колхоз	шт.	7	24	16,6	2,0	15,0	8,0
	квт	36	106,3	76,0	19,9	76,86	45,0
на 1 колх. двор	шт.	0,033	0,116	0,084	0,007	0,065	0,033
	квт	0,17	0,52	0,37	0,08	0,35	0,19
на 100 га земли	шт.	0,25	1,03	0,72	0,55	0,63	0,36
	квт	1,25	4,6	3,25	0,62	3,36	2,04
на 100 га пашни	шт.	0,28	1,24	0,92	0,062	1,09	0,64
	квт	1,46	5,5	4,15	0,72	6,1	3,5
на 100 голов кр. рогатого скота	шт.	2,3	9,4	6,0	0,64	7,5	4,25
	квт	12,0	42,0	27,4	7,4	38,4	23,4
Соотношение силовой и общей установленной мощности . . .		0,39	0,65	0,55	0,45	0,66	0,54
Годовое энергопотребление: на 1 колхоз	т. квтч.	62,05	177,86	121,1	103,3	218,3	161,0
на 1 колх. двор	»	0,3	1,37	0,67	0,46	0,47	0,46
на 100 га земли	»	2,2	8,0	5,2	4,25	11,5	7,8
на 100 га пашни	»	2,5	11,6	6,9	7,25	21,6	14,4
на 100 голов кр. рогатого скота	»	20,6	57,0	37,1	52,0	114,0	83,0

Распределение годового энергопотребления по месяцам для фидера № 19 показано на рис. 9.

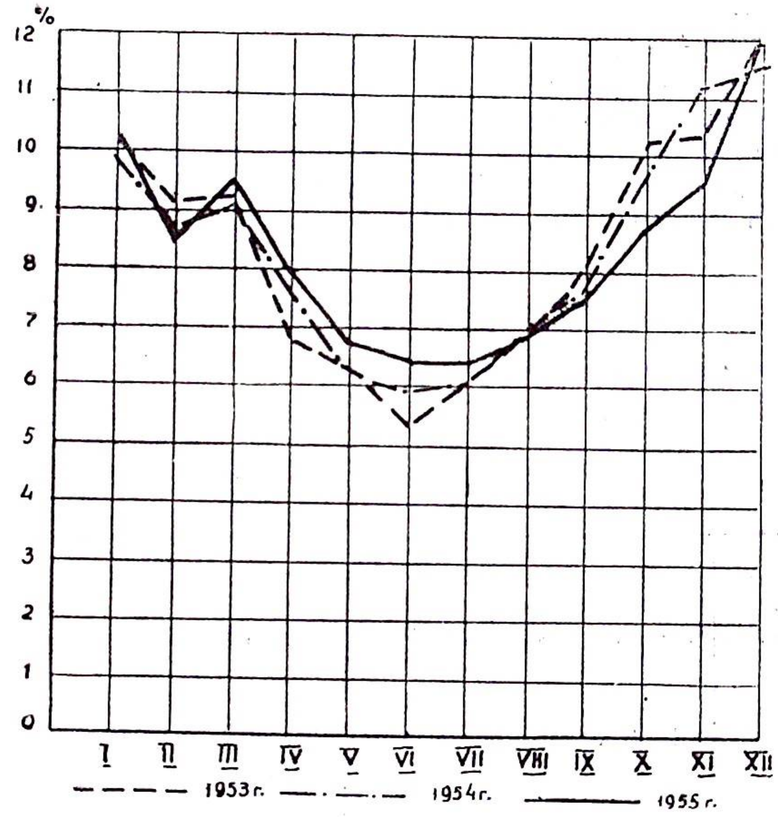
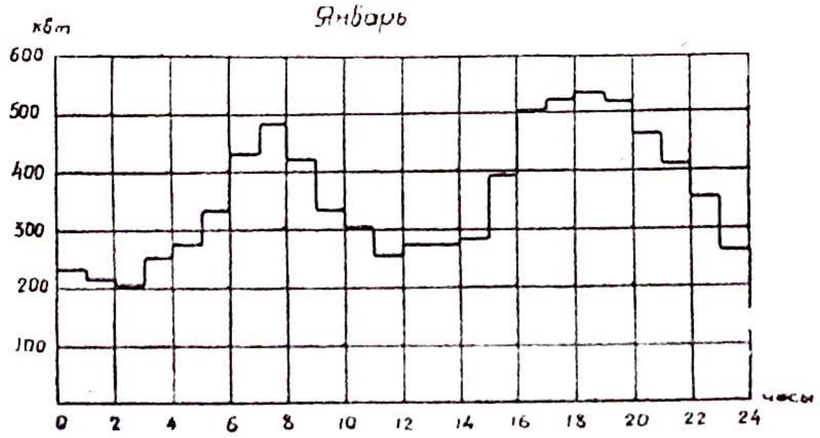


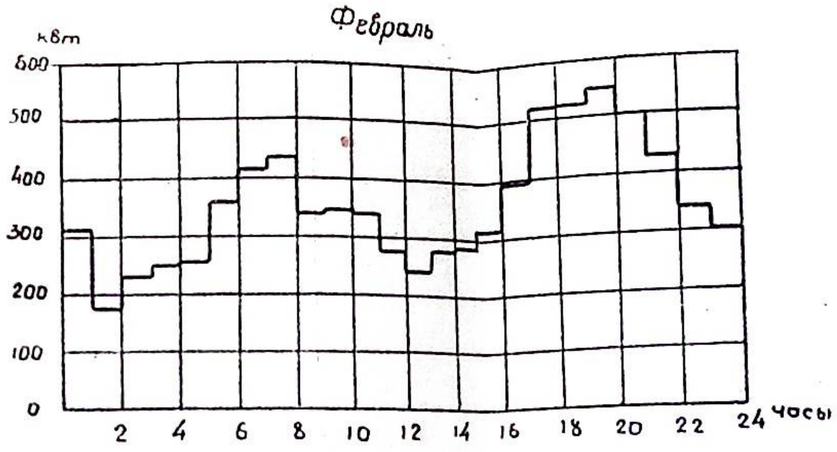
Рис. 9. Распределение годового энергопотребления по месяцам в зоне фидера № 19 Высокогорского района.

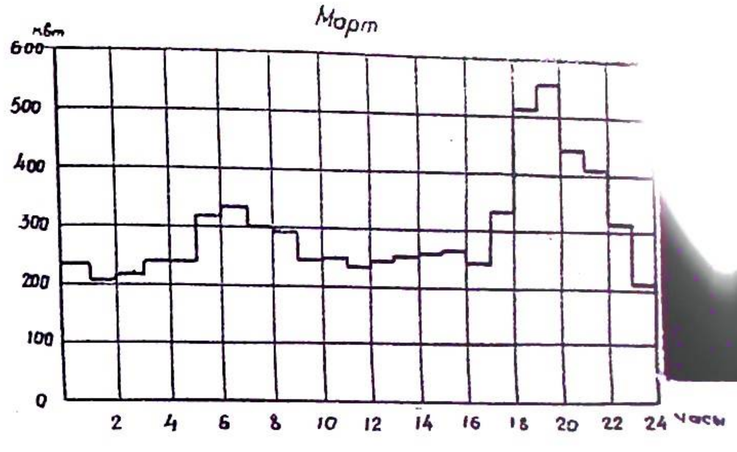
В таблице 23 приведены значения годового числа часов использования присоединенной мощности потребителей и установленной мощности потребительских ТП.

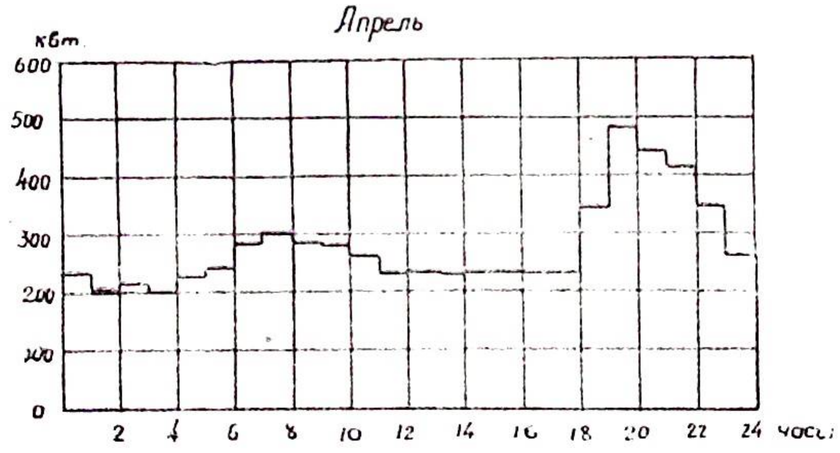
Таблица 23

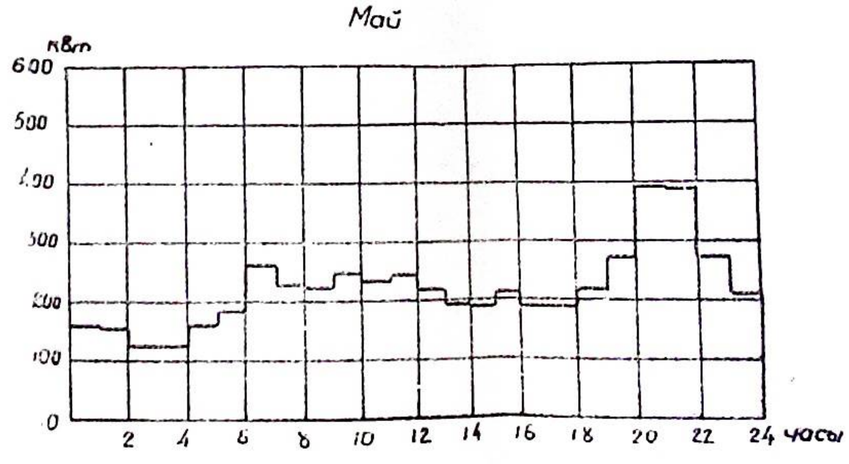
№ фидера	Наименование колхозов	Число часов использования	
		присоединенной мощности	установленной мощности ТП
1	2	3	4
Фидер № 19	Им. Чернышевского	1160	1780
	Им. Калинина	680	830
	Им. Буденного	770	1070
	В среднем на 1 колхоз	870	1225
Фидер № 23	„Правда"	1770	2300
	Им. Мичурина	760	800
	„12 лет Октября"	нет сведений	
	„Путь Ленина"	нет сведений	
	В среднем на 1 колхоз	1260	1550
	В среднем на 1 колхоз по району в целом	1030	1350

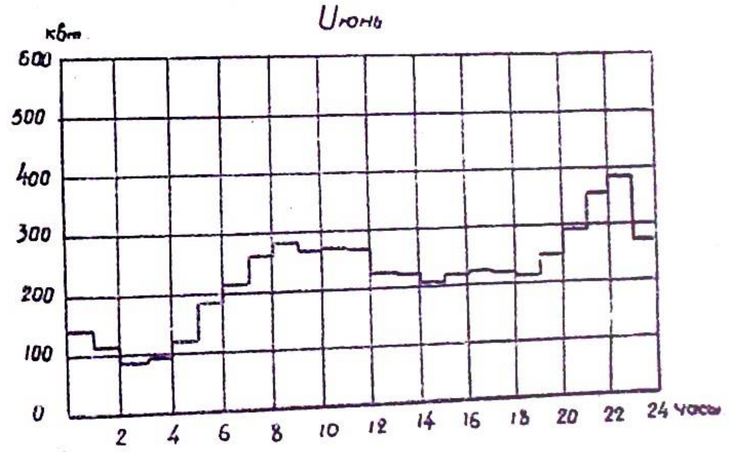


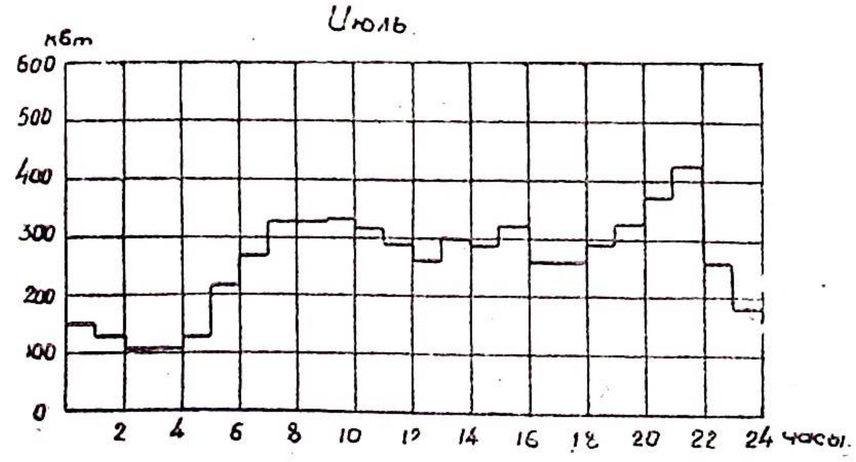


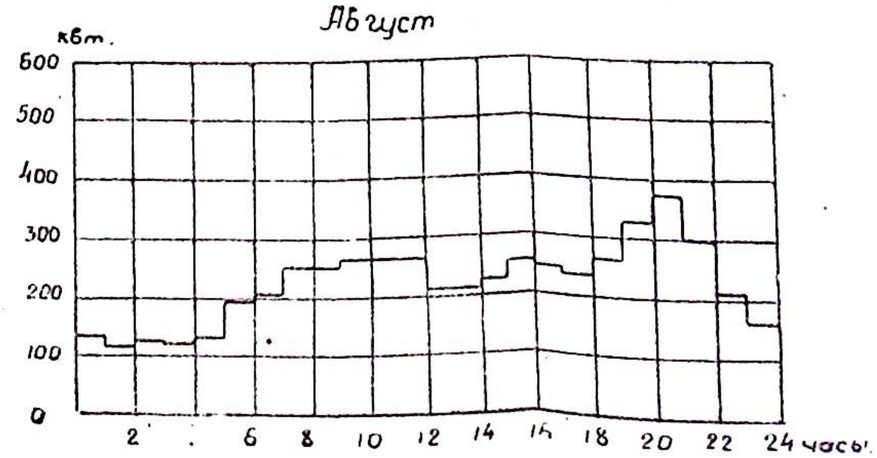


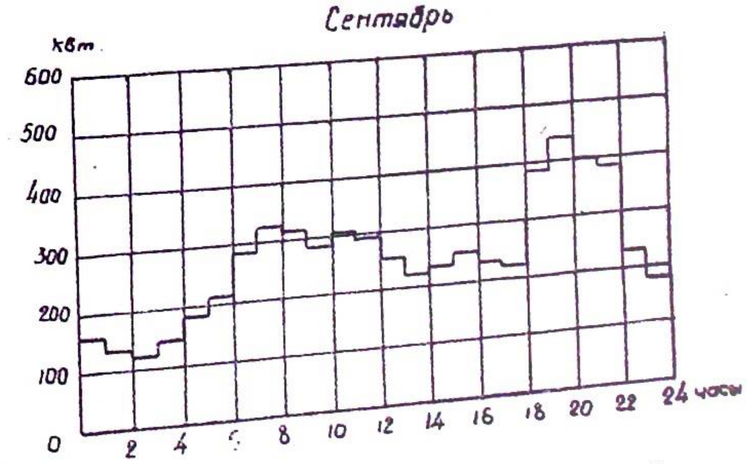


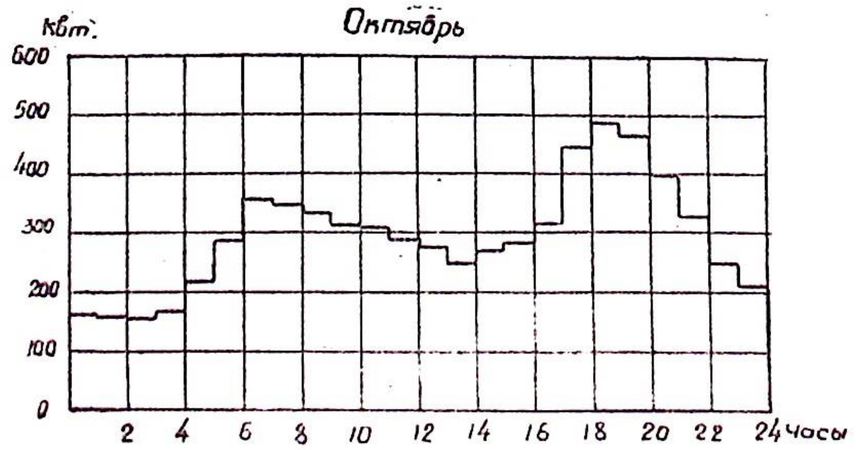


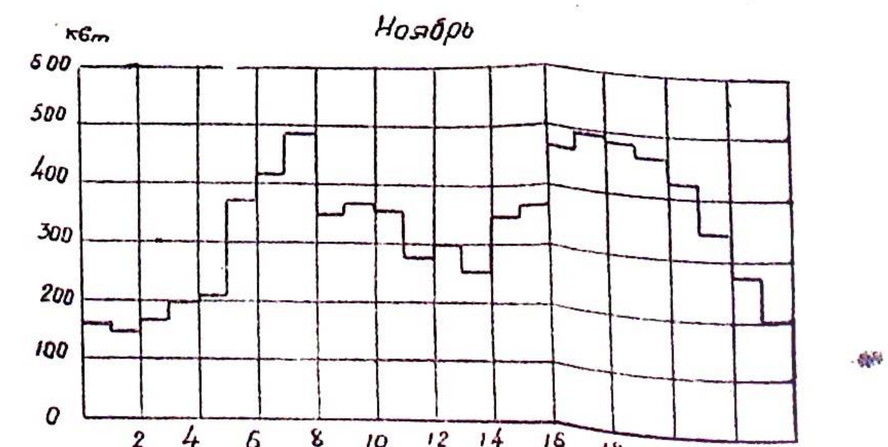












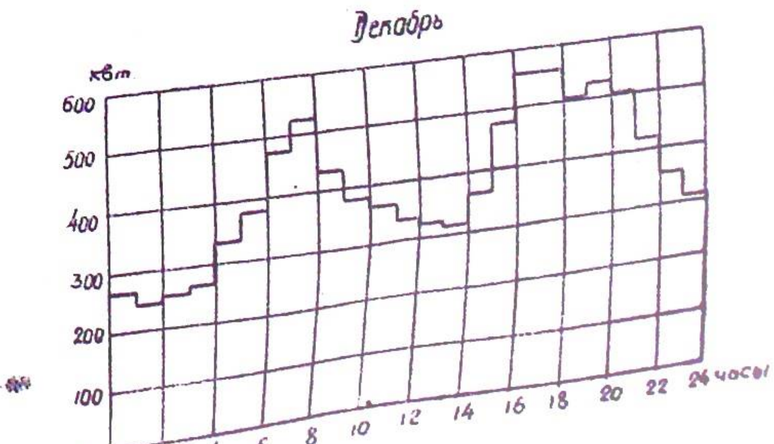


Рис. 10. Графики нагрузок за 12 месяцев по фидеру № 19 Высокогорского района.

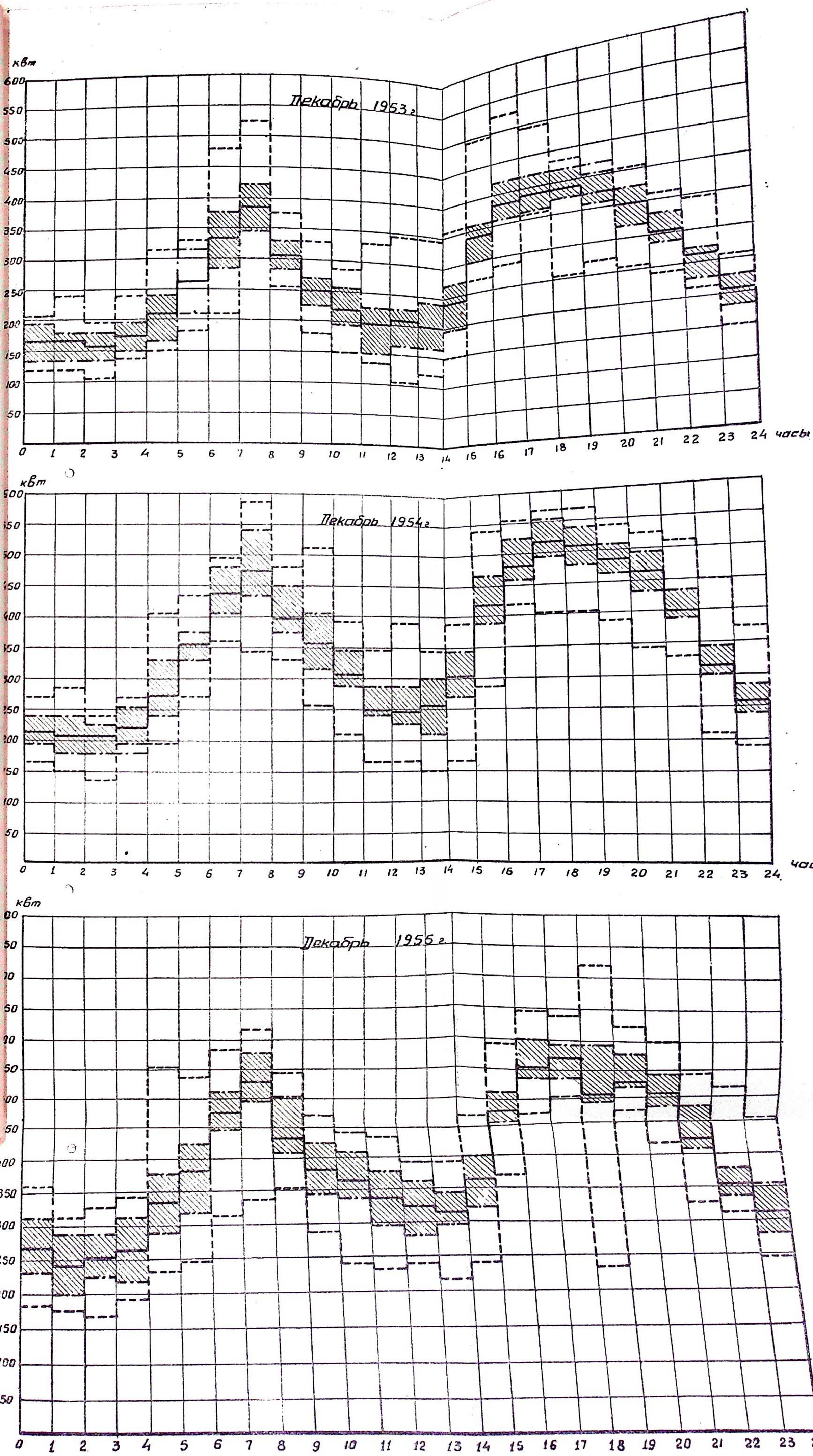


Рис. 11. Графики суточных нагрузок за декабрь 1953, 1954 и 1955 гг. по фидеру № 19 Высокогорского района.

Таблица 25

Наименование колхозов	Число дворов	Общая площадь землепользования га	Площадь пахотных земель га	Площадь под зерновыми культурами га	Площадь под картофелем и овощами га	Количество					Подсобные производства
						лошадей	кр. рогатого скота	свиней	овец	птицы	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. „Путь Ильича" . . .	274	2410	1717	1011	140	59	131	96	240	851	Кузниц — 2, шерстобитка.
2. Им. Кагановича	150	1906	1515	923	100	86	87	127	158	427	Кузница, молокозавод, циркульная цила.
3. „II съезд колхозников" .	364	3363	2262	2017	245	158	290	340	600	1000	Кузниц — 2, мельница, теплиц —2.
4. Им. Сталина	171	2093	1491	783	140	101	260	190	300	456	Кузниц — 2.
5. „14 лет Октября"	158	2100	1725	1050	115	66	123	106	159	—	Кузница, шерстобитка.
6. „Память Ленина" . . .	352	2257	1467	705	230	139	252	236	557	—	Кузниц — 3, мельница, циркульная пила.
В среднем на 1 колхоз .	245	2350	1680	1080	162	101	192	183	336	680	—

Таблица 26

Наименование колхозов	Число электродвиг.	Устан. мощность электродвиг. квт	Устан. мощность осветительно-бытовых токоприемн. квт	Общая установленная мощность квт	Общая присоединенная мощность квт	Отношение присоедин. мощности к мощности ТП	Мощность силовых токоприемников в % к общей устан. мощности
1	2	3	4	5	6	7	8
1. „Путь Ильича"	3	16,7	21,6	38,3	41,2	—	44
2. Им. Кагановича	4	12,8	9,9	22,7	25,2	1,26	28
3. „II съезд колхозников"	12	59,2	57,8	117,0	127,4	1,6	50
4. Им. Сталина	4	8,5	9,8	18,3	21,0	1,05	46
5. „14 лет Октября"	2	6,2	25,9	32,1	33,4	1,67	19
6. „Память Ленина"	1	2,8	18,9	21,7	22,4	0,9	13
В среднем на колхоз . . .	4	17,6	24,0	41,6	46,0	1,3	42

Таблица 27

Наименование процессов	Электродвигатели		Мощность электродвигателей	
	количество	%	квт	%
1	2	3	4	5
1. Обработка зерна	3	11,5	5,1	4,8
2. Кормоприготовление	5	19,2	19,7	18,5
3. Вспомогательные производства	8	31,0	57,6	54,2
4. Прочие	10	38,3	23,8	22,5
Итого	20	100	106,2	100

Динамика развития электропривода в колхозах показана в таблице 28.

Таблица 28

	Годы				
	1951	1952	1953	1954	1955
Количество электродвигателей	2	сведений нет	6	21	26
Мощность электродвигателей (квт)	9,0	"	38,6	92,1	106,2

Сводка средних и предельных значений показателей степени электрификации колхозов на 1955 год дана в таблице 29.

Таблица 29

Наименование показателей		Единицы измерения	От	До	Средн.
Мощность потребительских ТП на 1 колхоз		ква	20	80	31,5
Мощность и число электродвигателей	на 1 колхоз	шт. / квт	1 / 2,8	12 / 59,2	4 / 17,7
	на 1 колх. двор	шт. / квт	0,003 / 0,06	0,033 / 0,16	0,020 / 0,067
	на 100 га земли	шт. / квт	0,045 / 0,13	0,363 / 1,76	0,2 / 0,65
	на 100 га пашни	шт. / квт	0,07 / 0,19	0,53 / 2,6	0,27 / 0,91
	на 100 гол. крупн. рогатого скота	шт. / квт	0,40 / 1,1	4,6 / 14,6	2,5 / 9,2
Соотношение силовой и общей установленной мощности		—	0,13	0,50	0,43
Годовое энергопотребление	на 1 колхоз	т. квтч	16,5	123,2	45,6
	на 1 колх. двор	"	0,11	0,34	0,17
	на 100 га земли	"	0,87	3,7	1,8
	на 100 га пашни	"	1,39	5,6	2,63
	на 100 гол. кр. рогатого скота	"	9,14	42,5	22,0

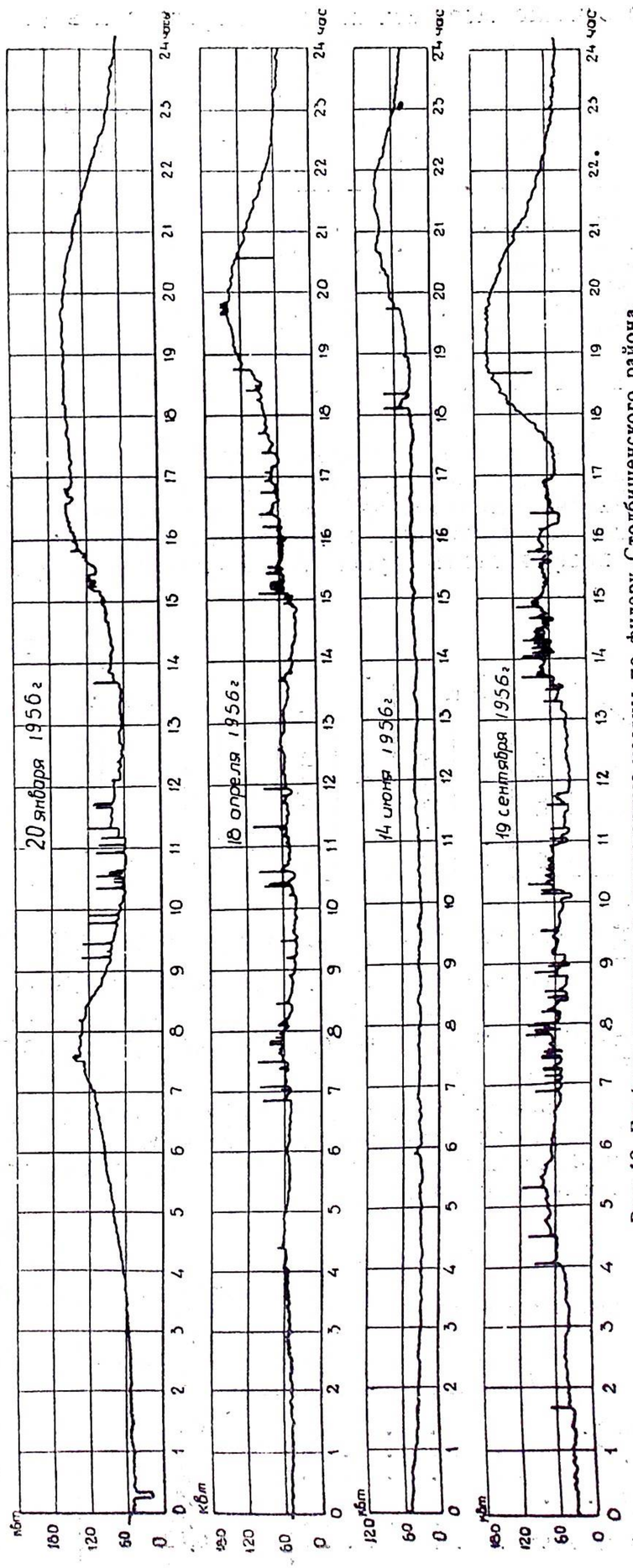


Рис. 12. Графики нагрузок за характерные месяцы по фидеру Столбищенского района.

Данные о числе часов использования приведены в таблице 30.

Таблица 30

Наименование колхозов	Число часов использования	
	присоединенной мощности	установленной мощности ТП
1. „Путь Ильича"	900	1480
2. Им. Кагановича	990	1240
3. „II съезд колхозников"	740	1170
4. Им. Сталина	610	640
5. „14 лет Октября"	1100	1820
6. „Память Ленина"	1300	1160
В среднем на 1 колхоз	940	1260

На рис. 12 приведены суточные графики нагрузок по фидеру за характерные (по сезонам) месяцы 1956 года, которые отражают преимущественно осветительный характер нагрузки.

В таблице 31 приведены коэффициенты заполнения (γ) этих графиков, коэффициенты спроса (K_c) и ощности ($\cos\varphi$).

Таблица 31

месяцы / показатели	1955 г.			1956 г.								
	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Коэффициент заполнения „γ"	0,43	0,53	0,54	0,62	0,55	0,53	0,42	0,42	0,35	0,35	0,31	0,44
Коэффициент спроса K_c	0,54	0,54	0,58	0,58	0,58	0,55	0,55	0,45	0,33	0,35	0,47	0,57
Среднесуточный cos φ	0,742	0,783	0,881	0,900	0,88	0,84	0,82	0,69	0,57	0,59	0,64	0,71

На рис. 13 приведены суточные графики нагрузок на потребительских ТП колхозов Столбищенского района.

В таблице 32 даны коэффициенты заполнения графиков и коэффициенты спроса по колхозам.

Таблица 32

Наименование колхозов	Коэффициент заполнения γ	Коэффициент спроса K_c
1	2	3
„Память Ленина"	0,5	0,48
„14 лет Октября"	0,52	0,52
Им. Сталина	0,55	0,56
Им. Кагановича	0,48	0,50
„Путь Ильича"	0,43	0,65
„II съезд колхозников"	0,52	0,47

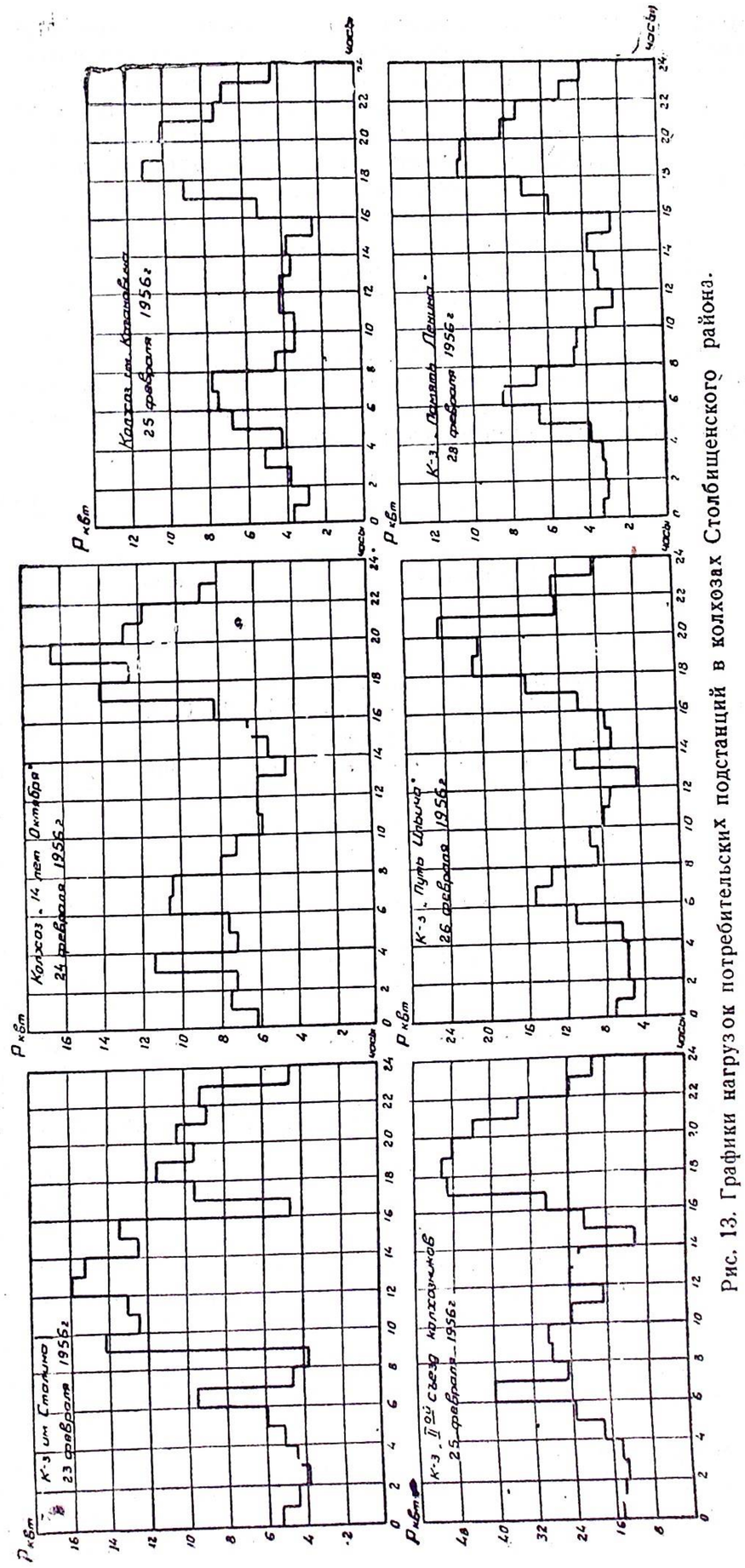


Рис. 13. Графики нагрузок потребительских подстанций в колхозах Столбищенского района.

* * *

Приведенные выше данные по четырем электрифицированным сельскохозяйственным районам позволяют сделать некоторые выводы.

1. Обращает на себя внимание пестрота показателей, характеризующих степень электрификации отдельных колхозов в пределах одного и того же района. Об этом свидетельствует сводная таблица 33, показывающая во сколько раз в одном и том же районе максимальные значения показателей степени электрификации отдельных колхозов превосходят минимальные их значения. Поскольку при этом не удается установить зависимость показателей степени электрификации от таких производственных характеристик колхозов как количество дворов, площадь пашни, размер землепользования, поголовье скота (см. таблицы 2, 9, 17 и 25 в сопоставлении с таблицами 6, 13, 22 и 29), приходится признать, что степень электрификации колхозов зависит пока в основном от экономического состояния колхозов и даже от таких случайных и преходящих обстоятельств как инициативность руководства в них.

Таблица 33

	Показатели	Белоярский район	Ютазинский район	Высокогорский район	Столбищенский район
На 1 колхоз	Число и мощность электродвигателей	3,7/2,9	6,7/8,3	12/5,3	12/21
	Потребление электроэнергии	7,5	10,6	3,5	7,5
На 1 колхозный двор	Число и мощность электродвигателей	2,2/2,0	6,3/6,3	1,6/6,5	11/2,7
	Потребление электроэнергии	3,6	2,25	4,6	3,1
На 100 га земельн. угодий	Число и мощность электродвигателей	2,6/2,5	9,8/12,5	4,1/7,4	8,1/13,5
	Потребление электроэнергии	3,3	5,2	5,2	4,2
На 100 га пашни	Число и мощность электродвигателей	2,2/1,8	7,8/10,6	20/8,5	7,5/13,7
	Потребление электроэнергии	3,7	4,3	8,6	4,0

2. Данные о структуре электропривода (см. таблицы 4, 11, 20 и 27) показывают, что большая часть электродвигателей как по количеству, так и по мощности, используется во вспомогательных процессах сельскохозяйственного производства (мастерские, мельницы, пилорамы и пр.), в то время как в основных процессах (полеводство и животноводство), на долю которых приходится гораздо большая часть трудовых затрат, электропривод используется еще далеко не достаточно.

3. Коэффициент присоединения, т. е. отношение присоединенной мощности потребителей к мощности потребительских ТП, характеризующий степень загрузки трансформаторов, сильно варьирует внутри районов и, как правило, остается ниже 2,5, что свидетельствует об отставании присоединенной мощности потребителей от мощности ТП (см. таблицы 3, 10, 19 и 26).

В связи с этим во всех рассматриваемых районах число часов использования как присоединенной мощности потребителей, так и установленной мощности трансформаторов находится еще на низком уровне (см. таблицы 7, 14, 23 и 30).

4. Показанное на рисунках 2 и 5 распределение энергопотребления отдельных колхозов по месяцам года свидетельствует об идентичном для них режиме энергопотребления. Характер кривой снижения энергопотребления от января до июля и повышения от июля до декабря аналогичен по всем колхозам рассматриваемых районов. Это дает основание предполагать, что для сельскохозяйственных районов, близко совпадающих друг с другом по географическому положению и направлению хозяйства, будет наблюдаться одинаковое распределение энергопотребления по месяцам года.

5. Суточные графики нагрузки на шинах районных подстанций (рис. 3, 6, 10 и 12) показывают, что во всех случаях как коэффициент заполнения „γ“, так и коэффициент спроса „K_c“ (см. таблицы 15, 24 и 31) достигают наибольшей величины в зимние месяцы (преимущественно в декабре). В остальные сезоны эти коэффициенты сохраняют приблизительно одинаковое, меньшее значение.

Для районов со значительной силовой нагрузкой (Белоярский, Ютазинский и Высокогорский) коэффициент заполнения „γ“ в зимние месяцы достигает величин 0,7—0,8, в то время как для Столбищенского района, где доля участия силовой нагрузки значительно меньшая, этот коэффициент находится в пределах 0,5—0,6.

В то же время коэффициент спроса в годовом максимуме нагрузки для Столбищенского района достигает величины 0,6, тогда как для первых трех районов он не выходит за пределы 0,35—0,4. Это, а также наличие в вечерних максимумах нагрузки зимних месяцев подстанции Ютазинского района (рис. 6) резких колебаний, свидетельствующих о работе электродвигателей, заставляет прийти к выводу, что в годовом максимуме нагрузок сельскохозяйственных районов, за исключением районов с чисто световой нагрузкой, участвует не только осветительная, но и силовая нагрузка.

Графики нагрузки, представленные на рис. 3, 6, 10 и 12, показывают, что явно выраженный утренний максимум имеет место только в осенне-зимние месяцы.

Суточные графики нагрузок по колхозам Ютазинского района (рис. 7) и данные, приведенные в таблице 16, показывают, что здесь, так же как для графиков районных подстанций, коэффициенты заполнения „γ“ и спроса „K_c“ достигают наибольших значений в зимние месяцы.

Сопоставляя графики на рис. 7 и 13, а также таблицы 16 и 32, можно видеть, что коэффициенты заполнения графиков зимних месяцев „γ“ для колхозов Ютазинского района, в которых доля участия силовой нагрузки — значительная, достигают значений 0,65—0,75, в то время как для колхозов Столбищенского района — с преимущественно осветительной нагрузкой — этот коэффициент не выходит из пределов 0,4—0,55. Более детально вопрос о зависимости коэффициентов заполнения графиков нагрузки от структуры энергопотребления рассматривается в следующей статье настоящего сборника [1].

[1] „К вопросу о методике определения перспективного электропотребления и расчетных нагрузок сельскохозяйственных районов“.

ИЗВЕСТИЯ КАЗАНСКОГО ФИЛИАЛА АКАДЕМИИ НАУК СССР
СЕРИЯ ЭНЕРГЕТИКИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Вып. 1 *1957*

Н. И. Беднов, В. А. Капустин, Ю. В. Скобельцын

К ВОПРОСУ О МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ И РАСЧЕТНЫХ НАГРУЗОК СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАЙОНОВ

Большие масштабы работ по электрификации сельского хозяйства СССР, осуществляемых в шестом пятилетии и предстоящих в дальнейшем, обязывают искать такие методы расчетов при планировании и проектировании, которые позволили бы сократить трудоемкость этих расчетов, уменьшить сроки их выполнения и стоимость без ущерба для точности.

Краткий обзор существующих методов

Первой работой, в которой затронуты вопросы определения энергетических показателей сельскохозяйственных районов, были труды комиссии по составлению плана ГОЭЛРО. Эти показатели (отдельно по энергопотреблению и по мощности) определялись суммированием нормативов, отнесенных к отдельным процессам сельскохозяйственного производства, и в конечном счете исчислялись на одну десятину земли по экономическим зонам страны.

Значительное развитие методика расчетов получила в пособии по разработке схем использования местных энергетических ресурсов для электрификации сельского хозяйства, выпущенном Главсельэлектро в 1946 году. Здесь были рекомендованы нормативы для определения присоединенной мощности, годового максимума и годового энергопотребления отдельно по производственным процессам (молотьба, орошение и т. п.), по производственным объектам (фермы молочного скота, свиноводческие фермы и т. п.), для бытовых целей (на один колхозный двор, на райцентр). Для предварительных расчетов при планировании и проектировании в широких масштабах рекомендовалось определять обобщенный (средний) норматив на один колхозный двор.

В развернувшемся в последующие годы широком планировании сельской электрификации, при составлении схем электрификации, а также в исследовательских работах широко использовался метод подсчета энергетических показателей по комплексным нормативам на один колхозный двор, полученным на основе расчета типового (среднего) колхоза — макета. Такой метод рекомендовался также в ведущих вузах электрификации сельского хозяйства.

К числу наиболее детально разработанных относится методика, положенная в основу составления схемы электрификации сельского хозяйства Украинской ССР (1947—1949 гг.). Здесь были уста-

новлены единичные нормативы энергопотребления для отдельных производственных процессов, отнесенные к 1 т зерна, к одной голове скота, к 1 кв. м помещения и т. п. Пользуясь единичными нормативами, были составлены укрупненные нормативы, отнесенные к типовым (макетным) хозяйствам (типовой колхоз, совхоз, типовая МТС и пр.), разработанным для каждой из экономических зон. На основе укрупненных нормативов для каждой зоны определены комплексные нормативы, отнесенные к 1 га пашни, к одному предприятию, к 100 жителям и пр.

Показатели мощности и показатели энергопотребления определялись независимо друг от друга, причем расчетные (максимальные) нагрузки исчислялись введением коэффициентов спроса, полученных путем построения ожидаемых сезонных графиков суточной нагрузки.

Руководящие указания Главсельэлектро (РУП) по проектированию сельских электроустановок (1953 г.) рекомендуют методы определения расчетных нагрузок в зависимости от стадий проектирования и характера проекта. В стадии проектного задания рекомендуется подсчет нагрузок производить раздельно для осветительно-бытовых и производственных целей. При числе охватываемых колхозов, совхозов, МТС и других объектов свыше 60-ти допускается применение укрупненных нормативов, исчисленных на основе „типичных хозяйств" (макетов) и отнесенных по коммунально-бытовому сектору на один колхозный двор, на одного рабочего в совхозах и на одного жителя в райцентрах, а по производственному сектору в колхозах и совхозах — на 1 га пашни, в райцентрах — на одного рабочего. Нагрузки по МТС рекомендуется исчислять по типовым проектам в зависимости от числа тракторов. При составлении технических проектов подсчет нагрузок рекомендуется производить на основе материалов обследования по каждому колхозу, совхозу, МТС и т. п. с использованием большого ряда коэффициентов для перехода от присоединенной мощности к расчетному максимуму нагрузок. При этом энергопотребление в проектах обычно вовсе не исчисляется.

Наконец следует отметить методику, рекомендуемую Гипросельэлектро в „Проекте временных указаний по составлению схем энергетического использования рек для электрификации сельского хозяйства"[1]. Существенное отличие предлагаемого здесь метода подсчета электрических нагрузок от предыдущих заключается в том, что показатели годового энергопотребления принимаются за основные, а показатели мощности определяются из годового энергопотребления и числа часов использования годового максимума. Нормативы годового энергопотребления и числа часов использования годового максимума рекомендуется определять по макетам „типового" колхоза, относя энергопотребление для производственного сектора на 1 га земельной площади, а для коммунально-бытового сектора и вспомогательных производств на один колхозный двор или на одного жителя.

Как видно из краткого обзора, сделанного выше, характерным для методов расчетов, которые предлагались и применялись до сих пор, является: независимость определения расчетных нагрузок от исчисления перспективного годового энергопотребления, использование осредненных удельных нормативов на 1 га пашни, на один двор, на одного жителя, определяемых на основе макетных разработок для колхозов, совхозов и других объектов электрификации. При определении расчетных нагрузок путем подсчета годового максимума или путем построения предположительных, сезонных графиков

[1] „Техническая информация" № 3, 1955 г.

суточной нагрузки используются многочисленные расчетные коэффициенты, обоснованность выбора которых в процессе проектирования вызывает большие сомнения. Методика расчетов при составлении технических проектов требует предварительного сбора материалов путем обследования на месте каждого объекта электрификации.

Предлагаемый метод определения перспективного электропотребления

Величина годового энергопотребления является основным количественным энергетическим показателем, характеризующим данный объект и непосредственно связанным с его производственными показателями. Перспективное годовое электропотребление может быть подсчитано с использованием достаточно убедительных нормативов удельного электропотребления, отнесенных к единице продукции, к голове скота или другим единичным производственным показателям.

Показатели мощности характеризуют условия, при которых потребляется электроэнергия. При проектировании они необходимы, но это вторичные показатели, которые вытекают из показателей годового электропотребления с учетом режима электропотребления.

При подсчете энергопотребления сельскохозяйственных районов приходится иметь дело с большим количеством различных потребителей, значительно отличающихся своими производственными показателями. Точный учет каждого отдельного потребителя совершенно невозможен, поэтому, при разработке методов подсчета, приходится устанавливать некоторые общие показатели, которые в наибольшей степени определяют объем энергетических затрат.

Такими показателями могут быть, например, количество земельных угодий, количество голов скота, количество колхозных дворов, численность населения, количество сельскохозяйственной продукции и пр. Если известен энергетический норматив на единицу такого показателя, то годовое энергопотребление подсчитывается без затруднений.

Для определения энергетического норматива в применявшихся методах подсчета разрабатывались макетные (типовые) хозяйства — колхозы, совхозы и пр. Путем подробного расчета потребностей в энергии для макета, с учетом размеров земельных площадей, количества дворов, численности населения, производилась энергетическая оценка влияния того или иного показателя на общее энергопотребление. Однако в различных сельскохозяйственных районах такая „оценка" может быть различной, ибо на нее влияют размеры хозяйств, направление хозяйства и т. д. Это является основной причиной неточности подсчета, так как фактически в каждом отдельном хозяйстве имеются свои особенности, влияющие на энергетическую значимость различных показателей.

При разработке методов подсчета следует учитывать структуру общего энергопотребления и достигать возможно более точного учета затрат энергии основными потребителями, имеющими наибольший удельный вес в общем энергопотреблении.

Поскольку в сельскохозяйственных районах основная часть в общем энергопотреблении приходится на долю колхозов и совхозов, при разработке методов подсчета нужно стремиться к наиболее точному учету энергетических потребностей именно этих потребителей.

Метод, основанный на макетных разработках, имеет существенные недостатки, является громоздким и в то же время неубедительным. Громоздкость метода связана с необходимостью для определения

производственных характеристик макета обработки многочисленных данных по всем колхозам электрифицируемого района и для совхозов различных направлений. Кроме того, для макета подбирается комплекс оборудования отдельно для каждого процесса с определением многочисленных коэффициентов (коэф. загрузки машины, двигателя и пр.), необходимых для нахождения мощности электродвигателей, а также выбор электродвигателей по каталогам и, наконец, определяется норматив на 1 га пашни, на один двор и т. д.

Неубедительность такого приема обусловлена тем, что в действительности электрифицируемые хозяйства всегда значительно отличаются по своим производственным характеристикам от макета и, следовательно, энергетическая значимость, например, 1 га пашни в реальных колхозах или совхозах может существенно отличаться от типового хозяйства — макета. Таким образом, наряду с громоздкостью, в самом методе заложена и неточность. Конечная цель этих трудоемких вычислительных операций заключается, по сути дела, в том, чтобы построить графики нагрузок типового хозяйства, которые, между тем, могут значительно отличаться от графиков нагрузок реальных хозяйств.

Совершенно неубедителен подсчет энергопотребления и нагрузок по общему нормативу на один колхозный двор или на один гектар пашни, так как количество дворов в колхозе определяет только размер бытового энергопотребления, а размеры энергопотребления производственных процессов обусловлены размерами площадей земельных угодий и пашни.

Относительно более точным является способ раздельного учета бытовой и производственной части энергопотребления, соответственно по нормативам на один двор и на 1 га пашни.

Однако, если первое не вызывает сомнений, ибо энергопотребление по бытовому сектору в колхозе определяется только числом дворов, то учет энергопотребления для всего производственного сектора в целом по нормативу на 1 га пашни обеспечивает удовлетворительную точность только для районов, в которых хозяйства по структуре производства уподобляются хозяйству-макету.

В самом деле, энергетическая значимость 1 га пашни будет зависеть не только от удельного веса животноводства и полеводства в хозяйстве, но и от структуры посевных площадей и от структуры поголовья. Вместе с тем известно, что в этом отношении хозяйства, даже внутри одного административного района, значительно отличны друг от друга.

Можно рекомендовать вести подсчет энергопотребления по производственному сектору отдельно по категориям с.-х. производства. Тогда общее энергопотребление колхозов будет состоять из четырех слагаемых:

1) для электрификации процессов животноводства,
2) для электрификации процессов полеводства,
3) для электрификации подсобных производств,
4) для коммунально-бытовых потребностей.

Животноводство является основным потребителем электроэнергии в сельскохозяйственном производстве.

Затраты энергии на электрификацию процессов в животноводстве определяются, в основном, численностью поголовья скота по видам его и принятой степенью электрификации.

Подсчет энергопотребления для животноводства по энергетическому показателю на 1 га пашни, как это обычно делалось, является неубедительным, так как численность поголовья скота находится в

прямой зависимости не только от площади пахотных земель, но и от размеров лугов и пастбищ.

Естественно, возникает предложение подсчитывать энергопотребление по животноводческому сектору исходя из величины сельскохозяйственных угодий, предварительно определив расчетный энергетический показатель, например, на 100 га угодий.

Однако следует иметь в виду, что 100 га угодий с энергетической точки зрения не всегда являются равноценными, так как энергопотребление зависит как от структуры земельных угодий (пашня, пастбища, луга, леса и пр.), так и от структуры поголовья. Последнее связано с тем, что годовой расход энергии, необходимый для обслуживания различных видов скота, весьма различен.

Нами была сделана попытка вывести энергетический норматив на одну условную голову животных и с помощью его определять энергопотребление по животноводческому сектору. Такая попытка была оправдана тем, что в сельскохозяйственной практике иногда численность поголовья скота выражают в условных головах, пользуясь известными коэффициентами перевода различных видов животных в условные головы. Однако такой способ обладает тем же недостатком, что и предыдущий, так как, вследствие различной структуры поголовья, условная голова не равноценна в энергетическом отношении.

Следует признать наиболее целесообразным определять электропотребление по животноводческому сектору исходя из норматива на одну физическую голову скота разных видов. Определение таких нормативов в нескольких вариантах с учетом различных степеней электрификации и зональных особенностей не представляет сложности (см. табл. 1).

Таблица 1

№№ п/п	Наименование электрифицируемых процессов	Объем перерабатываемой продукции на 1 голову в год	Удельный расход электроэнергии квтч.	Годовой расход электроэнергии квтч.
1	2	3	4	5
	Крупный рогатый скот (корова)			
1	Резка соломы	4 тонны	2,95	11,8
2	Резка силоса	8 „	0,94	7,5
3	Мойка корнеклубнеплодов	6 „	0,16	0,96
4	Резка корнеклубнеплодов	6 „	0,4	2,4
5	Подогрев воды	1,8 м³	16,3	29,4
6	Дробление концентратов	1,4 тонны	13,1	18,3
7	Откачка навозной жижи	7,2 м³	0,144	1,04
8	Водоснабжение	51 м³	0,205	10,4
9	Освещение	14 м²	0,98	13,7
10	Механическая дойка	1 корова	50,0	50,0
11	Сепарирование молока	2700 л	0,001	2,7
12	Маслоизготовление	190 кг	0,007	1,3
	Итого		с округлением	150,0 квтч.

Продолжение табл. 1.

№№ п/п	Наименование электрифицируемых процессов	Объем перерабатываемой продукции на 1 голову в год	Удельный расход электроэнергии квтч.	Годовой расход электроэнергии квтч.
1	2	3	4	5
	Лошадь			
1	Резка соломы	1,6 тонны	2,95	4,7
2	Резка силоса	1,0 „	0,94	0,94
3	Мойка корнеклубнеплодов	1,0 „	0,16	0,16
4	Резка корнеклубнеплодов	1,0 „	0,4	0,4
5	Подогрев воды	0,15 м³	16,3	2,44
6	Дробление концентратов	1,0 тонны	13,1	13,1
7	Откачка навозной жижи	1,44 м³	0,144	0,21
8	Водоснабжение	21 м³	0205	4,2
9	Освещение	13 м²	0,98	12,8
10	Чистка животных	1 животное	10,8	10,8
	Итого		с округлением	50 квтч.
	Свинья (без сосунов)			
1	Резка силоса	3 тонны	0,94	2,82
2	Мойка корнеклубнеплодов	6 „	0,16	0,96
3	Мятие корнеклубнеплодов	6 „	0,45	2,7
4	Подогрев воды	3,75 м³	16,3	61,0
5	Дробление концентратов	4,5 тонны	13,1	59,0
6	Откачка навозной жижи	7,2 м³	0,144	1,04
7	Водоснабжение	34,2 м³	0,205	7,0
8	Освещение	18,0 м²	0,98	17,6
	Итого		с округлением	152 квтч.
	Овца			
1	Резка соломы	0,3 тонны	2,95	0,89
2	Резка силоса	0,1 „	0,94	0,094
3	Мойка корнеклубнеплодов	0,1 „	0,16	0,016
4	Мятие корнеклубнеплодов	0,1 „	0,45	0,045
5	Дробление концентратов	0,035 „	13,1	0,46
6	Откачка навозной жижи	0,48 м³	0,144	0,069
7	Водоснабжение	4,32 м³	0,205	0,86
8	Стрижка овец	1 овца	0,03	0,03
9	Освещение	1,5 м²	0,98	1,47
	Итого		с округлением	4 квтч.
	Птица			
1	Резка силоса	0,01 тонны	0,94	0,01
2	Резка корнеклубнеплодов	0,02 „	0,4	0,01
3	Мойка корнеклубнеплодов	0,02 „	0,16	0,003
4	Дробление концентратов	0,01 „	13,1	0,131
5	Водоснабжение	0,54 м³	0,205	0,11
6	Освещение	0,5 м²	3,0	1,5
	Итого		с округлением	1,8 квтч.

Примечание: Нормы потребления кормов, а также показатели выхода продукции приводятся по нормативным указаниям, имеющимся в литературе. Показатели удельного расхода электроэнергии приводятся по РУП.

К основным электрифицируемым, стационарным процессам полеводства относятся: послекомбайновая обработка зерна (дополнительная очистка, сортирование, сушка), обмолот, дополнительное сортирование семенного материала, сортировка картофеля, обработка семян трав, орошение.

В состав электрифицируемых процессов могут входить и другие или, наоборот, часть перечисленных в зависимости от принятой степени электрификации.

Подсчет энергопотребления для нужд стационарного полеводства по нормативу на 1 га пашни не может давать удовлетворительной точности результатов, так как он не учитывает такого, например, фактора как урожайность. Поскольку все электрифицируемые процессы стационарного полеводства, кроме орошения, связаны непосредственно с продукцией полеводства, естественно принимать за расчетный показатель — энергетический показатель на 1 тонну продукции полеводства.

Такой расчетный показатель является достаточно обоснованным, так как при одинаковой степени электрификации и при применении более или менее однотипного оборудования расход энергии на 1 тонну продукции полеводства практически одинаков во всех районах и областях той или иной зоны Советского Союза.

Различные степени электрификации могут быть учтены путем определения нескольких (двух-трех) конкретных нормативов с учетом состава электрифицируемых процессов.

Хотя фактически имеется некоторое различие между величинами расхода энергии на обработку одной тонны различных видов зерновых культур (рожь, овес, пшеница и т. д.), для расчетов можно принимать эти величины одинаковыми и подсчитывать затраты энергии по единому нормативу.

Сортировка картофеля должна учитываться по отдельному нормативу, так же как процесс обработки семенных трав. Что касается учета орошения, то затраты электроэнергии здесь определяются в первую очередь нормой орошения и высотой подъема воды.

Определение конкретных цифровых значений указанных нормативов должно производиться на базе материалов соответствующих организаций, а также на базе нормативных данных, приводимых в РУП.

Например, для условий Татарской АССР расчетный энергетический показатель на 1 т валового сбора зерновых может быть определен следующим образом.

Дополнительной очистке и сортированию подвергается все зерно урожая при среднем удельном расходе энергии $1{,}5\frac{\text{квтч}}{\text{т}}$; сушке — около 50% урожая, что, при удельном расходе энергии $3\frac{\text{квтч.}}{\text{т}}$, требует $0{,}5 \cdot 3 = 1{,}5$ квтч. на 1 т валового сбора.

При 80% комбайнизации и среднем удельном расходе на обмолот $10\frac{\text{квтч.}}{\text{т}}$, требуется $0{,}2 \cdot 10 = 2$ квтч. на 1 т валового сбора зерновых.

Учитывая дополнительно 20% расхода энергии на сортирование семенного фонда, на протравливание семян и пр., можно принять за расчетный энергетический показатель на 1 т валового сбора зерна $(1{,}5 + 1{,}5 + 2) \cdot 1{,}2 = 6$ квтч.

Исходя из средней нормы посадки картофеля в размере $\frac{1}{9}$ валового сбора, удельного расхода энергии $0{,}03\frac{\text{квтч.}}{\text{т}}$ и трехкратного

количества сортируемого материала, получим энергетический показатель на 1 т валового сбора картофеля: $0{,}03 \cdot \frac{1}{9} \cdot 3 = 0{,}01$ квтч.

Расход энергии на орошение может быть принят, исходя из оросительной нормы, 2400 куб. м/га, среднего напора 25 м (включая потери), при КПД насоса 0,7 и электродвигателя — 0,9, в размере 250 квтч. на 1 га.

Степень развития подсобных производств в хозяйстве в значительной мере определяется степенью развития основного производства, следовательно, размерами земельных угодий. Поэтому электропотребление по этой группе потребителей, при одинаковой степени электрификации, может быть подсчитано по расчетному энергетическому показателю на 1 га земельной площади. Однако, наряду со сложностью получения такого расчетного норматива, подсчет по нему не будет давать вполне удовлетворительных результатов, так как различная структура земельных площадей влечет за собой различную направленность подсобных производств.

Следует иметь в виду, что, хотя в настоящее время в большей части электрифицированных колхозов и совхозов на долю подсобных производств приходится значительная доля в общих затратах электроэнергии, в дальнейшем, при широком внедрении электропривода в основные отрасли производства (в полеводство и в животноводство), электропотребление по сектору подсобных производств будет составлять относительно небольшую часть в общем электропотреблении. Учитывая сказанное, можно рекомендовать считать, что электропотребление по этой группе составляет определенный процент от электропотребления основных производственных процессов — животноводства и полеводства.

В ранее выполненных работах по подсчетам колхозного электропотребления, при достаточно широкой степени электрификации, на долю подсобных производств, как правило, приходилось не более 20%. В „Схеме использования местных энергетических ресурсов ТАССР“ эта цифра составляет 15%, а в „Схеме электрификации Украинской ССР“ — 15,3% при основной степени электрификации.

Исходя из сказанного при расчетах электропотребления, можно предполагать, что на долю подсобных производств приходится 15—20% от общего колхозного потребления или, что то же, 25% от потребностей полеводства и животноводства вместе взятых.

В общем энергобалансе совхозов доля вспомогательных производств несколько выше, чем в колхозах, за счет наличия в совхозах мастерских по ремонту машинно-тракторного парка и ее можно принять в размере 30% от потребностей полеводства и животноводства, вместе взятых.

Потребность в электроэнергии по коммунально-бытовому сектору зависит, в основном, от количества обслуживаемого населения. Норматив удобнее всего относить для колхозов на один колхозный двор, а в поселках совхозов — на одну семью.

Конкретное цифровое значение такого норматива может быть подсчитано на основании существующих норм (например РУП) в зональном разрезе и в зависимости от принятой степени электрификации. Так, например, для условий Татарской АССР представляется возможным исходить из следующего норматива годового электропотребления: освещение жилых помещений — 165 квтч., освещение общественных помещений — 70 квтч., уличное освещение — 50 квтч., нагревательные приборы — 125 квтч., радиофикация и кинофикация — 50 квтч., бытовое водоснабжение — 10 квтч., т. е. всего 470 квтч. или, с округлением, 500 квтч.

Кроме колхозов и совхозов потребителями энергии в сельскохозяйственных районах являются МТС, райцентры, предприятия местной промышленности, элеваторы, заготпункты и др. Трудность подсчета энергопотребления этими потребителями на основе каких-либо обобщенных показателей заключается, главным образом, в отсутствии закономерности распределения их (кроме МТС) в сельскохозяйственных районах. В связи с этим следует рекомендовать подсчитывать электропотребление отдельно по каждой группе этих потребителей.

В ранее применявшихся методах энергетические показатели по МТС, как правило, определялись по нормативам в целом на предприятие, что объясняется сравнительно незначительной долей МТС в общем энергопотреблении района.

Однако наиболее точные результаты могут быть получены, если при подсчете энергопотребления исходить из норматива на один трактор (условный), так как именно численность машинно-тракторного парка МТС определяет объем всех работ, а следовательно, и объем энергопотребления.

Такой норматив должен быть получен на базе обобщения опыта электрифицированных МТС, особенно таких, где электропотребление не ограничено (например в МТС, присоединенных к промышленным системам).

Энергетические потребности райцентра сельского типа, в основном, складываются из нужд освещения жилых домов и районных административных и общественных помещений, поэтому подсчет их следует производить по нормативу на один дом райцентра, причем этот норматив может считаться равным принятому для подсчета коммунально-бытовых нужд колхоза или может быть получен исходя из опыта электрифицированных райцентров.

Что касается предприятий местной промышленности, то в применяемых способах подсчета энергопотребления сельскохозяйственных районов рекомендовалось или учитывать каждое предприятие отдельно, или выводить энергетический норматив на одного рабочего, или, наконец, считать, что на долю местной промышленности приходится определенный процент в общем энергопотреблении района.

Последний способ наряду с исключительной простотой, по нашему мнению, дает не менее удовлетворительную точность подсчета, так как два первые способа связаны с большими условностями. При учете отдельно каждого предприятия должны приниматься в расчет часто мало обоснованные данные о перспективном развитии предприятия. В случае использования норматива на одного рабочего, кроме того, прибавляется условность, связанная с тем, что такой норматив определяется на базе среднего предприятия, тогда как реальные предприятия местной промышленности весьма разнообразны.

По подсчетам для Татарской АССР в подавляющем большинстве районов электропотребление местной промышленности составляет не более 10% от колхозного.

По-видимому, чтобы установить более точно долю электропотребления предприятиями местной промышленности, необходимо проводить дальнейшее обобщение опыта электрифицированных районов. Однако уже теперь можно считать, что потребность в электроэнергии для предприятий местной промышленности составляет около 10% от колхозного электропотребления.

Определение расчетных нагрузок

Для перехода от годового электропотребления к расчетным нагрузкам может быть рекомендован метод „коэффициентов заполнения“ („коэффициентов равномерности“) суточных графиков нагрузки.

Для того, чтобы определить расчетный максимум, следует исходить из электропотребления наиболее нагруженного месяца, пользуясь данными о процентном распределении годового электропотребления по месяцам. Наблюдениями установлено, что таким месяцем является один из зимних. Делением месячного электропотребления на число часов в месяце получаем среднюю нагрузку ($P_{ср.}$) и, пользуясь „коэффициентом заполнения“ (γ), находим максимум нагрузки из уравнения:

$$P_{макс.} = \frac{P_{ср.}}{\gamma}$$

Данные о режиме годового электропотребления в отношении распределения его по месяцам должны быть почерпнуты из практики эксплуатации сельскохозяйственных электроустановок в различных зонах СССР, отличающихся друг от друга климатическими условиями, направлением сельского хозяйства и другими факторами, могущими существенно влиять на режим электропотребления. Сбор таких данных не может встретить существенных затруднений, поскольку в настоящее время все потребительские подстанции в сельскохозяйственных районах (за очень редким исключением) снабжены счетчиками активной энергии.

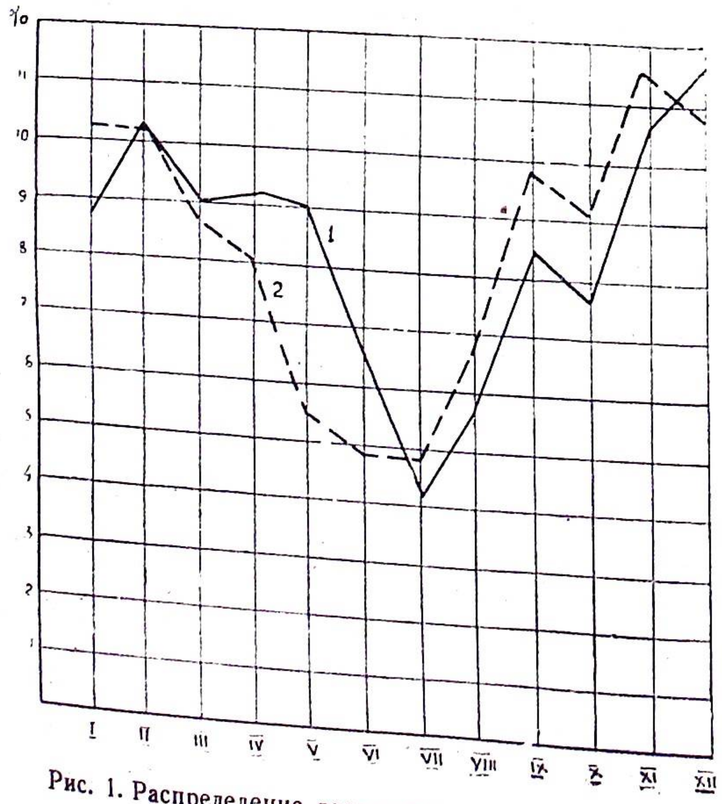


Рис. 1. Распределение годового электропотребления в колхозах по месяцам.

На рис. 1 приведены по фактическим данным за 1954 г. осредненные кривые распределения по месяцам годового электропотребления двух групп колхозов, снабжаемых энергией начиная с 1947 г. от промышленных энергосистем. Кривая (1) является средней для 11 колхозов одного из районов Татарской АССР, кривая (2) — для 9 колхозов в Свердловской области.

Несмотря на то, что в каждую из этих групп входят колхозы, различные по размерам хозяйств, характер распределения электропотребления по месяцам для отдельных колхозов близко совпадает, что и дает основание для построения осредненной кривой[1]. Как видно из рис. 1 кривые распределения (1) и (2) тоже достаточно близко совпадают друг с другом, что приводит к выводу об отсутствии существенного различия режимов электропотребления колхозов Татарии и Свердловской области.

Следует отметить, что вполне подобный характер распределения годового электропотребления в колхозах зафиксирован не только нами в других районах Татарской АССР, снабжаемых от промышленных энергосистем, но и наблюдениями, проведенными в центральных районах европейской части СССР[2].

Что касается „коэффициента заполнения“ (γ) суточного графика нагрузки расчетного (зимнего) месяца, то естественно ожидать его зависимость от структуры электропотребления, т. е. от соотношения годового силового электропотребления ($W_{сил.}$) к общему годовому электропотреблению ($W_{общ.}$).

На рис. 2 показана зависимость $\gamma = f\left(\frac{W_{сил.}}{W_{общ.}}\right)$ для группы колхозов Татарской АССР, подобранных так, что для них значения $\frac{W_{сил.}}{W_{общ.}}$ варьирует в пределах от 0,3 до 0,85, т. е. в значительном диапазоне.

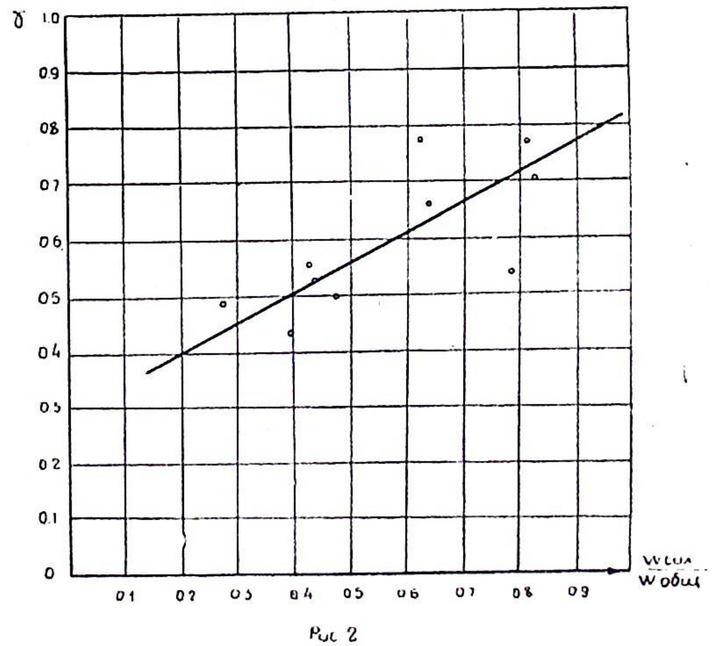


Рис 2

Рис. 2. Зависимость коэффициента заполнения графиков нагрузки от структуры электропотребления.

---

[1] Подробнее см. в статье „Показатели электрификации и режим энергопотребления сельскохозяйственных районов“ в настоящем сборнике.

[2] Мы имеем в виду наблюдения Энергетического института АН СССР.

№№ п/п	Наименование колхозов	Производственные показатели колхозов в перспективе							Годовое в тыс.	
		число колхозных дворов	валовой сбор зерновых (тонн)	поголовье общественного скота					быт и освещение	стационарн. процессы полеводства
				крупный рогат. скот	свиньи (кроме сосунков)	лошади	овцы	птица		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Им. Тукая	198	1223	303	300	113	751	560	99	7,3
2	. . . . .									
3	. . . . .									
	и т. д.									

зоне этого показателя, характеризующего степень охвата электрификацией производственных процессов колхозов.

Несомненная связь между коэффициентом (γ) и соотношением $\frac{W_{сил.}}{W_{общ.}}$ подтвердилась высоким значением коэффициента корреляции, который оказался равным 0,86, причем уравнение прямой регрессии, показанной на рис. 2, имеет вид:

$$\gamma = 0{,}54\frac{W_{сил.}}{W_{общ.}} + 0{,}28.$$

Нахождение зависимости $\gamma = f\left(\frac{W_{сил.}}{W_{общ.}}\right)$ с учетом зональных особенностей, могущих влиять на режим электропотребления в электрифицированных сельскохозяйственных районах, требует наблюдений более кропотливых, чем те, которые необходимы для определения кривой распределения годового электропотребления по месяцам. Однако снятие суточных графиков нагрузки расчетного месяца путем ежечасных записей показаний счетчиков на трансформаторных пунктах ряда отобранных для этого объектов может быть организовано совместными усилиями научно-исследовательских учреждений и эксплуатационных организаций.

Поскольку по счетчикам учитывается обычно общее электропотребление ($W_{общ.}$), то выделение из него электропотребления для осветительных целей можно производить, исходя из величины приемной мощности освещения и среднего годового числа часов использования ее — 1500, каковая цифра, несомненно, близка к истине.

Основываясь на собранных нами данных, мы рекомендуем для колхозов Татарии принимать долю электропотребления, приходящегося на расчетный месяц, в размере 11,5% от годового электропотребления, а при выборе коэффициента (γ) пользоваться графиком на рис. 2 или соответствующим ему уравнением, приведенным выше. Есть все основания полагать, что эти же рекомендации могут быть распространены на всю зону Среднего Поволжья.

Для совхозов представляется возможным с достаточной степенью точности пользоваться теми же данными, что и для колхозов. Что касается МТС, то аналогичные данные могут быть получены после изучения режима электропотребления в МТС нескольких основных типов, а до того определение расчетных нагрузок может быть

Таблица 2

потребление электроэнергии квтч.													
фермы общественного скота					итого по животноводству	подсобные производст. колхоза	по колхозу в целом	Отношение силового электропотр. к общему	Коэффициент заполнения графика	Электропотребление декабря (тыс. квтч.)	Среднесуточная декабрьская нагрузка (квт)	Расчетная максимальн. нагрузка (квт)
крупн. рогатого	свиновод.	конефермы	овцеводч.	птицеводч.								
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
45,5	45,5	5,6	3,0	1,0	100,6	27,0	233,9	0,58	0,60	26,9	36,1	60,3

основано на методах, применяемых проектными организациями в настоящее время. То же можно сказать в отношении райцентров и предприятий местной промышленности.

Для сопоставления результатов определения расчетных нагрузок предлагаемым методом и методом, применяемым в настоящее время при составлении технических проектов электрификации колхозов, были использованы 25 проектов, выполненных двумя проектными организациями в г. Казани.

Техника определения расчетных нагрузок предлагаемым методом сводится к следующему (см. табл. 2).

Необходимые для расчета исходные данные по каждому колхозу, черпаемые из их перспективных планов, содержатся в графах 3—9. Перспективное годовое электропотребление для бытовых нужд подсчитывается в графе 10 путем умножения удельного норматива, который для Татарской АССР принят нами в 500 $\frac{квтч.}{двор}$, на число колхозных дворов (гр. 3). В графе 11 определяется расход электроэнергии на электрификацию стационарных процессов полеводства путем умножения энергетического норматива на 1 тонну зерна, определенного нами в 6 квтч, на величину валового сбора зерновых в тоннах (графа 4). Расход электроэнергии на электрификацию процессов животноводства определяется в графах 12—16 по нормативам на одну физическую голову различных видов скота (см. таблицу 1) путем умножения их на численность поголовья (графы 5—9).

Электропотребление подсобных производств колхоза, составляющее 25% от расхода электроэнергии на электрификацию животноводства и полеводства, вместе взятых, подсчитывается в графе 18. В графе 19 определяется электропотребление по колхозу в целом, путем суммирования граф 10, 11, 17 и 18. В графе 20 определяется отношение силового электропотребления к общему, путем деления суммы величин в графах 11, 17 и 18 на цифру в графе 19. Коэффициент заполнения суточного декабрьского графика нагрузок (графа 21) определяется по кривой, приведенной на рис. 2.

Электропотребление декабря подсчитывается в графе 22, исходя из 11,5% от общего годового электропотребления. В графе 23 определяется среднесуточная нагрузка для декабря путем деления электропотребления декабря (графа 22) на 744 часа. Делением последней величины на коэффициент заполнения графика (графа 21) определяется расчетная максимальная нагрузка (графа 24).

Как видно из изложенного, расчет предлагаемым методом весьма прост и не требует предварительного обследования с выездом на место, так как исходные данные по колхозам (совхозам) могут быть собраны либо в республиканских (областных) учреждениях, либо получены почтой из районов.

Что касается методов технического проектирования, применяемых в настоящее время, то они, как известно, основываются на данных обследования при выезде на место, подсчетов присоединенной мощности для освещения по наружному обмеру помещений, подбора электродвигателей для каждого в отдельности производственного процесса, намеченного к электрификации, применения ряда расчетных коэффициентов и условных предположений для перехода от присоединенной мощности к расчетному максимуму нагрузки.

По заключению проектных организаций сопоставление по 25 проектам показало вполне удовлетворительное совпадение результатов расчета, причем обнаружилось, что в тех нескольких случаях, когда результаты расчета расходились значительно, были допущены индивидуальные ошибки проектировщиков, потребовавшие исправлений. Трудоемкость предлагаемого метода расчета оказалась во много раз меньше трудоемкости методов, применяемых в настоящее время.

Изложенный метод и приведенные данные позволяют определять максимальные (расчетные) нагрузки для основных потребителей энергии в сельскохозяйственных районах (колхозов, совхозов), а следовательно, находить для них необходимую суммарную мощность трансформаторных пунктов и расчетные нагрузки питательных сетей 10 (6) кв. Что касается выбора числа и мощности отдельных трансформаторных пунктов в колхозе или совхозе, размещения их здесь, что определит конфигурацию и расчетные данные для распределительной сети 10 (6) кв в пределах хозяйства, то это подлежит уточнению на месте одновременно с обследованием каждого объекта, которое необходимо для разработки проекта сети низкого напряжения и внутреннего электрооборудования.

Мощность районных подстанций 35/10 (6) кв. и, следовательно, расчетные нагрузки сети 35 кв могут быть определены тем же методом, т. е. на основе исчисления годового отпуска энергии с шин 10 (6) кв, распределения его по месяцам и коэффициента заполнения суточных графиков нагрузки „γ“ расчетного месяца. Значения этих показателей тоже зависят от структуры электропотребления в районе, снабжаемом подстанцией, и, в частности, от доли участия в нем характерных сельскохозяйственных потребителей (колхозы, совхозы, МТС и др.) и прочих — несельскохозяйственных потребителей, которые обычно имеются в сельскохозяйственных районах.

До того как значения расчетных показателей для выбора мощности районных подстанций будут почерпнуты из практики эксплуатации, следует определять максимум на шинах подстанций с помощью коэффициента спроса (как отношения максимума на шинах подстанции к суммарной мощности потребительских трансформаторных пунктов), исходя из тех соображений, которыми руководствуются проектанты в настоящее время.

ИЗВЕСТИЯ КАЗАНСКОГО ФИЛИАЛА АКАДЕМИИ НАУК СССР
СЕРИЯ ЭНЕРГЕТИКИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА
Вып. 1 *1957*

Т. Г. Михеева

РЕГУЛИРОВАНИЕ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ И СОВМЕЩЕНИЕ ИХ С ГРАФИКАМИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ

1. Графики нагрузки сельскохозяйственных потребителей

Присоединенная мощность сельскохозяйственных потребителей по составу своему весьма разнообразна.

В таблице 1 приводится структура присоединенной мощности ряда сельских электростанций, установленной мощностью от 46 до 590 квт, за режимом работы которых велось наблюдение в течение 4—5 лет.

Присоединенная мощность электростанций в основном включает: освещение, силовые нагрузки в колхозах, силовые нагрузки, характерные для сельскохозяйственных районов (МТС, райцентры, промкомбинаты, промысловые артели) и прочие нагрузки. Структура присоединенной мощности непосредственно колхозов характерна для всех электростанций. Здесь, кроме освещения, как правило, электрифицированы молотьба и очистка зерна, размол зерна, распиловка леса и мелкомоторные потребители. В большинстве колхозов электрифицированы некоторые процессы кормоприготовления и водоснабжение ферм, однако степень электрификации животноводства недостаточна.

Для характеристики структуры присоединенной мощности будем пользоваться отношением присоединенной мощности силовых процессов, к полной присоединенной мощности $K_э = \frac{P_{сил.}}{P_{приc.}}$.

Для рассматриваемых электростанций коэффициент $K_э$ колеблется от 0,5 до 0,82, а по колхозам, подключенным к ним, от 0,15 до 0,74.

Из таблицы 1 видно, что чем больше присоединенная мощность и чем выше уровень электрификации силовых процессов сельскохозяйственных потребителей, тем выше число часов использования установленной мощности электростанции.

Располагая суточными графиками нагрузки электростанций за ряд лет (с 1950 по 1955 г.), характерными для зимнего, летнего и осеннего сезонов, и зная структуру присоединенной мощности за соответствующие годы, имеем возможность выяснить характер влияния ее на конфигурацию графиков нагрузки.

На основе результатов анализа суточных графиков нагрузки в таблице 2 приводятся коэффициенты заполнения графиков зимнего, летнего и осеннего сезонов ($\gamma_з$, $\gamma_л$, $\gamma_о$), коэффициенты спроса $K_с$, коэффициенты резерва $K_{рз}$ и отношения $b = \frac{P_{прис.}}{P_{уст.}}$, характеризующие

Таблица 1

№№ п/п	Наименование электростанций	Установленная мощность электростанции	Присоединенная мощность (квт)										Число часов использования установленной мощности	Отношение $\frac{P_{прис.}}{P_{уст.}}$
			освещение		силовые нагрузки в колхозах		нагрузки, характерные для с-х. районов		прочие нагрузки		всего			
		квт	квт	%	квт	%	квт	%	квт	%	квт	%		
1	Параньгинская ТЭС Марийской АССР	46	38	49,5	6,5	8,5	32,1	42	—	—	76,6	100	945	1,7
2	Кукнурская ГЭС Марийской АССР	80	65	26	148,7	59,7	35,7	14,3	—	—	249,4	100	1810	3,1
3	Пестречинская ГЭС Татарской АССР	168	137,7	26	260,9	49,2	131,2	24,8	—	—	529,8	100	2100	3,1
4	Нартасская ТЭС Марийской АССР	180	112	17,7	203,6	32,2	317	50,1	—	—	632,6	100	3140	3,5
5	Карамасская ГЭС Марийской АССР	250	151,4	45,5	155,6	46,9	25,3	7,6	—	—	332,4	100	842	1,3
6	Зименковская ГЭС Горьковской обл.	382	134,3	17,6	239,7	31,4	390	51	—	—	764	100	1385	2
7	Малышевская ГЭС Арзамасской обл.	592	277	20,2	628,1	45,5	215,3	15,6	257	18,7	1377,4	100	1800	2,3

Таблица 2

Сезоны	Структура присоединенной мощности ($K_э$)																		
	0,54	0,61	0,7	0,7	0,72	0,73	0,73	0,74	0,74	0,75	0,76	0,78	0,79	0,8	0,8	0,81	0,82	0,82	0,83	0,86
	Коэффициенты заполнения графиков нагрузки																			
Зима $\gamma_з$ . . .	0,6	0,37	0,6	0,46	0,74	0,7	0,31	0,68	0,82	0,68	0,62	0,88	0,4	0,9	0,73	0,74	0,41	0,57	0,76	0,63
Лето $\gamma_л$ . . .	0,12	0,3	0,34	0,33	0,32	0,28	0,45	0,66	0,53	0,43	0,41	0,92	0,2	0,87	0,46	0,76	0,47	0,32	0,58	0,68
Осень $\gamma_о$ . . .	0,44	0,65	0,45	0,54	0,64	0,49	0,5	0,62	0,6	0,67	0,66	0,9	0,32	0,86	0,67	0,66	0,66	0,39	0,65	0,63
	Коэффициенты спроса $K_с$ в годовом максимуме																			
	0,47	0,33	0,34	0,31	0,28	0,34	0,28	0,22	0,28	0,24	0,3	0,2	0,53	0,22	0,26	0,2	0,35	0,26	0,32	0,24
	Коэффициенты резерва $K_{рз}$																			
	2,5	2,58	1,19	2,44	1,21	1,21	1,54	1,58	1,32	1,58	2,0	1,0	2,9	1,0	2,0	1,8	1,0	2,12	1,95	2,44
	Отношение $b = \frac{P_{прис.}}{P_{уст.}}$																			
	1,43	1,33	2,8	1,52	3,1	2,6	2,66	3	3,1	3,15	1,9	5,8	1,5	5,4	2,2	3,3	3,5	2	1,9	1,4

режимы работы рассматриваемых электростанций. На рис. 1 и 2 изображены кривые изменения коэффициентов γ и K_c в зависимости от структуры присоединенной мощности, характеризуемой коэффициентом $K_э$, для Нартасской ТЭС и Малышевской ГЭС.

Кривые рис. 1 и 2 позволяют видеть, что с увеличением коэффициента $K_э$ коэффициенты γ возрастают, а коэффициент K_c снижается. Кроме того, коэффициенты γ и K_c зависят от режима потребления энергии: если электроэнергия для производственных целей используется не только в дневное, но и в ночное и вечернее время, то коэффициенты K_c снижаются, а коэффициенты γ увеличиваются. В этом отношении характерны графики нагрузки Нартасской локомобильной электростанции. В течение ряда лет (с 1949 по 1953 г.) ее графики были весьма уплотненными в связи с ограниченной установленной мощностью. Коэффициенты заполнения графиков достигали 0,86—0,92 при коэффициенте $K_э = 0{,}78—0{,}8$. Коэффициент спроса $K_c = 0{,}2$. С увеличением установленной мощности электростанции графики нагрузки стали менее уплотненными, в связи с чем коэффициенты γ снизились до 0,41—0,66 при коэффициенте $K_э = 0{,}82$. Коэффициент K_c возрос до 0,35 (см. рис. 1).

Анализ графиков нагрузок рассмотренных нами электростанций показывает, что коэффициенты заполнения находятся в пределах:

$$\gamma_э = 0{,}31—0{,}82; \quad \gamma_л = 0{,}2—0{,}68; \quad \gamma_о = 0{,}3—0{,}67.$$

При этом коэффициенты спроса равны 0,22—0,53.

Более детальное изучение графиков нагрузки обнаруживает, что конфигурация их зависит также от структуры присоединенной мощности силовых процессов. Если дополнительно к основным производственным процессам широко электрифицируются подсобные предприятия и сезонные потребители энергии (торфодобыча, орошение, кирпично-черепичное производство), то коэффициенты заполнения графиков возрастают для всех сезонов.

Потребители, подключенные к сельским электростанциям, работающим раздельно, нередко испытывают ограничения как по мощности, так и по энергии, что отрицательно сказывается на конфигурации графиков нагрузки, снижая их степень заполнения. В этом направлении, в частности, влияет степень использования энергоснабжающей установки, характеризуемая отношением присоединенной мощности к установленной $b = \frac{P_{прис.}}{P_{уст.}}$ и коэффициентом резерва $K_{рз}$, равным отношению установленной мощности к годовому максимуму.

Чем больше „b“ и чем меньше „$K_{рз}$“, тем, следовательно, более полно загружена энергоснабжающая установка и в целях бесперебойного снабжения потребителей принимаются меры для выравнивания графиков нагрузки, что значительно увеличивает степень их заполнения. В более благоприятных условиях в этом отношении находятся сельскохозяйственные потребители, подключенные к государственным сетям. В работах Энергетического института им. Кржижановского АН СССР [2] и Отдела энергетики и водного хозяйства Казанского филиала АН СССР [5], связанных с изучением режима электропотребления сельскохозяйственных районов, приводятся коэффициенты заполнения графиков нагрузки государственных подстанций и малых электроэнергетических систем (МЭЭС), достигающие следующих значений:

$$\gamma_э = 0{,}44—0{,}8; \quad \gamma_л = 0{,}26—0{,}62; \quad \gamma_о = 0{,}42—0{,}66.$$

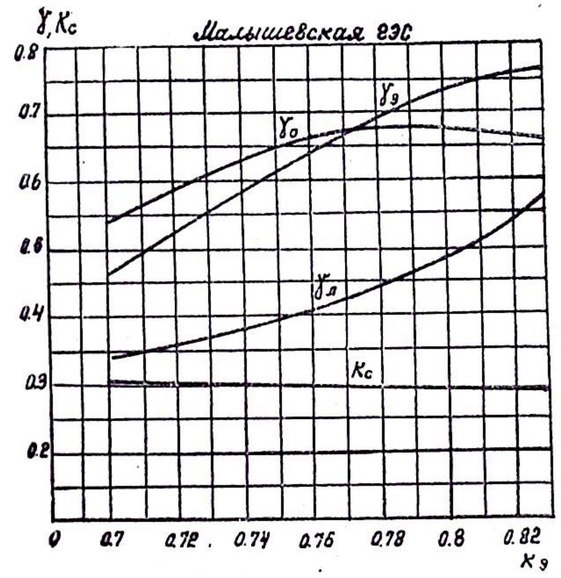


Рис. 1. Коэффициенты, характеризующие режим работы Малышевской ГЭС.

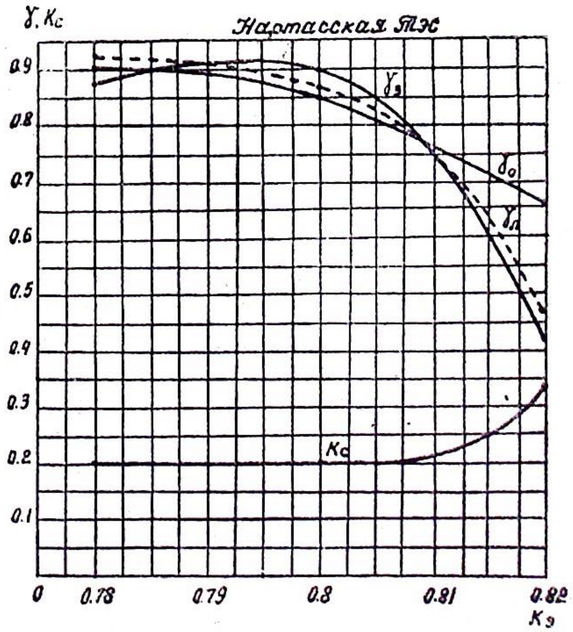


Рис. 2. Коэффициенты, характеризующие режим работы Нартасской ТЭС.

Естественно ожидать, что при одинаковой структуре присоединенной мощности коэффициенты заполнения графиков сельскохозяйственных электростанций, в большинстве случаев, несколько ниже коэффициентов заполнения графиков государственных подстанций и малых электроэнергетических систем.

2. Регулирование графиков сельскохозяйственных потребителей

В связи с тем, что для сельскохозяйственных потребителей характерны низкая степень заполнения графиков и низкие коэффициенты использования годового максимума, возникает вопрос о возможных и допустимых методах принудительного влияния на конфигурацию графиков нагрузки. Более высокие коэффициенты заполнения графиков и использования годового максимума могут быть достигнуты выравниванием (регулированием) графиков нагрузки, что способствует улучшению технико-экономических и эксплуатационных показателей энергоснабжающих установок.

Выравнивание графиков нагрузки может быть осуществлено путем применения следующей шкалы степеней регулирования.

Первая степень регулирования, распространяющаяся на ограниченный состав потребителей, допускает нарушение режима работы только производственных потребителей (переход с дневных смен на ночные, смещение начала работ, изменение продолжительности смен). Примером может служить перевод мельниц и пилорам с дневного времени на ночные часы, что не причинит существенного ущерба самим потребителям. Нарушение нормального режима бытовых потребителей не допускается.

Вторая степень регулирования допускает нарушение режима работы производственных потребителей и нарушение свободного потребления энергии бытовыми потребителями (нагревательные нагрузки).

При этом для некоторых групп потребителей ограничивается потребляемая мощность и энергия в отдельные часы суток и сезоны при условии обеспечения годового потребления энергии, а следовательно, и годовой продукции сельскохозяйственного производства.

Так, например, в период молотьбы, при ограниченной мощности или энергоресурсах источника энергоснабжения, потребление энергии такими группами потребителей как размол зерна и распиловка леса может быть ограничено. При этом недоданная энергия в период молотьбы компенсируется в ближайшее время и годовое энергопотребление обеспечивается полностью.

Таким образом, при второй степени регулирования ограничиваются: размер потребляемой мощности в течение некоторых часов суток и сезонов, количество потребляемой энергии в течение отдельных периодов года, периоды потребления.

Считается допустимым: нарушение бытового режима только в отношении нагревательных нагрузок; ограниченные отступления от нормального производственного режима за счет смещения часов работы (например, переход на ночные часы); необеспеченность сезонной выработки сельскохозяйственной продукции (вследствие сезонной необеспеченности энергопотребления) при обеспеченной годовой выработке.

Третья степень регулирования, к которой следует прибегать в исключительных случаях, допускает нарушение нормального режима всех производственных и бытовых потребителей. При этом ограничиваются: размер потребляемой мощности; количество потребляемой энергии как в течение отдельных суток, сезонов, так и в целом за год; периоды потребления. Считается допустимым:

нарушение нормального бытового режима; нарушение нормального производственного режима (неполные смены работы, перевод с дневных на ночные смены и т. д.); необеспеченность годовой выработки сельскохозяйственной продукции вследствие необеспеченности энергопотребления.

Следовательно, первая степень регулирования графиков нагрузки направлена на увеличение коэффициентов использования годового максимума и установленной мощности источника энергоснабжения.

Вторая степень регулирования направлена как на увеличение коэффициентов использования годового максимума и установленной мощности, так и на согласование энергопотребления с энергетическими возможностями источника энергоснабжения или другими факторами, ограничивающими свободный режим энергопотребления.

Третья степень регулирования направлена на создание режима нагрузки, подчиненного или ограниченного располагаемой мощностью источника электроснабжения или возможной суточной выработкой электроэнергии для данного сезона.

Первая степень регулирования может быть распространена на такие группы потребителей, для которых не играет существенной роли в какие часы суток им предоставляется возможность пользоваться электроэнергией. К таким группам потребителей можно отнести: размол зерна, распиловку леса, отдельные процессы кормоприготовления (резка соломы, переработка концентратов), очистку зерна и некоторые мелко-моторные потребители. Кроме того, первая степень может быть распространена на некоторые нагревательные нагрузки при условии аккумулирования тепловой энергии (аккумулирование горячей воды).

Вторая степень регулирования может быть применена к таким потребителям, как размол зерна, распиловка леса, очистка зерна, молотьба и другие, которым недоданную энергию возможно компенсировать в другие дни, недели и сезоны с целью обеспечения годовой выработки сельскохозяйственной продукции.

В дальнейшем сельскохозяйственных потребителей, на которых может быть распространено регулирование, будем называть потребителями-регуляторами. Отношение присоединенной мощности потребителей-регуляторов к полной присоединенной мощности колхоза, электростанции или подстанции назовем коэффициентом возможности регулирования ($K_р$).

Далее мы выясним на примере отдельных сельскохозяйственных потребителей (районов) насколько благоприятно влияет регулирование на конфигурацию их графиков нагрузки.

Рассмотрим возможности выравнивания графиков нагрузки сельскохозяйственных потребителей в районах орошаемого земледелия на примере Куйбышевского (сельскохозяйственного) района, Куйбышевской области по материалам нашего специального исследования [1].

На основании этих материалов определена присоединенная мощность по группам потребителей, построены графики стационарных, полевых и оросительных нагрузок, в результате совмещения которых получен график пятидневных максимумов суммарных нагрузок по району в целом.

Несовпадение по времени максимумов нагрузки мобильных процессов полеводства с максимумами нагрузок машинного орошения способствует увеличению степени заполнения суммарных графиков.

Рассмотрим возможности улучшения конфигурации суммарных графиков нагрузки следующими путями: регулирование графиков стационарных нагрузок, сочетание степени электрификации полевод-

ства [1] и плотности орошения [2], обеспечивающее наибольшее число часов использования годового максимума суммарных нагрузок.

Эффективность регулирования графиков стационарных нагрузок рассмотрим на примере одной из трех МТС, обслуживающих Куйбышевский район (Георгиевской МТС).

В нерегулируемых сезонных графиках нагрузка достигает максимума в дневное время, в основном с 8 до 17 часов. Годовым является апрельский максимум, 34% которого составляют нагрузки животно-

Таблица 3

№№ п/п		Нерегулируемые графики					Регулируемые графики				
		янв.	апр.	май	авг.	окт.	янв.	апр.	май	авг.	окт.
		Часы работы									
1	Дробление концентратов . .	7—15	10—14	10—12	10—12	8—14	21—5	20—24	22—24	22—24	0—6
2	Очистка, сортировка и транспорт зерна .				6—12 13—19					18—6	
3	Резка силоса .				6—16					16—20	
4	Мельницы колхозные	8—12 13—7	8—12 13—17	8—12 13—17	6—11 12—17		20—4	20—4	20—4	0—10	
5	Мельницы государственные	8—24	8—24	8—24	8—24		16—8	16—8	16—8	16—8	
6	Элеватор . . .		8—17	8—17		8—24		0—8	0—8		0—16

водства, 27,8% — элеватора и государственных мельниц, 18,7% — подсобных предприятий, 10% — МТС, 4,5% — стационарных процессов полеводства и 4,5% — освещения и бытовых нагрузок.

В таблице 3 показано, за счет каких потребителей и каким образом может быть достигнута первая степень регулирования суточных графиков нагрузки отдельных сезонов. В результате регулирования годовым максимумом становится августовский максимум, 36,6% которого составляют нагрузки элеватора и государственных мельниц, 24,6% — подсобных предприятий, 18,4% — животноводства, 13% — МТС и 7,4% — бытовые нагрузки.

Регулирование графиков позволило снизить годовой максимум на 24%, причем суточные максимумы регулируемых графиков в течение года находятся в пределах 62—79% от соответствующих максимумов свободных графиков. Коэффициенты заполнения графиков нагрузки увеличились от 0,44—0,59 до 0,58—0,78.

Дальнейшие исследования показали, что регулирование суммарных графиков нагрузки за счет только стационарных потребителей мало эффективно, а в период максимальных оросительных нагрузок и при высоких степенях электрификации полеводства становится совершенно нерациональным.

Вследствие несовпадения максимумов мобильных процессов полеводства и орошения с увеличением плотности орошения при определенном уровне электрификации полеводства, степень заполнения графика суммарных нагрузок и число часов использования годового максимума увеличиваются.

На рис. 3 показан график пятидневных максимумов суммарных нагрузок Куйбышевского района в целом при 50% электрификации полеводства и при плотностях орошения от 3,8% до оптимальной, иллюстрирующий увеличение степени заполнения графика с возра-

[1] Площадь полей, электрифицированных в процентах к общей площади полей.
[2] Площадь, орошаемая в процентах от общей посевной площади.

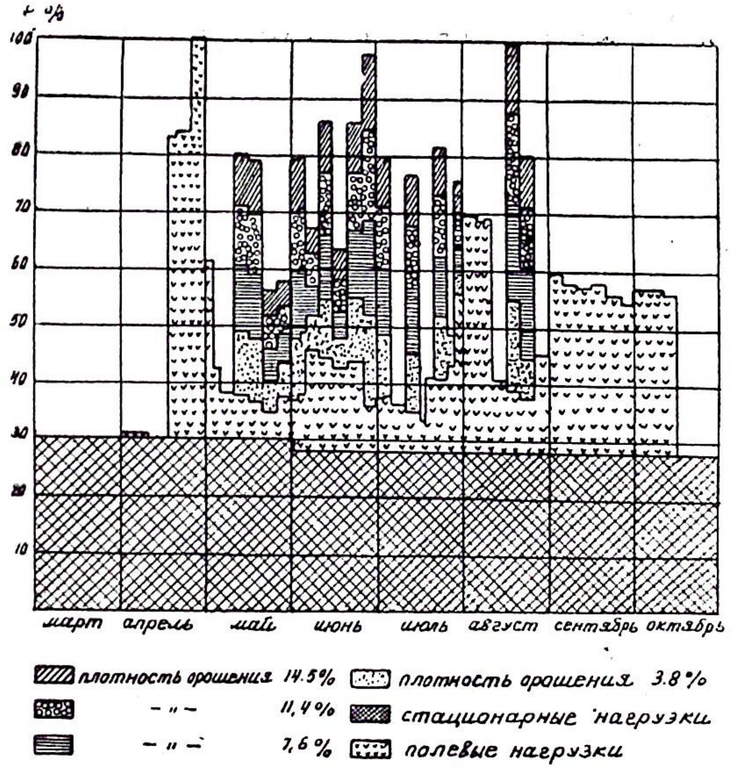


Рис. 3. График пятидневных максимумов суммарных нагрузок при 50% электрификации полеводства.

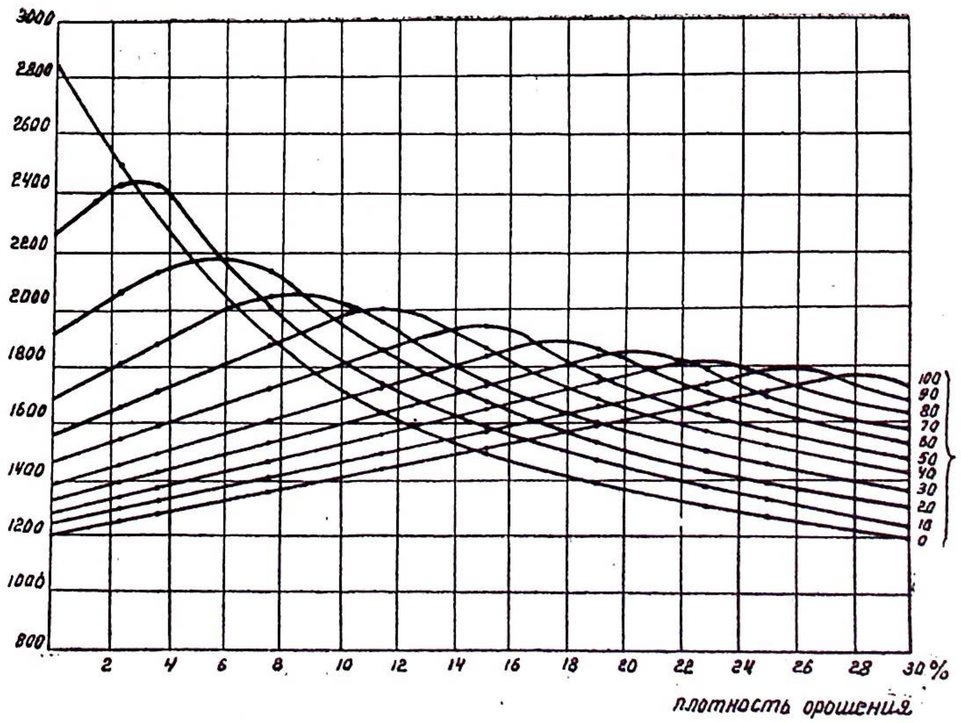


Рис. 4. Кривые зависимости числа часов использования годового максимума от плотности орошения при различных степенях электрификации полеводства.

станием плотности орошения. При дальнейшем увеличении плотности орошения число часов использования максимума уменьшается вследствие увеличения годового максимума за счет оросительных нагрузок.

На рис. 4 даны кривые зависимости числа часов использования годового максимума суммарных нагрузок от плотности орошения при различных степенях электрификации полеводства. Они позволяют определить оптимальную плотность орошения, обеспечивающую наибольшее число часов использования годового максимума при той или иной степени электрификации полеводства.

Имея график пятидневных максимумов стационарных, полевых и оросительных нагрузок и зная его структуру, можно аналитическим путем, не производя громоздких вычислений, определить оптимальную плотность орошения при любой степени электрификации полеводства.

Для этого введем следующие обозначения:

$M_{п_1}$ — годовой максимум полевой нагрузки;

$M_{с_1}$ — максимум стационарной нагрузки, совпадающий с $M_{п_1}$;

$M_{п_2}$, $M_{с_2}$ и $M_{ор}$ — совпадающие по времени максимумы стационарной, полевой и оросительной нагрузок, сумма которых при определенной плотности орошения становится равной сумме $M_{п_1} + M_{с_1}$;

λ — степень электрификации полеводства в %;

$C_1 = \frac{M_{п_1}}{\lambda}$; $C_2 = \frac{M_{п_2}}{\lambda}$ — доли соответствующих максимумов полевых нагрузок, падающих на каждый процент степени электрификации полеводства;

h — оптимальная плотность орошения в %;

$K = \frac{M_{ор}}{h}$ — доля оросительного максимума, приходящаяся на единицу плотности орошения.

Равенство
$$M_{п_1} + M_{с_1} = M_{п_2} + M_{с_2} + M_{ор} \qquad (1)$$
обеспечивает наибольшее заполнение графика пятидневных максимумов нагрузок и наибольшее число часов использования годового максимума.

Уравнение (1) можно написать так:

$$C_1\lambda + M_{с_1} = C_2\lambda + M_{с_2} + Kh,$$

или

$$\lambda(C_1 - C_2) + M_{с_1} - M_{с_2} = Kh.$$

Обозначим:
$$M_{с_1} - M_{с_2} = A$$

Тогда
$$\lambda(C_1 - C_2) + A = Kh,$$

откуда
$$h = \frac{\lambda(C_1 - C_2) + A}{K} \qquad (2)$$

Формула (2) позволяет определить оптимальную плотность орошения при той или иной степени электрификации полеводства, обусловливающую наиболее высокое число часов использования годового максимума суммарных графиков нагрузок.

Плотность орошения выше оптимальной, без увеличения оросительного максимума, могла бы быть обеспечена путем создания регулирующих водохранилищ. Заполнение регулирующих водохранилищ, в этом случае, производится в периоды отсутствия оросительных

нагрузок, предшествующие поливам, или одновременно с поливами за счет недоиспользованных мощностей, не превышая годового максимума. Однако ориентировочный подсчет капиталовложений по насосным установкам и регулирующим водохранилищам показал, что целесообразность сооружений последних весьма ограничена (при плотности орошения от 15 до 20%).

Регулирование графиков нагрузки сельских теплофикационных электростанций должно быть направлено на согласование графиков электрических и тепловых нагрузок.

Рассмотрим этот вопрос на примере одного из характерных колхозов в предположении, что теплоснабжение его осуществляется отработавшим паром от локомобиля мощностью 75 л. с. с генератором мощностью 48 квт.

В составе присоединенной мощности в колхозе: бытовые нагрузки — 75,2 квт (41%), животноводство 39,3 квт (21%), стационарные процессы полеводства 38,1 квт (20,6%) и подсобные производства 32,2 квт (17,4%). Таким образом, коэффициент $K_э = 0{,}59$.

На рис. 5 пунктирной линией даны свободные графики электрических нагрузок, максимумы которых превосходят мощность генератора на 10—25%. Применяя первую степень регулирования к таким группам потребителей как переработка концентратов, пила и мельница, мы получили регулируемые графики, изображенные на этом же рисунке сплошной линией.

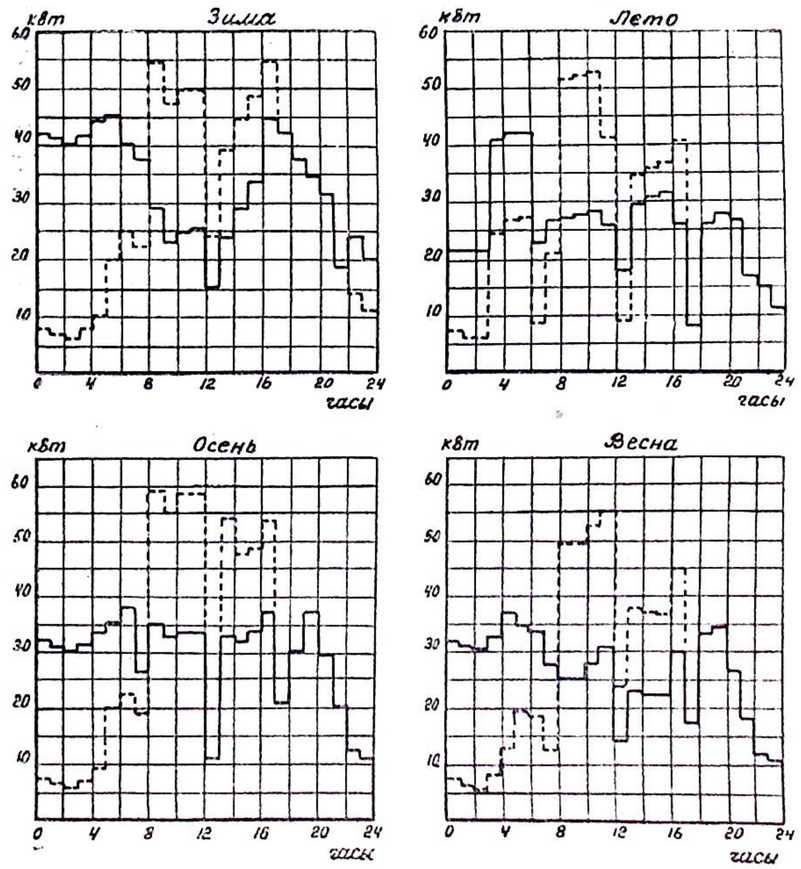


Рис. 5. Графики электрических нагрузок колхоза.
(———— регулируемые; ..... свободные)

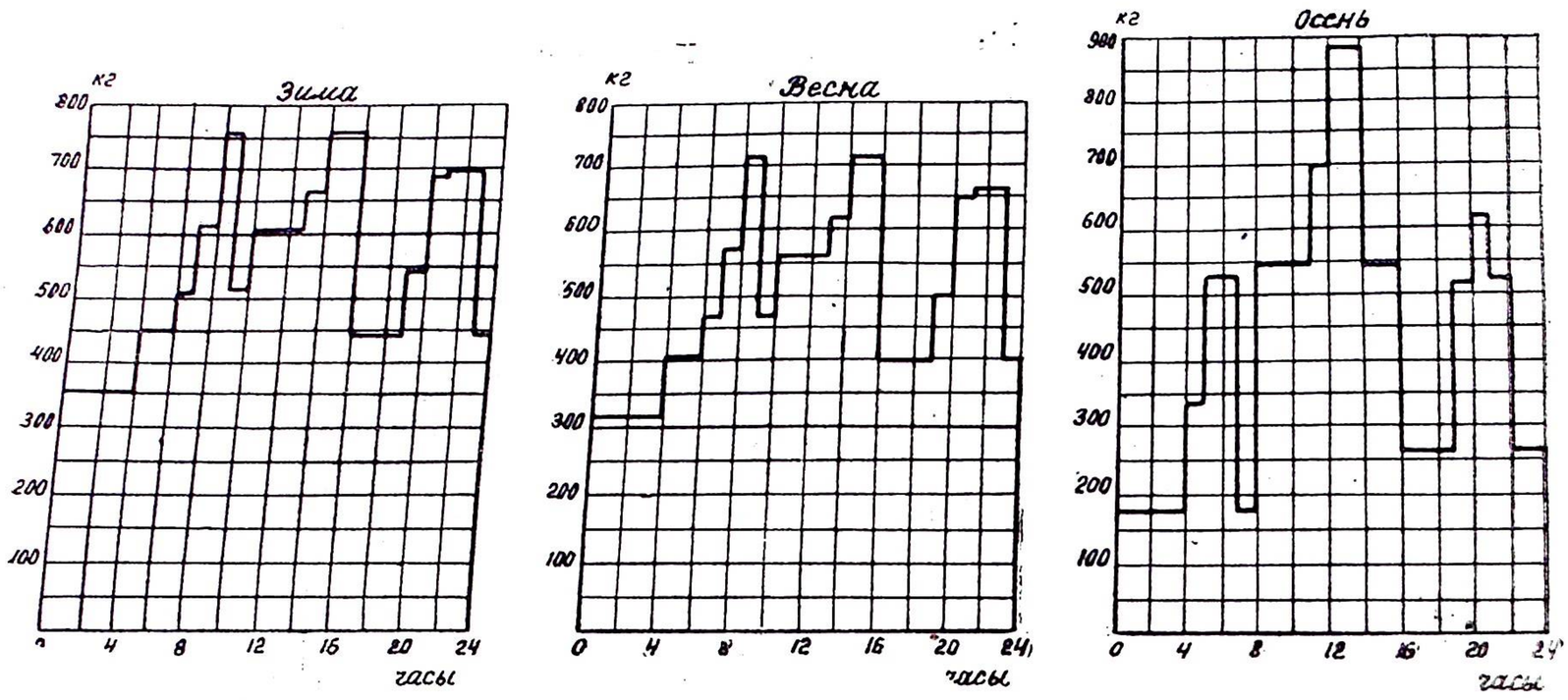


Рис. 6. Графики тепловых нагрузок колхоза.

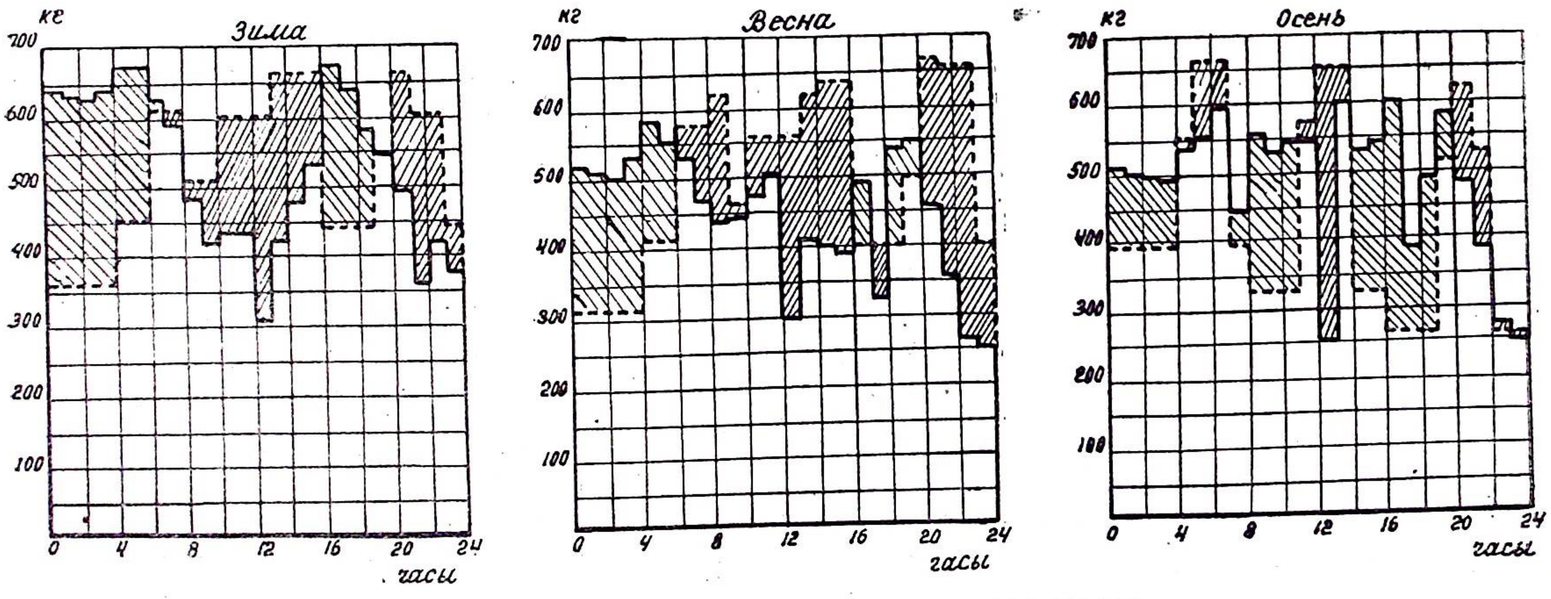


Рис. 7. Регулируемые графики тепловых нагрузок колхоза.
(———— отработанный пар; ———— теплопотребление).

Отработанный пар локомобиля используется для запарки грубых и сочных кормов, сушки зерна, обогрева животноводческих помещений, нагрева воды для животноводческих ферм, обогрева теплиц (330 м²), парников (100 м²), для бани и прачечной.

На рис. 6 приводятся свободные графики теплопотребления для зимы, весны и осени, максимумы которых превышают производительность котла при номинальной мощности локомобиля (700 кг/ч) и номинальных параметрах пара на 7—20%. Регулирование тепловых нагрузок, направленное на снижение максимумов до величины, не превышающей номинальной мощности котла, в нашем случае достигается зимой и весной переводом запарки сочных кормов на час вперед и частичным отключением обогрева животноводческих помещений на 1—3 ч., а осенью переводом сушки зерна с дневного на ночное время. На рис. 7 пунктирной линией даны графики регулируемого теплопотребления, а сплошной линией графики отработанного пара при работе локомобиля по регулируемому электрическому графику, откуда следует, что в отдельные часы суток или теплопотребление остается необеспеченным в размерах, отраженных штриховкой вправо, или отработанный пар не используется полностью (штриховка влево).

Дальнейшее регулирование графиков теплопотребления может быть сведено к нагреву аккумулируемой воды избыточным отработанным паром, используемой в часы максимальных тепловых нагрузок. Одновременно с этим регулируемый график электрических нагрузок должен обеспечить избыточный отработанный пар в количестве, необходимом для нагрева воды. В табл. 4 приводятся пять вариантов первой степени регулирования зимнего графика электрических нагрузок, в различной степени обеспечивающих теплопотребление. В варианте V все потребители-регуляторы работают в ночное время, т. е. в часы, предшествующие максимальным тепловым нагрузкам. Это позволяет аккумулировать горячую воду в количестве, требующемся для более полного обеспечения графика теплопотребления.

Таблица 4

Графики электрических нагрузок	Потребители-регуляторы: свободный график: переработка концентр.	свободный график: пила	свободный график: мельница	регулируемый график: переработка концентр.	регулируемый график: пила	регулируемый график: мельница	Отработавший пар (за сутки): избыток, кг	Отработавший пар (за сутки): недостаток, кг	Обеспеченность теплопотребления %
I	8—13 ч	8—17 ч	8—17 ч	0—5 ч	8—17 ч	0—8 ч	—		
II	"	"	"	0—5	8—17	6—15	—	830	94
III	"	"	"	8—13	8—17	0—8	—	1170	90,5
IV	"	"	"	8—13	21—5	0—8	—	960	92
V	"	"	"	0—5	21—5	0—8	—	890	93
							—	—	100

Из изложенного видно, что в рассмотренном примере регулирование графиков электрических и тепловых нагрузок, в пределах первой степени регулирования, позволило достигнуть приведения электрических нагрузок в соответствие с установленной мощностью генератора и тепловых нагрузок, в соответствие с производительностью котла локомобиля. При этом работа по свободным графикам позволила бы удовлетворить потребность в тепле ограниченного

состава потребителей в размере, например, для зимних суток, 6,69 млн. ккал., в то время как по регулируемым графикам теплопотребление обеспечивается полностью в размере 7,37 млн. ккал в сутки.

Рассмотрим еще в качестве примера регулирование графиков стационарных нагрузок Нартасской локомобильной электростанции мощностью сначала 125 ква, увеличенной потом до 225 ква.

В 1949 г. станция с установленной мощностью 125 ква снабжала электроэнергией целый сельскохозяйственный район Марийской АССР, в том числе 23 колхоза с общим числом хозяйств 1105, районный центр, лесопильный завод, 9 мельниц, 24 молотильных тока, две МТС. Присоединенная мощность на шинах составляла 670 квт, из них электродвигатели 587 квт и освещение 83 квт. В состав присоединенной мощности входили:

1. Молотьба	216	квт
2. Мельницы	146	„
3. Мелкомоторная нагрузка	26	„
4. Райпромкомбинат	31	„
5. МТС	86	„
6. Лесопильный завод	68	„
7. Кирпично-черепичный завод	14	„
8. Освещение	83	„
Итого	670	квт

Графики нагрузки Нартасской станции за период до ее развития отличались высокой уплотненностью за счет регулирования. В связи с этим представляется интересным вскрыть структуру графиков, выявить примененную степень и средства регулирования их.

В таблице 5 дана наиболее вероятная расшифровка графиков характерных сезонов. При этом нам известны: число и присоединенная мощность электродвигателей отдельных групп потребителей, присоединенная мощность освещения и часы работы отдельных групп потребителей, которые в большинстве случаев регламентированы договоренностью между электростанцией и потребителями.

Пользуясь имеющимися данными и задаваясь наиболее вероятными значениями коэффициентов одновременности, определяем максимумы отдельных групп потребителей, а затем строим суточные графики нагрузок (рис. 8).

Близкое совпадение на рис. 8 расшифрованных графиков (сплошная линия) с действительными графиками (пунктирная линия) подтверждает, что значения коэффициентов одновременности, которыми мы задавались, в достаточной степени отражают действительность.

Пользуясь таблицей 5, можно установить следующие характерные особенности регулируемых графиков нагрузки.

В осенний период интенсивной молотьбы в сильной степени ограничивается режим работы всех других потребителей, а именно: работа лесопильного завода не допускается; работа МТС допускается с ограниченной мощностью в дневные часы (с 8 до 17 ч.) и в вечерние часы (с 20 до 24 ч.), а без ограничения мощности только с 17 до 20 ч.; работа мельниц допускается только в ночные часы с 0 до 8 ч.; молотильные пункты разделены на две группы, причем одна группа работает с 4 до 12 ч., другая — с 13 до 21 ч.

Ограниченный режим электромолотьбы в осенний период вызывает необходимость продолжения ее в зимний период с пониженной интенсивностью. Зимой лесопильный завод получает ограниченную ночными часами возможность работы, но при том условии, что мельницы в этом случае ограничиваются по мощности. МТС,

Таблица 5

		Число электродвигателей	Присоед. мощн. на шинах квт	Коэффиц. одновременности	Макс. нагрузка на шинах квт	Часы суток 0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8	8—9	9—10	10—11	11—12	12—13	13—14	14—15	15—16	16—17	17—18	18—19	19—20	20—21	21—22	22—23	23—24
	Зима																											
1	Молотьба	30	70	0,5	35								35	35	35	35	35	35	35									
2	Мельницы	9	42	0,6	25	25	25	25	25	25	25	25																
3	Мелкомоторные нагрузки	9	26	0,6	15									15	15	15	15	15	15	—	15	15	5	5	5	5	5	5	5
4	Райпромкомбинат	12	31	0,4	12									12	12	12	12	12	12	—	12	12							
5	МТС	11	86	0,45	39									39	39	39	39	39	39	—	39	39	20	20	20	20	20	20	20
6	Лесопильный завод	3	81	0,8	54	54	54	54	54	54	54	54	54																
7	Освещение		83	0,8	66	20	15	10	10	10	10	10	10								25	30	66	66	66	66	66	66	60
	Итого					99	94	89	89	89	89	89	99	101	101	101	101	101	101	—	91	96	91	91	91	91	91	91	85
	Лето																											
1	Мельницы	9	146	0,3	40																			40	40	30	30		
2	Мелкомоторные нагрузки	9	26	0,6	15																			15	15	15	15	10	10
3	Райпромкомбинат	12	31	0,4	12																			12	12	12	12	12	10
4	МТС	11	70	0,45	30								30	30	30	30	30	30	30					15	15	15	15	10	10
5	Лесопильный завод	3	81	0,8	54								54	54	54	54	54	54	54										
6	Кирпично-черепичный завод	1	14	1	14								14	14	14	14	14	14	14										
7	Освещение		0,3	0,8	66																				15	25	25	66	40
	Итого												98	98	98	98	98	98	98	98				82	82	97	97	98	70
	Осень																											
1	Молотьба с 4 до 12 ч.	16	120	0,5	60					60	60	60	60	60	60	60	60												
	„ с 13 до 21 ч.	14	96	0,5	48															—	48	48	48	48	48	48	48	30	
2	Мельницы	9	146	0,41	60	60	60	60	60	30	30	30	30																
3	Мелкомоторные нагрузки	9	26	0,6	15									15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	5	5	5	5	5	5
4	Райпромкомбинат	12	31	0,4	12									12	12	12	12		12	12	12	12							
5	МТС	11	86	0,45	39									10	10	10	10		15	15	15	15	39	39	39	20	20	20	20
6	Освещение		83	0,8	66	25	10	10	10																	35	66	66	60
	Итого					85	70	70	70	90	90	90	90	97	97	97	97		80	90	90	90	92	92	92	90	91	91	85

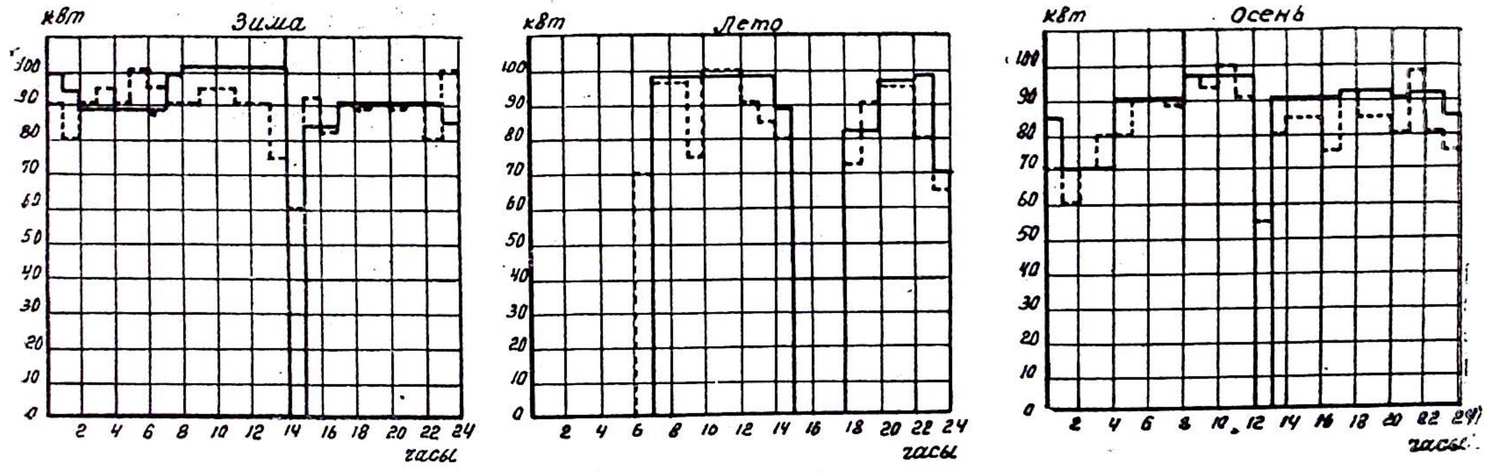


Рис. 8. Графики нагрузки Нартасской ТЭС за 1949 г.
——— предположительные графики;
——— фактические графики.

принимая во внимание проводимый в зимнее время ремонт машин, работает в дневную смену по свободному графику.

Таким образом, режим работы в зимнем графике таков: работа лесопильного завода допускается только в ночные часы с 0 до 8 ч., причем в те дни, когда в эти часы допускается работа мельниц по свободному графику, лесопильный завод не работает; работа МТС без ограничения мощности с 8 до 17 ч. с ограничением мощности с 17 до 24 ч.; работа мельниц допускается только в ночные часы с 0 до 7 ч., причем в те дни, когда допускается работа лесопильного завода, мельницы работают с ограничением мощности; работа молотилок — с ограничением мощности и только в дневные часы с 7 до 14 ч.

Режим работы потребителей в летнее время значительно свободнее: лесопильный завод работает в дневную смену с 7 до 15 ч.; МТС с естественно пониженной интенсивностью в дневную смену с 7 до 15 ч. и с еще менее значительной интенсивностью в вечернюю смену с 18 до 24 ч.; кирпично-черепичный завод работает без ограничений в дневную смену с 7 до 15 ч.; мельницы работают с естественно ограниченной интенсивностью, но с ограничением по времени с 18 до 22 ч.; мелкомоторная нагрузка и райпромкомбинат ограничены временем с 18 до 24 ч.

Таким образом, на основании анализа регулируемых графиков нагрузки Нартасской электростанции приходим к заключению, что режимы работы ее, диктуемые предельной мощностью электростанции, достигаются путем применения второй степени регулирования предложенной нами шкалы, если не учитывать то обстоятельство, что присоединенная мощность освещения явно ограничена и значительно ниже существующих норм. При коэффициенте $K_э = 0{,}87$ коэффициенты заполнения графиков нагрузки (γ) достигли: зимой — 0,86, летом — 0,54 и осенью — 0,83, а число часов использования годового максимума 4500—5000.

В 1955 г., с увеличением установленной мощности электростанции, графики нагрузки стали более свободными. При этом, присоединенная мощность по абсолютной величине осталась почти без изменений, но структура ее несколько изменилась, в связи с чем коэффициент $K_э$ снизился с 0,87 до 0,82.

На рис. 9 сплошной линией изображены фактические графики нагрузки за 1955 г., а пунктиром — предположительные графики, построенные на основании известных нам присоединенных мощностей и режима работы отдельных групп потребителей. В результате вскрытия структуры графиков выяснилось, что в зимнее время регулирование распространяется на размол зерна (4—9 ч.), распиловку леса (16—22 ч.) и мелкомоторные потребители (18—24 ч.). МТС работают в вечернее время (16—24 ч.), а в остальное время предпочитают пользоваться электроэнергией от своих электростанций. Следовательно, регулирование зимнего графика можно отнести, в данном случае, к первой степени предложенной шкалы регулирования.

В летнее время, когда агрегаты ТЭС поочередно проходят капитальный ремонт, регулированию подвергнуты размол зерна, производящийся с естественно пониженной интенсивностью (15—19 ч.), распиловка леса (15—22 ч.) и райпромкомбинат (14—22 ч.). МТС в этот период пользуются электроэнергией исключительно от своих электростанций. Осенью регулируются размол зерна (0—7 ч.), распиловка леса (17—24 ч.), лесозавод (14—22 ч.) и мелкомоторные потребители (13—19 ч.). Следовательно, регулирование графиков нагрузки летнего и осеннего сезонов также может быть отнесено к первой степени шкалы регулирования.

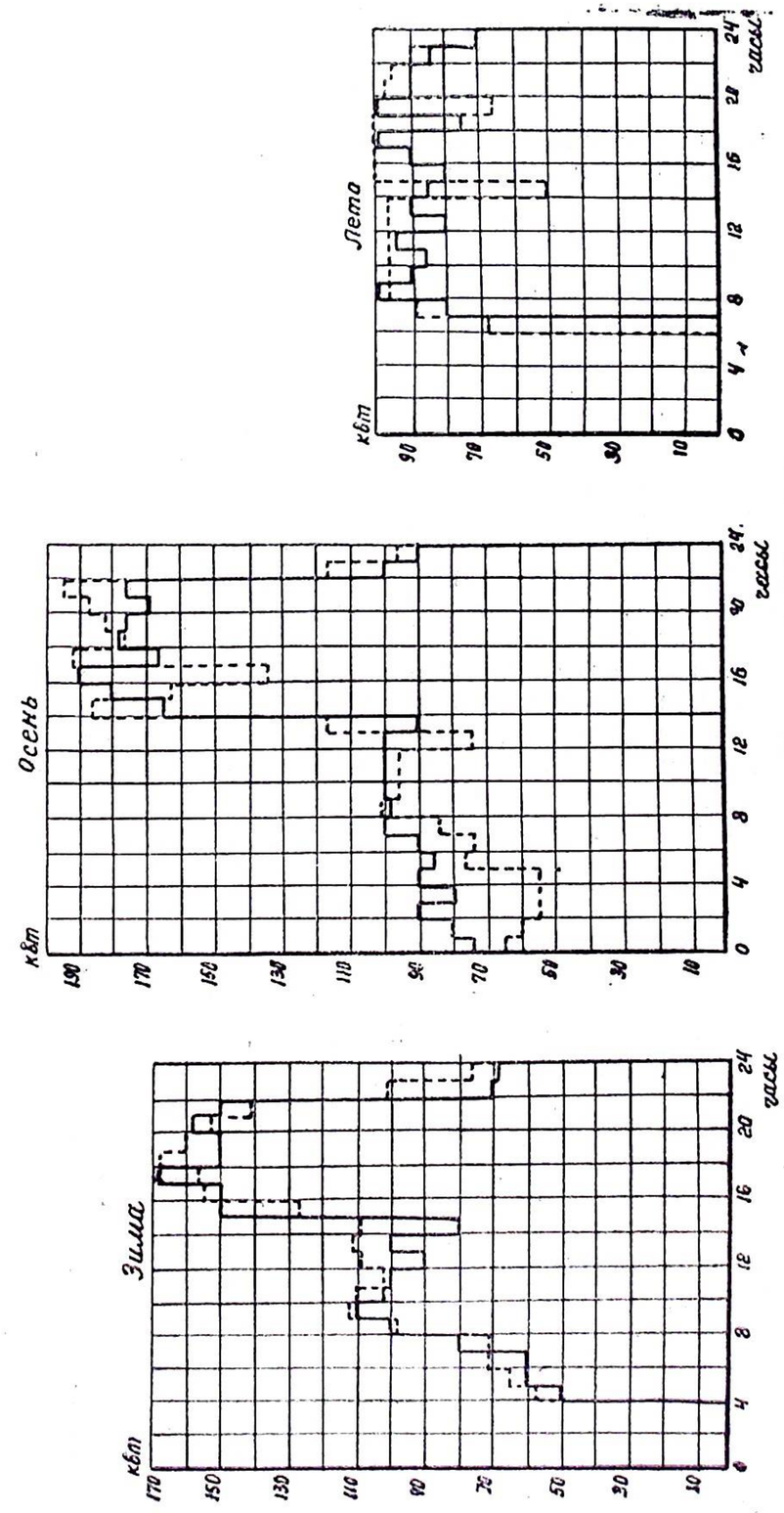


Рис. 9. Графики нагрузки Нартасской ТЭС за 1955 г.
—— фактические графики;
..... предположительные графики.

Таким образом, после увеличения установленной мощности электростанции, графики нагрузки стали менее уплотненными и коэффициенты заполнения их снизились зимой до 0,48, летом до 0,35 и осенью до 0,6. Число часов использования годового максимума снизилось до 3200. Режим работы электростанции, обеспечивающий более свободное энергопотребление, достигается применением только первой степени регулирования, а не второй, как это было в период до ее развития.

3. Совмещение графиков сельскохозяйственных потребителей с графиками промышленных энергосистем

С ростом энергетической базы нашего народного хозяйства сельскохозяйственные потребители получают все большую возможность снабжения энергией от крупных энергосистем.

При широкой электрификации сельскохозяйственного производства потребуются большие мощности, и нагрузки будут иметь значительные максимумы, что окажет заметное влияние на конфигурацию графиков энергосистем. Желательно добиваться такого режима, при котором максимумы сельскохозяйственных потребителей и энергосистем по времени не совпадали, что благоприятно скажется на конфигурации графиков суммарных нагрузок.

Для графиков нагрузки некоторых энергосистем характерно наличие ночных провалов, значительных как по величине, так и по продолжительности, обусловленных режимами их производственных и бытовых потребителей.

В таблице 6 приводятся коэффициенты, характеризующие конфигурацию сезонных графиков нагрузки Казэнерго (1953 г.) и Горьковской энергосистемы (1954 г.), где γ — коэффициент заполнения графиков, α — коэффициент, характеризующий величину ночных провалов, выраженную в долях от суточного максимума, h — продолжительность провалов в часах.

Таблица 6

	Казанская энергосистема (1953 г.)			Горьковская энергосистема (1954 г.)		
	γ	α	h	γ	α	h
Зима	0,89	0,32	6	0,91	0,23	6
Весна	0,84	0,31	8	0,92	0,19	7
Лето	0,86	0,29	7	0,93	0,16	7
Осень	0,85	0,36	7	0,91	0,22	7

Увеличение коэффициентов заполнения графиков, т. е. выравнивание их, может быть достигнуто регулированием нагрузок. Предел выравнивания графиков нагрузки зависит от режима работы энергосистемы, обусловленного наличием необходимого резерва.

В свободных графиках нагрузки многие сельскохозяйственные потребители, режим работы которых не зависит ни от времени суток, ни от режима работы других производственных или бытовых процессов, пользуются электроэнергией преимущественно в дневное время. Вследствие этого в свободных сельскохозяйственных графиках в дневное время возникают максимумы, а в ночное время значительные провалы нагрузки. Поскольку, как мы видели, для графиков некоторых государственных энергосистем также характерно наличие дневных и вечерних максимумов и ночных провалов, то при

подключении сельскохозяйственных потребителей к энергосистемам, коэффициенты заполнения графиков последних, очевидно, снижаются.

Выясним характер изменения коэффициентов заполнения графиков энергосистемы при подключении сельскохозяйственных потребителей на примере Горьковской энергосистемы.

Предположим, что к этой энергосистеме присоединен ряд сельскохозяйственных районов, конфигурация графиков нагрузки которых подобна конфигурации фактических графиков Малышевской ГЭС, снабжающей энергией в основном целый сельскохозяйственный район (Мордовщиковский), входивший в состав Горьковской области (теперь Арзамасской обл.).

В 1954 г. присоединенная мощность ГЭС составляла 1377 квт. Общий для всех потребителей коэффициент $K_э$ был равен 0,8, в то время как для колхозов он составлял только 0,46. Коэффициенты заполнения графиков нагрузки ГЭС были равны: зимой — 0,84; летом — 0,68; осенью — 0,53.

Зададимся сельскохозяйственной нагрузкой $P_{сх}$ в максимуме сезонных графиков Горьковской энергосистемы, равной 10, 20, 30 и 50% от этого максимума. Все ординаты сезонных графиков нагрузки Малышевской ГЭС выразим в процентах от нагрузки, совпадающей с максимумом энергосистемы. Затем, увеличивая в надлежащей мере ординаты (в зависимости от величины $P_{сх}$), но сохраняя конфигурацию графиков сельскохозяйственных потребителей, совмещаем их с соответствующими графиками энергосистемы.

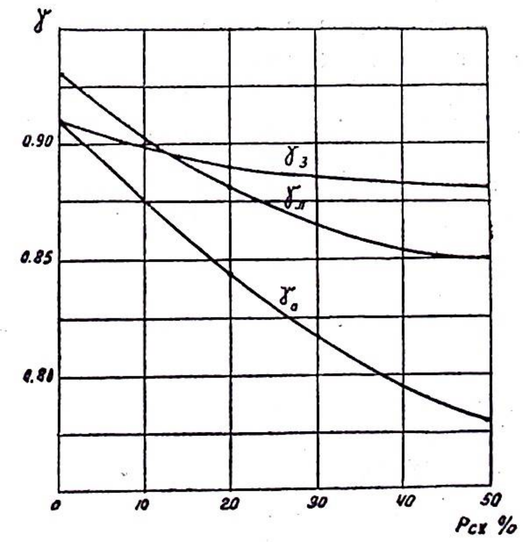


Рис. 10. Кривые коэффициентов заполнения графиков нагрузки Горьковской энергосистемы в зависимости от $P_{сх}$.

На рис. 10 дан характер изменения коэффициентов заполнения сезонных графиков нагрузки Горьковской энергосистемы в зависимости от величины $P_{сх}$, причем видно, что чем больше максимумы сельскохозяйственных потребителей, тем значительнее влияние их на конфигурацию графиков энергосистемы. И кроме того, чем ниже степень заполнения сезонного графика сельскохозяйственных потребителей, тем значительнее снижаются коэффициенты заполнения суммарных графиков. Это свидетельствует о совпадении по времени провалов и максимальных нагрузок в графиках сельскохозяйственных и энергосистемы.

Таким образом, в данном случае, при подключении сельскохозяйственных потребителей к государственной энергосистеме, когда для тех и других графиков нагрузки (сельскохозяйственных и энергосистем) характерно наличие значительных ночных провалов, конфигурация суммарных графиков ухудшается, т. е. коэфициенты заполнения суточных графиков, а следовательно, и коэффициенты использования годового максимума снижаются.

При подключении сельскохозяйственных районов к энергосистемам необходимо определить совмещенный максимум. Чем больше количество подключаемых районов, имеющих различные режимы энергопотребления, тем затруднительнее определить совмещенный максимум, так как максимумы отдельных районов возникают не одновременно и независимо друг от друга.

Анализ фактических сезонных суточных графиков (в количестве около восьмидесяти) сельских электростанций, снабжающих электроэнергией ряд колхозов и предприятий местной промышленности, а иногда целые сельскохозяйственные районы (Малышевская ГЭС, Кукнурская ГЭС, Нартасская ТЭС и др.) показал, что графики, построенные по продолжительности нагрузок, при расположении их в порядке убывания, по своей форме в большинстве случаев близки к трапеции и реже к треугольнику. Такие же, т. е. интегральные суточные графики энергосистем, еще более близки к трапециодальной форме.

Учитывая, что нагрузки отдельных ступеней графиков сельскохозяйственных и промышленных потребителей определяются как сумма ряда независимых переменных величин, они могут рассматриваться как случайные величины с вероятностью, равной отношению продолжительности ступени к общей длительности графиков нагрузок [3, 4]. Поэтому графики нагрузки по продолжительности могут быть отождествлены с интегральными графиками распределения дискретных случайных величин, а в основу определения совмещенных максимумов может быть положена теорема сложения дисперсии, согласно которой сумма случайных величин равна сумме их дисперсий, т. е.

$$D(x) = D_1(x_1) + D_2(x_2) + \cdots + D_n(x_n),$$

где $x, x_1, \ldots x_n$ — случайные независимые величины.

Заменяя ступенчатую ломаную линию интегрального графика прямой, выразим величину текущей нагрузки уравнением:

$$P = P_{max} - (P_{max} - P_{min})\,u,$$

где u — вероятность существования текущей нагрузки.

Откуда интегральный закон распределения вероятностей примет вид:

$$u = F(P) = \frac{P_{max} - P}{P_{max} - P_{min}},$$

а плотность вероятности, как первая производная, равна:

$$f(P) = F'(P) = -\frac{1}{P_{max} - P_{min}}.$$

Подставив выражение плотности вероятности в формулу дисперсии, выразим ее значение в случае равновероятного закона распределения (для интегральных графиков трапециодальной или треугольной формы) через величину максимальной и средней нагрузки:

$$D(x_l) = \int_{-x_1}^{+x_1} (x_l - a)^2 f(x)\,dx = -\int_{P_{max}}^{P_{min}} (P - P_{ср})^2 \frac{1}{P_{max} - P_{min}}\,dP =$$

$$= \int_{P_{min}}^{P_{max}} \left(\frac{P^2 - 2PP_{ср} + P_{ср}^2}{P_{max} - P_{min}} \right) dP = \frac{P_{max}^3 - P_{min}^3}{3(P_{max} - P_{min})} - \frac{P_{ср}(P_{max}^2 - P_{min}^2)}{P_{max} - P_{min}} + P_{ср}^2 =$$

$$= \frac{P_{max}^2 + P_{max}P_{min} + P_{min}^2}{3} - P_{ср}(P_{max} + P_{min}) + P_{ср}^2 =$$

$$= \frac{P_{max}^2 - 2P_{max}P_{ср} + 4P_{ср}^2}{3} + P_{ср}^2 = \frac{(P_{max} - P_{ср})^2}{3}.$$

Подставляя полученное выражение в формулу сложения дисперсии, получим совмещенный максимум:

$$P_{мс.} = P_{ср.\,с} + \sqrt{\sum_1^n (P_{imax} - P_{iср})^2}, \qquad (3)$$

где: $P_{ср.с}$ — среднесуточная нагрузка совмещенного графика для данного сезона;

P_{imax} и $P_{iср}$ — максимальные и среднесуточные нагрузки отдельных сельскохозяйственных районов.

Таким образом, зная максимальные и средние нагрузки энергосистемы и ряда сельскохозяйственных районов, присоединяемых к ней, имеем возможность, пользуясь формулой (3), определить совмещенный максимум суммарных графиков. Покажем это на конкретных примерах.

Предположим, что к Казанской энергосистеме присоединен ряд сельскохозяйственных районов, одна часть которых имеет графики нагрузки, по конфигурации подобные фактическим графикам Пестречинской ГЭС за 1954 г., а графики другой части районов подобны графикам Нартасской ТЭС за 1955 г. Принимая общую нагрузку первых районов, совпадающую с максимумом энергосистемы, равной $P_{сх} = 30\%$, среднесуточная нагрузка их зимних графиков $P_{ср_1} = 21{,}8\%$, а максимальная $P_{м_1} = 34{,}5\%$. Если же для другой части районов $P_{сх} = 10\%$, то для их зимних графиков $P_{ср_2} = 5{,}3\%$, а $P_{м_2} = 10\%$. Соответственно, для графиков энергосистемы $P_{ср} = 88{,}3\%$ и $P_{м} = 100\%$. Среднесуточная нагрузка суммарных графиков $P_{ср.с} = P_{ср} + P_{ср_1} + P_{ср_2} = 88{,}3 + 21{,}8 + 5{,}3 = 115{,}4\%$. На основании формулы (3) совмещенный максимум графика суммарных нагрузок:

$$P_{мс} = P_{ср.с} + \sqrt{(P_м - P_{ср})^2 + (P_{м_1} - P_{ср_1})^2 + (P_{м_2} - P_{ср_2})^2} =$$

$$= 115{,}4 + \sqrt{(100 - 88{,}3)^2 + (34{,}5 - 21{,}8)^2 + (10 - 5{,}3)^2} = 133{,}3\%.$$

Аналогичным путем определим совмещенный максимум осеннего графика суммарных нагрузок Горьковской энергосистемы и присоединяемых к ней сельскохозяйственных районов, для которых характерными являются графики нагрузки Малышевской ГЭС за 1955 г. При $P_{сх} = 50\%$ для осенних сельскохозяйственных графиков $P_{ср_1} = 32{,}3\%$, $P_{м_1} = 60\%$. В графиках энергосистемы $P_{ср} = 90\%$ и $P_{м} = 100\%$. Среднесуточная нагрузка суммарных графиков $P_{ср.с} = 90 + 32{,}3 = 122{,}3\%$. Совмещенный максимум

$$P_{мс} = 122{,}3 + \sqrt{(100 - 90)^2 + (60 - 32{,}3)^2} = 152\%.$$

В рассмотренных примерах разница совмещенных максимумов, определенных аналитическим методом и путем построения суммарных графиков, не превышает 5%.

Теперь рассмотрим возможности использования ночных провалов путем регулирования сельскохозяйственных потребителей, присоединяемых к энергосистемам.

Регулирование графиков сельскохозяйственных потребителей, в этом случае, будет сводиться к снижению нагрузки, совпадающей с максимумом энергосистемы и заполнению ночных провалов, достигаемых перемещением потребителей-регуляторов с часов максимальных нагрузок в системе на ночное время. С этой целью, прежде всего, определяются суточные графики свободных мощностей в энергосистеме для различных сезонов.

Далее, задаемся долей участия сельскохозяйственных нагрузок ($P_{сх}$ %) в максимуме системы и все ординаты графика свободных мощностей увеличиваем на величину $P_{сх}$.

Разделив все часовые нагрузки графиков свободных мощностей (с 0 до 24 ч.) на $P_{сх}$, получим графики, в которых нагрузка, совпадающая с максимумом энергосистемы, равна единице. Таким образом, полученные графики определяют конфигурацию регулируемых графиков сельскохозяйственных потребителей, обусловливающую более высокий коэффициент заполнения соответствующих графиков нагрузки энергосистемы.

Предположим, что по регулируемому графику одного или нескольких сельскохозяйственных районов нагрузка, совпадающая с максимумом системы, равна n, а средняя нагрузка, совпадающая с ночным провалом (с 0 до 5 ч.) — N. Обозначим кратность этих нагрузок $C = \frac{N}{n}$. Зададимся величиной $P_{сх}$ и обозначим ночной провал в графиках энергосистемы W, выраженный в процентах от максимума в ее графике нагрузки данного сезона.

Условие наиболее полного использования ночного провала, при заданном участии сельскохозяйственных потребителей в максимуме системы, может быть выражено следующим соотношением:

$$\frac{W + P_{сх}}{N} = \frac{P_{сх}}{n};\quad W + P_{сх} = CP_{сх};\quad W = P_{сх}(C - 1). \qquad (4)$$

Уравнение (4) дает возможность, при известных размерах ночных провалов в энергосистеме и коэффициентах C, характеризующих конфигурацию регулируемых графиков сельскохозяйственных потребителей, определить общую сельскохозяйственную нагрузку ($P_{сх}$) в максимуме системы, при которой достигается наиболее полное использование ночных провалов. Или, наоборот, зная W и $P_{сх}$, может быть определен коэффициент C, при котором обеспечивается необходимая степень использования провалов. Пользуясь выражением (4), на рис. 11 построен ряд кривых для определенных значений W, имеющих форму гиперболы, сдвинутой в сторону оси абсцисс (см. стр. 67).

В связи со сказанным рассмотрим возможности использования ночного провала в зимнем графике нагрузок Казэнерго путем регулирования графиков присоединяемых сельскохозяйственных потребителей. Предположим, что эти последние графики подобны графикам нагрузки Нартасской ТЭС за 1955 г. Распространим первую степень регулирования на те группы потребителей, за счет которых фактически регулировались графики Нартасской электростанции до 1956 г., т. е. на размол зерна, распиловку леса, лесозавод и мелкомоторные потребители. При этом потребители-регуляторы перемещаются с часов максимальных нагрузок в энергосистеме, в основном на ночное время. В результате регулирования зимнего графика нагрузки коэффициент C увеличивается от 0,7 до 1,76. В зимнем графике Казэнерго (1953 г.) средняя величина ночного провала с 0 до 5 ч. достигает 30%. Поэтому сельскохозяйственная нагрузка в максимуме энергосистемы, обеспечивающая более полную степень использования ночного провала при данной конфигурации регулируемого графика сельскохозяйственных потребителей, согласно формулы (4), должна быть равной:

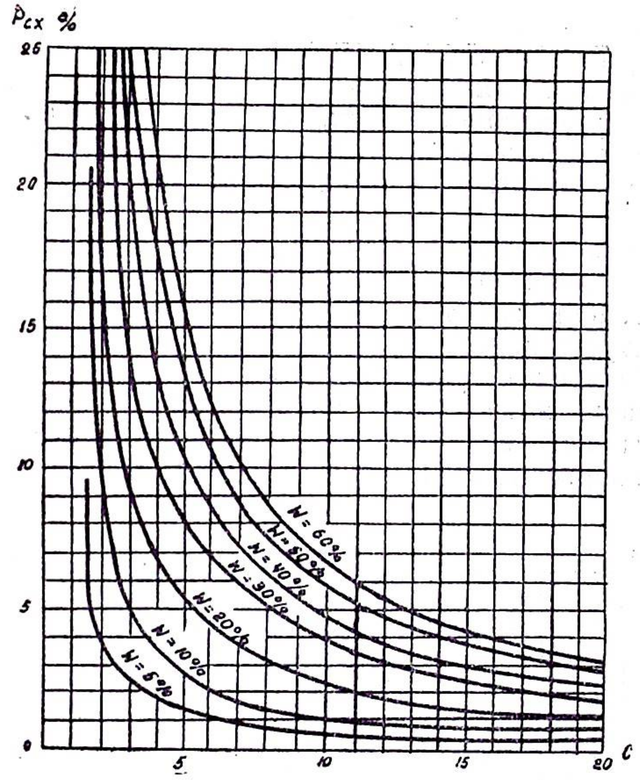


Рис. 11. Кривые изменения W в зависимости от величины $P_{сх}$ и C.

$$P_{сх} = \frac{W}{C - 1} = \frac{30}{1{,}76 - 1} = 39{,}5\%.$$

Соответственно этой величине $P_{сх}$ на рис. 12 пунктирной линией показан зимний график Казэнерго, а сплошной линией суммарный график с учетом отрегулированного графика сельскохозяйственных нагрузок, для которого коэффициент $C = 1{,}76$. Сочетание графика нагрузки энергосистемы с сельскохозяйственной нагрузкой позволило увеличить значение коэффициента γ с 0,89 до 0,94. Приведенный пример иллюстрирует возможность применения предлагаемого метода (формула 4) для определения степени участия сельскохозяйственных нагрузок в максимуме энергосистемы, при которой достигается наибольшее заполнение графиков суммарных нагрузок. Не трудно было бы показать на примере использование выражения (4) для определения конфигурации регулируемого графика сельскохозяйственных нагрузок при заданном участии их в максимуме системы для достижения заданной степени заполнения графиков суммарных нагрузок.

В свободных графиках сельскохозяйственных потребителей, как правило, коэффициент $C < 1$, так как нагрузки в дневное время больше ночных нагрузок. В этом случае из уравнения (4) следует, что W имеет отрицательный знак, т. е. при совмещении свободных графиков сельскохозяйственных потребителей с графиками энергосистем ночные провалы последних увеличиваются, что и было отмечено выше.

Эффективность снижения максимума сельскохозяйственного графика и использования ночных провалов в графиках энергосистемы зависит от степени электрификации сельскохозяйственного производства, структуры присоединенной мощности и коэффициента попадания потребителей-регуляторов в максимум энергосистемы. Коэффициент попадания в максимум энергосистемы определяется отношением суммы нагрузок потребителей-регуляторов, совпадающих с максимумом энергосистемы, к сумме максимумов всех потребителей-регуляторов.

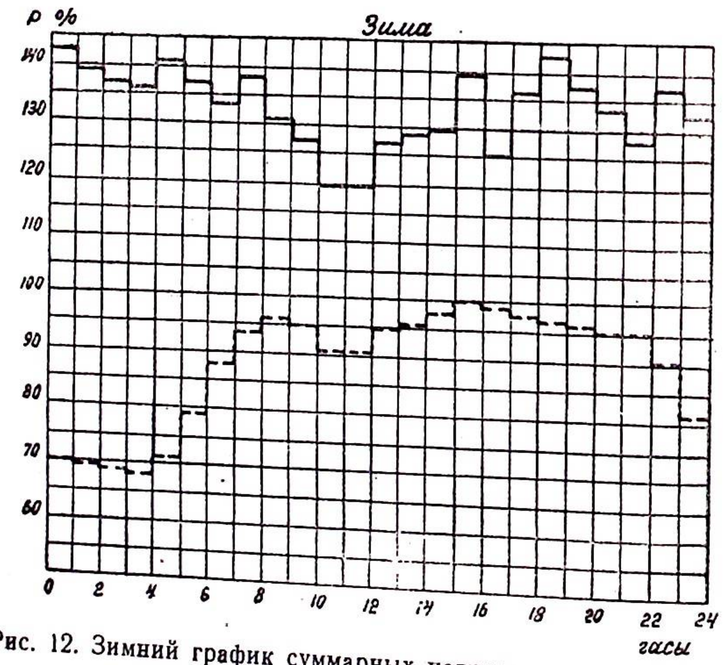


Рис. 12. Зимний график суммарных нагрузок энергосистемы
——— график Казэнерго,
——— суммарный график нагрузок (сельскохозяйственных и Казэнерго).

Исследуя возможности регулирования графиков одного из характерных колхозов при различных уровнях электрификации сельскохозяйственного производства, мы получили кривые, изображенные на рис. 13, показывающие зависимость степени снижения сельскохозяйственной нагрузки (K), совпадающей с максимумом энергосистемы, от коэффициента попадания потребителей-регуляторов в максимум системы (σ_c) для различных значений коэффициентов возможности регулирования (K_p). Уравнение полученных кривых имеет вид $y = ax^n$, т. е. в нашем случае $\sigma_c = aK^n$. Дальнейшие исследования, возможно, позволят определить пределы изменения показателя степени n. Рис. 13 свидетельствует, как и следовало ожидать, что чем выше σ_c и K_p, тем значительнее снижение сельскохозяйственной нагрузки в максимуме энергосистемы, т. е. тем эффективнее регулирование.

Экономическая эффективность регулирования графиков сельскохозяйственных нагрузок, направленного на увеличение коэффициента их заполнения или согласование энергопотребления с энергетическими возможностями энергоснабжающей установки, определяется степенью

снижения капитальных и эксплуатационных затрат. Если в результате регулирования максимум снижается, например, на 1000 квт, что позволит подключить дополнительные нагрузки (с максимумом в 1000 квт) без увеличения мощности электростанций или подстанций и пропускной способности ЛЭП, то увеличится годовая выработка электроэнергии при том же годовом максимуме. Если предположить

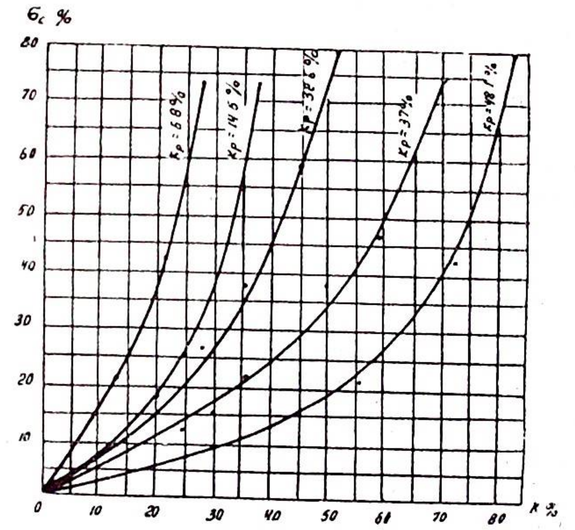


Рис. 13. Кривые зависимости $\sigma_c = ak^n$.

для данного примера, что дальность передачи-50 км, напряжение 110 кв и коэффициент мощности 0,8, то, как видно из литературных данных [6], капиталовложения на 1 ква можно принять в 375 р., а эксплуатационные расходы 31,5 р.

Пользуясь этими удельными показателями, определим экономию в капиталовложениях ($А$) по электрическим сетям и подстанциям в конце линии 110 кв и годовых эксплуатационных расходах ($Б$) без учета стоимости потерь энергии.

$$А = \frac{1\,000}{0{,}8} \cdot 375 = 470 \text{ тыс. руб.}$$

$$Б = \frac{1\,000}{0{,}8} \cdot 31{,}5 = 39{,}4 \text{ тыс. руб.}$$

Предположим также, что дополнительная выработка электроэнергии системы, обусловленная регулированием графиков сельскохозяйственных нагрузок, присоединяемых к ней, составляет 10% от прежней ее выработки.

Пользуясь литературными данными [7] о зависимости себестоимости энергии в конечном пункте линии электропередачи от переменной и постоянной частей себестоимости и от кратности увеличения количества передаваемой энергии, имеем:

$$K = \frac{v(n-1)}{n(c+v)},$$

где: v — переменная часть себестоимости,
c — постоянная часть себестоимости,
n — кратность увеличения передаваемой энергии.

Так, по данным за 1953 г., структура себестоимости электроэнергии на шинах Казэнерго представляла следующее:

$$v = 27\%;\ c = 73\%.$$

При $n = 1{,}1$ относительное снижение себестоимости равно:

$$K = \frac{27\,(1{,}1 - 1)\cdot 100}{1{,}1\,(27 + 73)} = 2{,}5\%.$$

Следует, однако, учесть, что регулирование нагрузок сельскохозяйственных потребителей, присоединенных к энергосистеме, дает не только учтенный выше экономический эффект, но и обусловливает более экономичный режим агрегатов системы, позволяющий снизить удельный расход топлива и соответственно себестоимость электроэнергии на шинах электростанций.

Изложенное выше позволяет прийти к следующим выводам. Регулирование графиков сельскохозяйственных потребителей может значительно улучшить их конфигурацию. Первая и вторая степени регулирования предложенной нами шкалы регулирования позволяют увеличить коэффициенты заполнения графиков, коэффициенты использования годового максимума и согласовать энергопотребление с энергетическими возможностями энергоснабжающей установки.

В случае присоединения к крупным энергосистемам сельскохозяйственных районов с различными режимами энергопотребления, формула (3) позволяет определить совмещенный максимум графика суммарных нагрузок. Регулирование графиков сельскохозяйственных потребителей, присоединяемых к энергосистемам, обеспечивает более высокую степень заполнения графиков суммарных нагрузок за счет использования ночных провалов.

Предложенный метод (формула 4) дает возможность определить конфигурацию регулируемых графиков и степень участия сельскохозяйственных нагрузок в максимуме энергосистемы, при которых достигается наиболее полная степень заполнения графиков суммарных нагрузок. Эффективность регулирования зависит от уровня электрификации сельскохозяйственного производства, определяющего как структуру присоединенной мощности, так и коэффициент возможности регулирования. Она зависит также от коэффициента попадания потребителей-регуляторов в максимум энергосистемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Станция КФАН. Методы повышения эффективности электроснабжения сельскохозяйственных районов. Научный отчет, рукопись, 1952, 1953, 1954, 1955.
2. ЭНИН им. Кржижановского АН СССР. Изучение режимов электропотребления и разработка методов расчета электрических нагрузок в сельскохозяйственных сетях. Научный отчет, рукопись, 1955.
3. Каялов Г. М. Основы анализа нагрузок и расчета электрических сетей промышленных предприятий, „Электричество", № 4, 1951.
4. Арлей Н. и Бух К. Введение в теорию вероятностей и математическую статистику, 1951.
5. Отдел энергетики и водного хозяйства КФАН СССР. Обобщение опыта электрификации колхозов Ютазинского и Столбищенского районов Татарской АССР. Научный отчет, рукопись, 1955.
6. Куценов В. А. и Штейнгауз. О. Е. Вопросы технико-экономического проектирования крупных гидростанций в энергосистемах, 1953.
7. Дарманчев А. К. Показатели и графики нагрузки энергетических систем, 1935.

ИЗВЕСТИЯ КАЗАНСКОГО ФИЛИАЛА АКАДЕМИИ НАУК СССР
СЕРИЯ ЭНЕРГЕТИКИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Вып. 1 *1957*

Ю. В. Скобельцын, Д. Ф. Толкачев

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВОДЯНОГО ОБОГРЕВА ТЕПЛИЧНО-ПАРНИКОВЫХ ХОЗЯЙСТВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕПЛОВЫХ ОТХОДОВ

Одним из важных средств достижения экономии топлива является использование так называемых вторичных энергетических ресурсов, т. е. отбросного тепла промышленных предприятий, содержащегося в отходящих газах, отработанном паре, сбрасываемой теплой воде и др.

Среди других возможностей использования тепловых отходов промышленности существенное значение может иметь теплоснабжение теплично-парниковых хозяйств, которые являются крупными потребителями тепла.

Сентябрьский (1953 г.) Пленум ЦК КПСС, поставивший перед работниками сельского хозяйства задачу ликвидировать отставание производства картофеля и овощей, признал необходимым широкое использование для обогрева парников, теплиц и утепленного грунта тепловых отходов промышленных предприятий.

В директивах XX съезда КПСС по шестому пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1956—1960 гг. указано: „Расширить строительство теплиц и парников, широко используя для них тепловые отходы промышленных предприятий и электростанций".

В нашей работе мы задались целью установить связь между основными параметрами системы водяного отопления культивационных помещений теплично-парниковых хозяйств и основными параметрами теплоносителя, а также изучить зависимость экономических показателей теплоснабжения от потенциала теплоносителя.

При энергетических расчетах основными параметрами культивационных помещений, характеризующими их как потребителей тепла, могут быть приняты: площадь помещения — S м²; заданная температура внутри культивационного помещения — $t^\circ_{вн}$, расчетная (минимальная) наружная температура — $t^\circ_{н}$; „удельные теплопотери" культивационного помещения в окружающую среду, отнесенные к одному градусу разности температур $t^\circ_{вн} - t^\circ_{н}$, к одному часу и к 1 кв. м площади культивационного помещения — $\omega \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2\ \text{час}\ \text{град}}$.

Параметрами теплоносителя являются: часовой расход его (воды) — $Q \frac{\text{л}}{\text{час}}$; температура теплоносителя при входе и выходе из отопительной системы соответственно t°_1 и t°_2, принимаемая равной температуре наружных поверхностей отопительных элементов.

За основной параметр отопительной системы культивационного помещения принимаем величину „удельной теплоотдачи" ее, отнесен-

ную к одному градусу разности температур $\left(\frac{t_1^0 + t_2^0}{2} - t_{вн}\right)$, к одному часу и к 1 кв. м площади культивационного помещения — α $\frac{ккал}{м^2 час\ град}$

Теплопотери культивационного помещения в окружающую среду ($W_п$) покрываются теплоотдачей отопительной системы ($W_о$), которая, в свою очередь, равна теплоотдаче теплоносителя ($W_т$). Таким образом уравнение теплового баланса при установившемся тепловом режиме культивационного помещения может быть написано:

$$W_п = W_о = W_т \frac{ккал.}{час} \qquad (1)$$

Для каждого из членов равенства (1) можно воспользоваться простыми аналитическими выражениями, в состав которых входят указанные выше параметры культивационных помещений, отопительной системы водяного обогрева и теплоносителя:

$$W_п = S \cdot \omega \cdot (t_{вн} - t_н) \frac{ккал}{час} \qquad (2)$$

$$W_о = S \cdot \alpha \cdot \left(\frac{t_1 + t_2}{2} - t_{вн}\right) \frac{ккал}{час} \qquad (3)$$

$$W_т = Q \cdot (t_1 - t_2) \frac{ккал}{час} \qquad (4)$$

Таким образом, развернутое уравнение теплового баланса получим:

$$S\omega(t_{вн} - t_н) = S\alpha\left(\frac{t_1 + t_2}{2} - t_{вн}\right) = Q(t_1 - t_2) \frac{ккал}{час} \qquad (5)$$

или, путем деления на S:

$$\omega(t_{вн} - t_н) = \alpha\left(\frac{t_1 + t_2}{2} - t_{вн}\right) = q(t_1 - t_2) \frac{ккал}{м^2 час}, \qquad (6)$$

где: $q = \frac{Q}{S} \frac{л}{м^2 час}$ — „удельный расход теплоносителя", т. е. часовой расход теплоносителя (воды), отнесенный к 1 кв. м площади культивационного помещения.

Величину „q" вместе с значениями температур $t_1°$ и $t_2°$ принимаем за основные расчетные параметры теплоносителя.

Равенство (6) может быть выражено системой двух расчетных уравнений (7) и (7′):

$$\omega(t_{вн} - t_н) = \alpha\left(\frac{t_1 + t_2}{2} - t_{вн}\right) \qquad (7)$$

$$\omega(t_{вн} - t_н) = q(t_1 - t_2) \qquad (7')$$

Для определенных типов культивационных помещений и заданных расчетных условий их эксплуатации в уравнениях (7) и (7′) известными величинами являются: ω, $t_{вн}$ и $t_н$. Из других четырех величин — параметров теплоносителя q, t_1, t_2 и параметра отопительной системы „α" — надо задаться двумя, чтобы из уравнений (7) и (7′) найти остальные две.

Например, располагая определенным количеством теплоносителя „q" при температуре „t_1" из уравнений (7) и (7′), найдем определенные значения необходимой удельной теплоотдачи отопительной системы „α" и температуру выхода теплоносителя „t_2". Или, если будут заданы температуры входа „t_1" и выхода „t_2" теплоносителя, то из уравнений (7) и (7′) найдем расход теплоносителя „q" и параметр отопительной системы „α", которые должны быть обеспечены. Наконец, если задан параметр „α" и температура "t_1", то расчетом определяются величины „q" и „t_2".

В проектной практике указанные решения могут быть найдены графически путем предварительного построения, на основании уравнений (7) и (7′), диаграмм, связывающих друг с другом параметры „α", „q", „t_1" и „t_2" при различных, практически возможных, значениях „ω", „$t_{вн}$" и „$t_н$". Например, пользуясь диаграммой на рис. 1, построенной для стеллажной теплицы для случая: $\omega = 10 \frac{ккал}{м^2 час\ град}$, $t_{вн} = 25°$ и $t_н = -25°$, находим, задаваясь $t_1 = 90°$ и $q = 17 \frac{л}{м^2 час}$, значения параметра отопительной системы „α" и температуру выхода

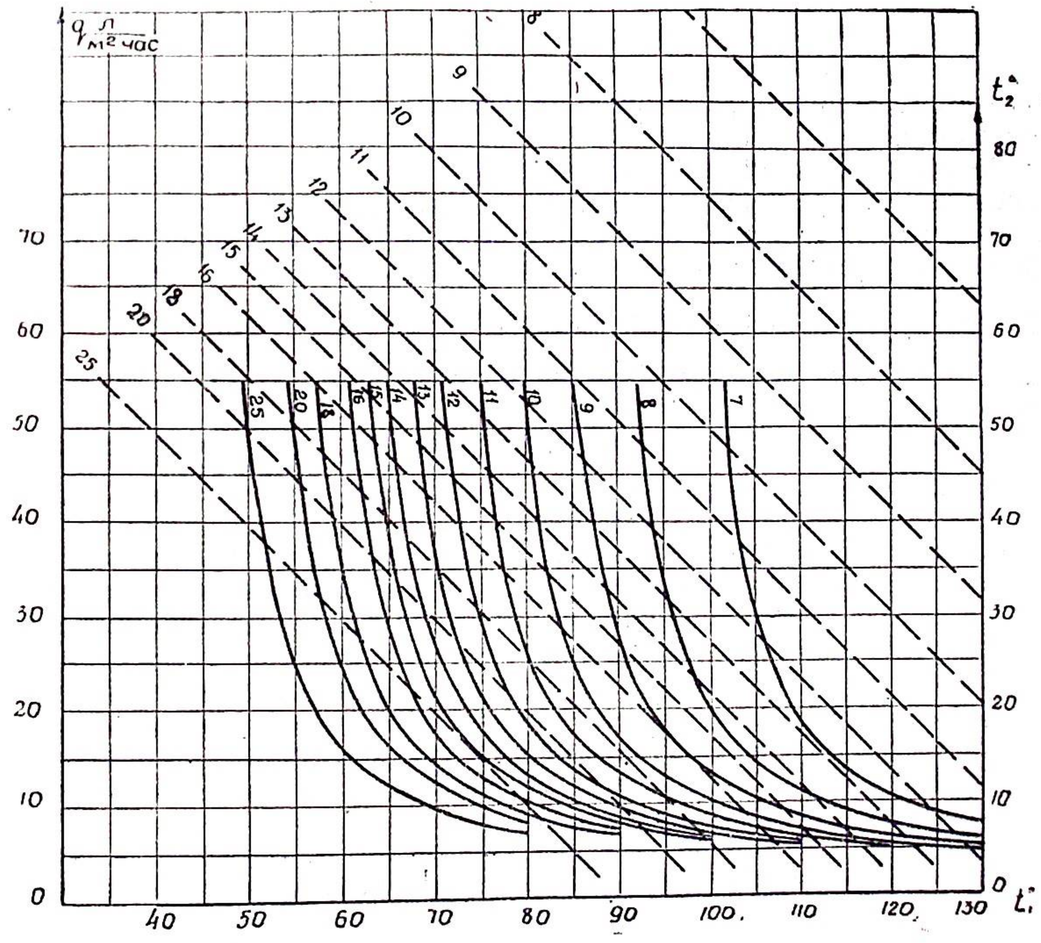


Рис. 1. Для стеллажных теплиц при $\omega = 10 \frac{ккал}{м^2 час\ град.}$, $t_{вн} = 25$, $t_н = -25°$

Сплошные линии дают значения q, а пунктирные линии — t_2 при различных значениях α $\left(\text{от 7 до 25 } \frac{ккал}{м^2 час\ град.}\right)$.

теплоносителя t_2. Для этого на пересечении вертикали $t_1 = 90°$ с горизонталью, соответствующей $q = 17$ л/м²час, находим кривую „q", соответствующую значению $\alpha = 10$.

Теперь, пересечение вертикали $t_1 = 90°$ с прямой t_2, соответствующей $\alpha = 10$, позволяет найти (на оси ординат справа) $t_2 = 59°$.

Выбор параметров, которыми мы задаемся, практически не может быть произвольным. Основным условием, определяющим допустимые пределы, являются экономические показатели (капиталовложения и эксплуатационные расходы), которые, как увидим ниже, сильно воз-

растают с уменьшением потенциала теплоносителя (t_1) вследствие неизбежного при этом возрастания параметров „q“ и „α“.

Кроме того, следует учесть, что соотношение параметров „q“ и „α“ должно находиться в известных пределах, обеспечивающих рекомендуемые скорости теплоносителя в трубах или других элементах отопительной системы. Поэтому при проектировании необходимо проверить выбранные по диаграммам на рис. 1 значения „q“ и „α“ на скорость теплоносителя в элементах отопительной системы. Эта задача будет облегчена, если, учитывая необходимость соблюдения определенного соотношения между параметрами „q“ и „α“, введем дополнительное к уравнениям (7) и (7′) условие:

$$\frac{q}{\alpha} = c, \tag{8}$$

в котором величину „c“ можно принимать, пользуясь разработанными проектами.

Решая в совокупности уравнения (7), (7′) и (8), получим однозначные решения для трех параметров из числа „q“, „α“, „t_1“ и „t_2“ при заданном одном из них. Для этого могут быть построены графики, пример которых показан на рис. 2 для условий тех же, которые предусмотрены диаграммой на рис. 1 и для значения $c = \frac{q}{\alpha} = 1{,}11$, найденном нами по данным проекта теплиц одного из сооружаемых теплично-парниковых комбинатов.

Например, задаваясь $t_1 = 90°$, находим по диаграмме на рис. 2 $q = 12{,}4 \frac{\text{л}}{\text{м}^2 \text{ час}}$; $\alpha = 11{,}2 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \text{ час град}}$; $t_2 = 49{,}7°$.

Таким образом, можно рекомендовать при расчетах, имея заданной температуру теплоносителя „t_1“, найти предварительно на диаграммах, подобных рис. 2, значения „α“ и „q“, которые будут согласованы с обычно допускаемыми скоростями теплоносителя в элементах отопительной системы, после чего, пользуясь диаграммами, пример которых показан на рис. 1, уточнить выбор параметра „α“ в соответствии с желательными величинами „q“ и „t_2“, не допуская при этом значительных отклонений параметра „α“ от найденного предварительно по диаграмме на рис. 2.

Параметр „α“ позволяет, как увидим ниже, определить строительные элементы отопительной системы, т. е. необходимую длину нагревательных труб тех или иных диаметров.

В грунтовых теплицах и парниках предусматриваются, кроме основной части отопительной системы, помещенной над почвой („воздушный обогрев“), еще отопительные трубы под слоем растительного грунта („почвенный обогрев“). Поскольку по условиям агротехники в течение всех основных периодов развития растений температура почвы должна быть на несколько градусов ниже температуры воздуха в культивационных помещениях, теплопередача от почвы в воздух исключается. В связи с этим тепловые потери через наружные ограждающие поверхности культивационных помещений, составляющие около 90% общих теплопотерь, должны быть покрыты только воздушным обогревом; роль же почвенного обогрева сводится к покрытию незначительных теплопотерь через грунт и к поддержанию желательной температуры почвы в период неустановившегося режима, например, при разогреве ее или при резком снижении наружной температуры.

По нашим данным мощность почвенного обогрева может быть принята при расчетах для грунтовых теплиц в размере 10%, а для

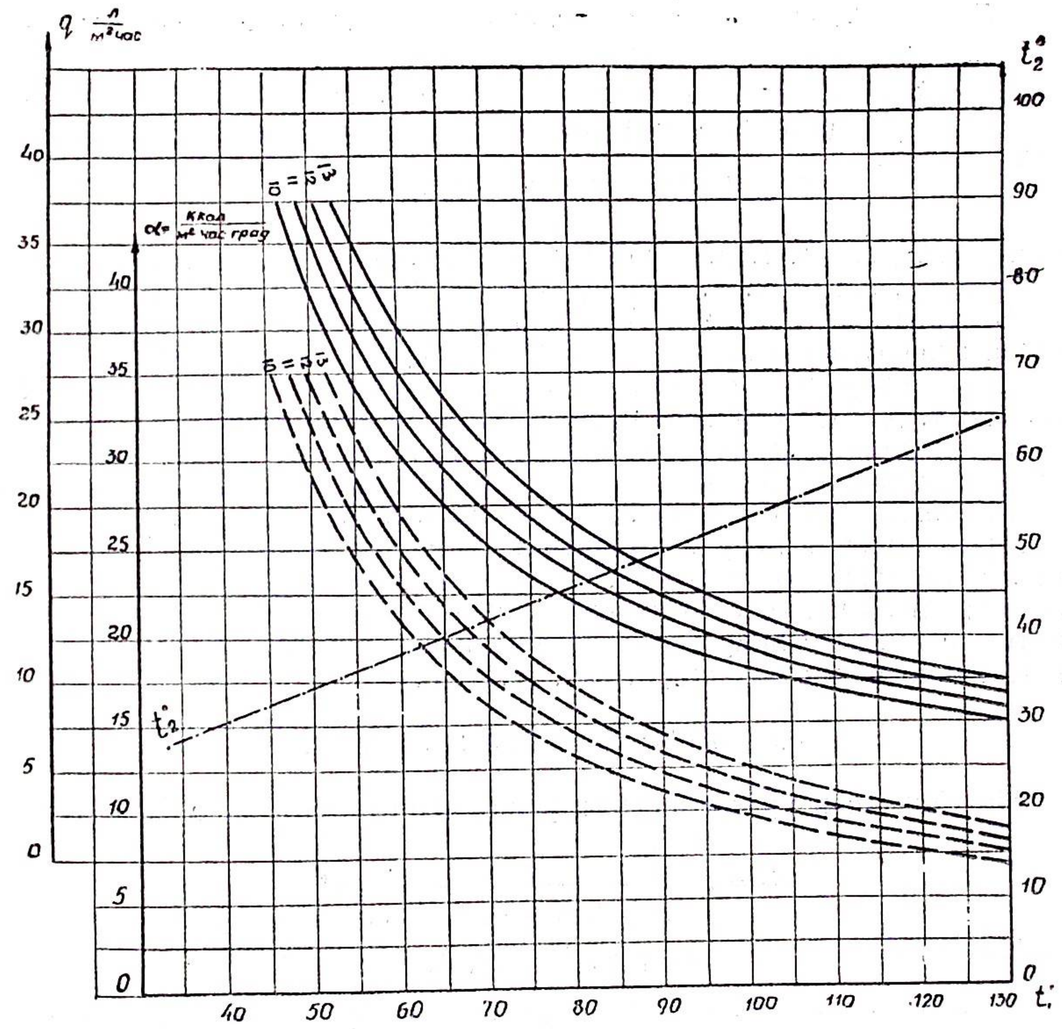


Рис. 2. Для стеллажных теплиц при $\omega = 10, 11, 12$ и $13 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \text{ час град}}$,

$$t_{\text{вн}} = 25°,\ t_{\text{н}} = -25°,\ c = \frac{q}{\alpha} = \text{const} = 1{,}11 \frac{\text{л. град}}{\text{ккал}}$$

Сплошные линии дают значения q, а пунктирные линии — α при различных значениях ω $\left(\text{от 10 до 13 } \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \text{ час град}}\right)$. Линия пунктиром с точкой дает значения t_2 при всех значениях ω.

парников — 20% мощности воздушного обогрева (в стеллажных теплицах вся система отопления расположена над почвой).

Учитывая изложенные соображения, параметр отопительной системы „α“ относим целиком к воздушному обогреву. При этом удельные теплопотери „ω“ следует определять для стеллажных теплиц по потерям через наружные ограждающие поверхности и через грунт, для грунтовых же теплиц и парников только через наружные ограждающие поверхности.

Суммарная теплоотдача элементов воздушного обогрева, которая обеспечивала бы нужную величину „α“, определяется равенством:

$$S\alpha = S_a k_a + S_б k_б + S_в k_в + \ldots, \tag{9}$$

где: S кв. м — площадь культивационного помещения,

S_a, $S_б$, $S_в$ кв. м и т. д. — площадь поверхности труб различных диаметров в системе обогрева,

k_a, $k_б$, $k_в$ — теплопередача труб соответствующих диаметров, (ккал/м² час град),

или

$$S_a = l_a s_a k_a + l_б s_б k_б + l_в s_в k_в + \dots, \qquad (10)$$

где: l_a, $l_б$, $l_в$ м и т. д. — длина труб различных диаметров,

s_a, $s_б$, $s_в$ м² и т. д. — площадь поверхности труб на 1 м их длины.

В некоторых проектах теплиц трубы системы воздушного обогрева являются вместе с тем частью несущих конструкций ограждающих поверхностей. В этом случае сортамент и длина труб l_a, $l_б$, $l_в$ и т. д. будут заданы строительной частью проекта теплицы и остается подобрать необходимые длины дополнительных элементов нагрева с таким расчетом, чтобы было удовлетворено уравнение (10).

Возможен также следующий путь решения. Выбираем тип труб, который имеем в виду применить в качестве основного типа в системе воздушного обогрева. Искомую величину поверхности их обозначим S_a кв. м, а отношение поверхностей труб других типов, которые имеем в виду использовать, к величине S_a обозначим соответственно через $m_б$, $m_в$, ... и т. д., т. е.

$$S_б = m_б S_a;\ S_в = m_в S_a; \dots \text{ и т. д.}$$

Подставляя в уравнение (9) и решая его относительно S_a, получим:

$$S_a = S \frac{\alpha}{k_a + m_б k_б + m_в k_в + \dots} \text{ м}^2$$

Назовем

$$k_a + m_б k_б + m_в k_в + \dots = k_{\text{прив.}} \qquad (11)$$

„приведенной теплопередачей системы обогрева" (приведенной к основному типу труб).

Тогда:

$$S_a = S \frac{\alpha}{k_{\text{прив}}} \text{ м}^2,$$

$$S_б = S m_б \frac{\alpha}{k_{\text{прив}}} \text{ м}^2,$$

$$S_в = S m_в \frac{\alpha}{k_{\text{прив}}} \text{ м}^2, \qquad (12)$$

. . . . . и т. д.

Таким образом, общая поверхность труб воздушного обогрева:

$$S_{\text{возд}} = S_a + S_б + S_в + \dots \text{ кв. м.}$$

Принимая во внимание, что $S_a = l_a s_a$; $S_б = l_б s_б$ и т. д., найдем:

$$\left.\begin{aligned} l_a &= \frac{S_a}{s_a} = S \frac{\alpha}{s_a k_{\text{прив}}} \text{ м}, \\ l_б &= \frac{S_б}{s_б} = S \frac{\alpha m_б}{s_б k_{\text{прив}}} \text{ м}, \\ l_в &= \frac{S_в}{s_в} = S \frac{\alpha m_в}{s_в k_{\text{прив}}} \text{ м}, \\ &\dots\dots\dots \text{ и т. д.} \end{aligned}\right\} \qquad (13)$$

Что касается почвенного обогрева в грунтовых теплицах и парниках, то, на основании сказанного выше о соотношении мощности почвенного и воздушного обогрева и в связи с тем, что почвенный обогрев выполняется обычно трубами одного типа, получим длину труб для грунтовых теплиц:

$$l_{\text{почв}} = \frac{0{,}1\, S_{\text{возд}}}{\pi d_n} \text{ м}, \qquad (14)$$

для парников:

$$l_{\text{почв}} = \frac{0{,}2\, S_{\text{возд}}}{\pi d_n} \text{ м}, \qquad (15)$$

где d_n — диаметр труб почвенного обогрева.

В качестве иллюстрации приведем один из вариантов расчета воздушного обогрева теплицы.

Пример: стеллажная теплица площадью $S = 1000$ м² при расчетном $\alpha = 11 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \text{ час град}}$ оборудуется системой обогрева трубами:

Тип *а*: диам. 108 мм, $s_a = 0{,}34 \frac{\text{м}^2}{\text{м}}$, $k_a = 10 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \text{ час град}}$;

Тип *б*: диам. 76 мм, $s_б = 0{,}23 \frac{\text{м}^2}{\text{м}}$, $k_б = 10 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \text{ час град}}$;

Тип *в*: диам. 42 мм, $s_в = 0{,}13 \frac{\text{м}^2}{\text{м}}$, $k_в = 11 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \text{ час град}}$;

$$m_б = 0{,}3 \text{ и } m_в = 0{,}2.$$

Определяем погонную длину труб каждого типа. Согласно (11) приведенная теплопередача —

$$k_{\text{прив.}} = k_a + m_б k_б + m_в k_в = 10 + 0{,}3 \cdot 10 + 0{,}2 \cdot 11 = 15{,}2 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \text{ час. град.}}.$$

Пользуясь (13), находим:

$$l_a = S \frac{\alpha}{k_{\text{прив}}\, s_a} = 1000 \frac{11}{15{,}2 \cdot 0{,}34} = 2130 \text{ м},$$

$$l_б = S \frac{\alpha m_б}{k_{\text{прив}}\, s_б} = 1000 \frac{11}{15{,}2} \cdot \frac{0{,}3}{0{,}23} = 900 \text{ м},$$

$$l_в = S \frac{\alpha m_в}{k_{\text{прив}}\, s_в} = 1000 \frac{11}{15{,}2} \cdot \frac{0{,}2}{0{,}13} = 970 \text{ м}.$$

Обращаясь к экономическим показателям, можно установить зависимость удельных величин (на 1 кв. м площади культивационных помещений) капиталовложений и годовых эксплуатационных расходов от основных параметров теплоносителя и отопительной системы.

В общем случае основными элементами сооружений в системе теплоснабжения теплично-парниковых хозяйств за счет тепловых отходов являются:

1) система обогрева культивационных помещений,
2) магистральный теплопровод,
3) насосная установка,
4) теплообменник.

Если тепловые отходы могут быть использованы непосредственно в качестве теплоносителя, необходимость в теплообменнике отпадает.

Не трудно показать, что удельная величина капиталовложений в отопительную систему может быть принята с достаточной сте-

пенью точности прямо пропорциональной ее основному расчетному параметру „a", т. е

$$P_{к.\,от.} = c_{от}\, a \ \frac{руб.}{м^2} \qquad (16)$$

Множитель $c_{от} = \frac{P_{к.\,от.}}{a} \ \frac{руб.\ м^2\ час\ град.}{ккал}$, представляющий собой величину капиталовложений, отнесенную к единице удельной теплоотдачи „a", может быть определен как средняя величина по практическим данным проектов и выполненных установок или рассчитан, пользуясь выражениями (17):

$$\begin{aligned} &\text{для стеллажных теплиц . . } c_{от} = a, \\ &\text{„ грунтовых теплиц . . } c_{от} = 1{,}15\,a, \\ &\text{„ парников . . . . . } c_{от} = 1{,}3\,a, \end{aligned} \qquad (17)$$

где:

$$a = \frac{P_a + m_б P_б + m_в P_в + \dots}{k_a + k_б + k_в + \dots},$$

$$P_a = 2\,\frac{p_a}{s_a};\ P_б = 2\,\frac{p_б}{s_б};\ P_в = 2\,\frac{p_в}{s_в}, \dots,$$

p_a, $p_б$, $p_в$ ... и т. д. — стоимость 1 пог. метра труб (руб.); множитель „2" учитывает стоимость (среднюю) земляных работ и монтажа.

Годовые эксплуатационные расходы по системе обогрева ($P_{э.\,от.}$), отнесенные к 1 кв. м площади культивационных помещений, включают отчисления на амортизацию и ремонт (5%), а также расходы на обслуживание. Последние могут быть приняты ориентировочно, исходя из бригады дежурных слесарей в составе четырех человек на 1 га площади культивационных помещений, в размере 20.000 руб. в год или 2 руб. на 1 кв. м. Таким образом:

$$P_{э.\,от.} = 0{,}05\,P_{к.\,от.} + 2 \text{ руб./м}^2 \text{ год} \qquad (18)$$

Капиталовложения в магистральный трубопровод определяются весом его, зависящим от расчетной пропускной способности и длины, стоимостью единицы веса и стоимостью монтажа, которая может быть принята в долях от стоимости труб:

$$P'_{к.\,тр.} = p \cdot F(1+\beta) \text{ руб.}, \qquad (19)$$

где: p $\frac{руб.}{кг}$ — стоимость единицы веса труб,

F кг — вес трубопровода,

β — стоимость монтажа в долях от стоимости труб.

Расчетная пропускная способность трубопровода $\left(Q\ \frac{л}{час}\right)$ связана с его диаметром (d см) и скоростью воды $\left(v\ \frac{м}{сек}\right)$ выражением:

$$Q = \frac{100 \cdot v \cdot 3600 \cdot \pi d^2}{1000 \cdot 4}\ \frac{л}{час},$$

откуда

$$d = \sqrt{\frac{Q}{90\pi v}} \text{ см}. \qquad (20)$$

Вес трубопровода может быть выражен:

$$F = \frac{\gamma \pi d \delta d L}{10} = \frac{\gamma \pi d^2 \delta L}{10} \text{ кг}, \qquad (21)$$

где: γ $\frac{г}{см^3}$ — удельный вес материала трубопровода,

δ — толщина стенок трубопровода в долях его диаметра,

L м — длина трубопровода.

Подставляя (20) в (21), получим:

$$F = \frac{\gamma \delta}{900 v} LQ \text{ кг}.$$

Подставляя значение F в (19), получим общие капиталовложения в магистральный трубопровод:

$$P'_{к.\,тр.} = \frac{p\,(1+\beta)\,\gamma\delta}{900 v} LQ \text{ руб.}$$

или, обозначая

$$\frac{p\,(1+\beta)\,\gamma\delta}{900 v} = c_{тр}, \qquad (22)$$

$$P'_{к.\,тр.} = c_{тр} LQ \text{ руб.}, \qquad (23)$$

т. е. в среднем на 1 кв. м культивационных помещений:

$$P_{к.\,тр.\,ср.} = c_{тр} L \frac{Q}{S} = c_{тр} L q_{ср}\ \frac{руб.}{м^2}, \qquad (24)$$

где: $q_{ср}$ $\frac{л}{час}$ — средний расход теплоносителя на 1 кв. м культивационных помещений.

Поскольку, однако, капиталовложения (и эксплуатационные расходы) необходимо определять раздельно по видам культивационных помещений (цехам комбината), нужно распределить между ними стоимость общего магистрального теплопровода пропорционально максимальному часовому расходу теплоносителя каждым из цехов (теплицы стеллажные, теплицы грунтовые, парники).

Так, например, для цеха 1:

$$P_{к.\,тр.\,1} = P'_{к.\,тр.}\,\frac{Q_1}{Q} = P'_{к.\,тр.}\,\frac{S_1 q_1}{Q} \text{ руб.}, \qquad (25)$$

где: S_1 и q_1 — соответственно площадь культивационных помещений цеха 1 и его удельный (на 1 кв. м) часовой расход теплоносителя, участвующий в общей, максимальной (расчетной) пропускной способности теплопровода.

Подставляя (23) в (25) и относя к 1 кв. м., получим

$$P_{к.\,тр.\,1} = c_{тр} L q_1\ \frac{руб.}{м^2}. \qquad (26)$$

Таким образом, удельные капиталовложения в магистральный трубопровод, приходящиеся на 1 кв. м площади культивационных помещений данного цеха, пропорциональны общей длине трубопровода и параметру теплоносителя q_1 для культивационных помещений этого цеха.

Годовые эксплуатационные расходы по магистральному теплопроводу, отнесенные к 1 кв. м. площади культивационных помещений (например, цеха 1) при 5% отчислений на амортизацию и ремонт составят:

$$P_{э.\,тр.\,1} = 0{,}05\,c_{тр} L q_1\ \frac{руб.}{м^2\ год}. \qquad (27)$$

Капиталовложения в насосную установку для подачи теплоносителя могут быть определены, исходя из затрат на 1 квт установленной мощности электронасосного агрегата ($N_э$.):

$$P'_{к.\,н} = p_н N_э = \frac{p_н\, QH}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_н} \text{ руб.}, \qquad (28)$$

где: $p_н \frac{\text{руб.}}{\text{квт}}$ — затраты на 1 квт установленной мощности электронасосного агрегата,

$H_м$ — напор, создаваемый насосом,

$\eta_н$ — коэффициент полезного действия насоса.

Распределение капиталовложений в электронасосную установку между отдельными цехами с отнесением их на 1 кв. м площади культивационных помещений, может быть произведено аналогично тому, как показано выше в отношении магистрального теплопровода.

Учитывая, что напор насосной установки должен покрывать гидравлические потери в магистральном трубопроводе ($H_{тр}$) и в отопительной системе ($H_{от}$), что среднее значение $H_{от}$ может быть принято ориентировочно из практики проектирования, а $H_{тр}$ пропорционально длине трубопровода „L", можно считать, что удельные капиталовложения (на 1 кв. м) в электронасосную установку являются, подобно капиталовложениям в магистральный трубопровод, функцией параметра теплоносителя q_1 (для данного цеха) и длины трубопровода:

$$P_{к.\,н.\,1} = f(q_1, L)\ \frac{\text{руб.}}{\text{м}^2}. \tag{29}$$

В составе годовых эксплуатационных расходов по насосной установке следует учитывать отчисления на амортизацию и ремонт (7%), оплату электроэнергии $\left(\text{по тарифу } p_э \frac{\text{руб}}{\text{квтч}}\right)$ и обслуживание в размере ориентировочно 20.000 руб. в год, исходя из бригады в составе четырех человек. Последней статьи расходов может и не быть, если обслуживание насосной совмещено с обслуживанием теплообменной установки.

Годовые расходы на электроэнергию составляют:

$$\frac{p_э\,\Sigma Q \cdot 1000 \cdot H}{102 \cdot 3600 \cdot \eta_н \eta_э}\ \frac{\text{руб.}}{\text{год}},$$

где: ΣQ куб. м — годовой расход теплоносителя,

$\eta_э$ — коэф. полезн. действия электродвигателя электронасосного агрегата.

Отчисления на амортизацию и ремонт, исходя из (28):

$$\frac{0{,}07 Q H p_н}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_н} = \frac{Q H p_н}{5 \cdot 10^6 \eta_н}\ \frac{\text{руб.}}{\text{год}}.$$

Таким образом, общие годовые эксплуатационные расходы по электронасосной установке составляют:

$$P'_{э.\,н} = \frac{Q H p_н}{5 \cdot 10^6 \eta_н} + \frac{p_э\,\Sigma\,Q \cdot 1000\,H}{102 \cdot 3600 \cdot \eta_н \eta_э} + 20\,000\ \frac{\text{руб.}}{\text{год}}. \tag{30}$$

Распределение расходов между цехами с отнесением их на 1 кв. м площади культивационных помещений может быть произведено аналогично тому, как показано выше в отношении магистрального теплопровода.

Выражение (30) показывает, что удельные годовые эксплуатационные расходы по насосной установке, по тем же соображениям, что и для капиталовложений, можно считать функцией параметра теплоносителя „q_1" (для данного цеха) и длины трубопровода „L":

$$P_{э.\,н.\,1} = f_2(q_1, L)\ \frac{\text{руб.}}{\text{м}^2\ \text{год}}. \tag{31}$$

Капиталовложения в теплообменную установку могут быть определены ориентировочно, исходя из стоимости единицы поверхности

нагрева самого теплообменника и дополнительных расходов, связанных с его установкой, стоимостью здания, дымососов, водозабора и других затрат:

$$P'_{к.\,т.} = 1{,}5 \cdot p_F F\ \text{руб.}, \tag{32}$$

где: $p_F \frac{\text{руб.}}{\text{м}^2}$ — стоимость теплообменника на 1 кв. м поверхности нагрева его,

F кв. м — поверхность нагрева теплообменника,

1,5 — множитель, учитывающий стоимость здания, дымососов, водозабора и др. затрат, связанных с установкой теплообменника.

Поверхность нагрева может быть определена по формуле:

$$F = \frac{W}{k\Delta t} = \frac{Q(t_1 - t_2)}{k\Delta t}\ \text{м}^2, \tag{33}$$

где: $W \frac{\text{ккал}}{\text{час}}$ — расчетное (максимальное) количество тепла в час, необходимое для всего ТПХ,

$Q \frac{\text{кг}}{\text{час}}$ — соответствующее количество теплоносителя (воды),

$t_1°$ и $t_2°$ — температура воды при выходе из теплообменника и при входе в него,

$k \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2\ \text{час}\ \text{град}}$ — коэффициент теплопередачи поверхности нагрева теплообменника,

Δt — средняя разность температур (температурный перепад) между теплоносителями в теплообменнике при противотоке

$$\Delta t = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{2{,}3 \lg \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}},$$

где: $T_1°$ и $T_2°$ — температура первичного теплоносителя при входе в теплообменник и при выходе из него.

Подставляя (33) в (32), получим:

$$P'_{к.\,т.} = 1{,}5\ p_F \frac{Q(t_1 - t_2)}{k\Delta t}\ \text{руб.} \tag{34}$$

Распределение капиталовложений на теплообменную установку между цехами с отнесением на 1 кв. м площади культивационных помещений может быть произведено аналогично тому, как это было показано по магистральному теплопроводу. При этом окажется, как легко видеть из (34), что удельные капиталовложения (а следовательно и эксплуатационные расходы) по теплообменной установке являются функцией параметров теплоносителя $q_1 = \frac{Q_1}{S_1}$ и $t_1°$ (поскольку $t_1° - t_2°$ является в свою очередь функцией t_1):

$$P_{к.\,т.\,1} = f_3(q_1,\ t_1°)\ \frac{\text{руб.}}{\text{м}^2}.$$

В составе годовых эксплуатационных расходов нужно учитывать отчисление на амортизацию (5% на оборудование и 2% на здание) и обслуживание ($P_{т.\,обсл.}$):

$$P_{э.\,т.} = 0{,}05 \cdot 0{,}7\ P'_{к.\,т.} + 0{,}02 \cdot 0{,}3\ P'_{к.\,т.} + P_{т.\,обсл.}\ \frac{\text{руб.}}{\text{год}},$$

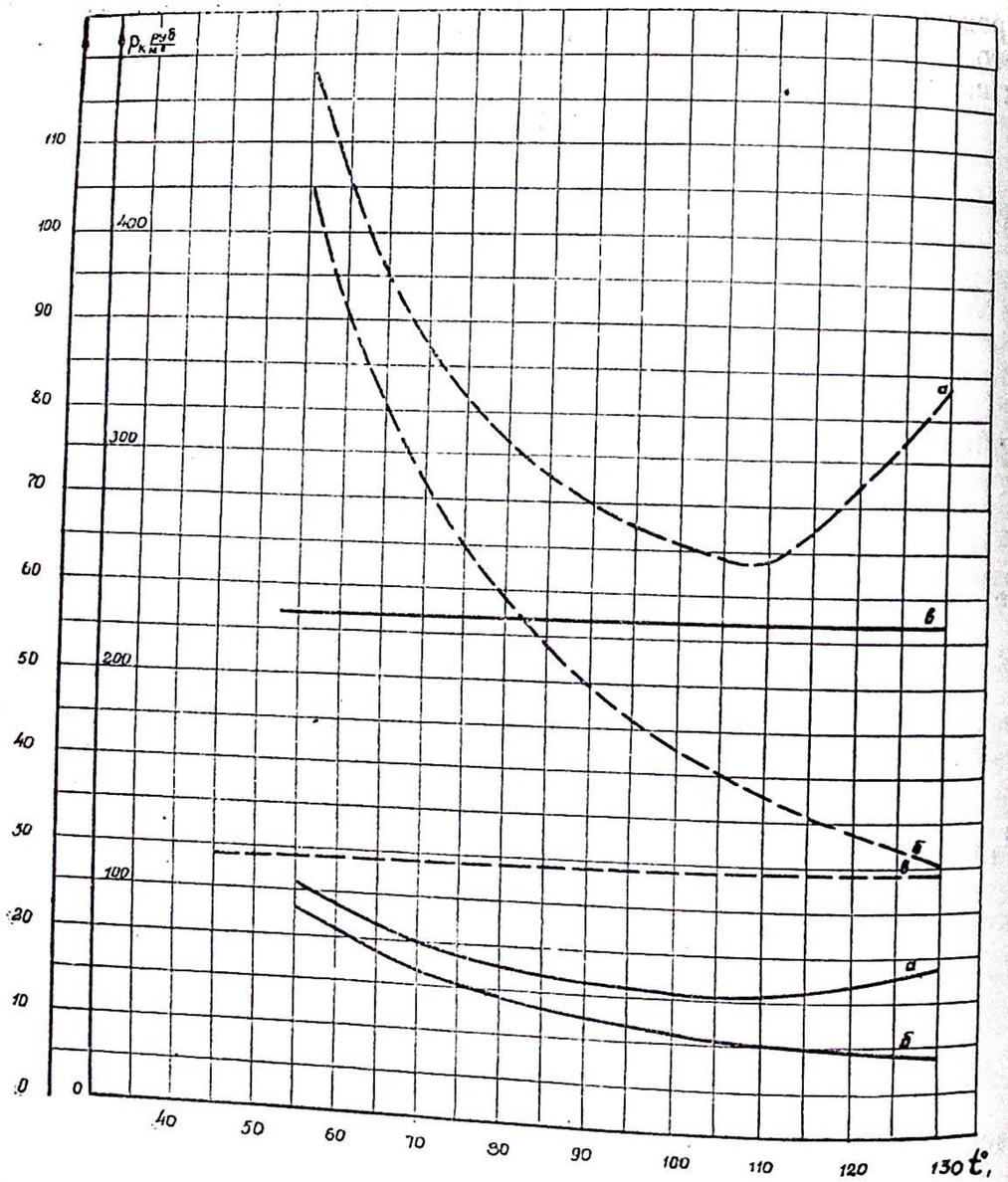


Рис. 3. Капитальные и эксплуатационные затраты на 1 м² площади стеллажных теплиц в зависимости от потенциала теплоносителя (при длине магистрального трубопровода 1000 м).

Сплошные линии обозначают эксплуатационные расходы ($P_э$), пунктирные линии — капиталовложения ($P_к$) при вариантах: *а* — с теплообменником, *б* — без теплообменника, *в* — при использовании теплофикационного теплоносителя.

где: $0{,}7\,P'_{к.т.}$ руб. — стоимость оборудования,

$0{,}3\,P'_{к.т.}$ руб. — стоимость здания.

На основе установленных выше зависимостей капитальных затрат и эксплуатационных расходов от параметров системы теплоснабжения выявлена зависимость экономических показателей использования тепловых отходов от потенциала теплоносителя (рис. 3, 4, 5).

Расчет сделан на примере теплично-парникового хозяйства (сооружаемого в г. Казани), в состав которого входят 4 стеллажных теплицы общей площадью 2500 кв. м, 6 грунтовых теплиц общей площадью 7500 кв. м и 20000 парниковых рам. Расчетные внутренние температуры для теплиц стеллажных 25°, грунтовых 18° и для парников 18°,

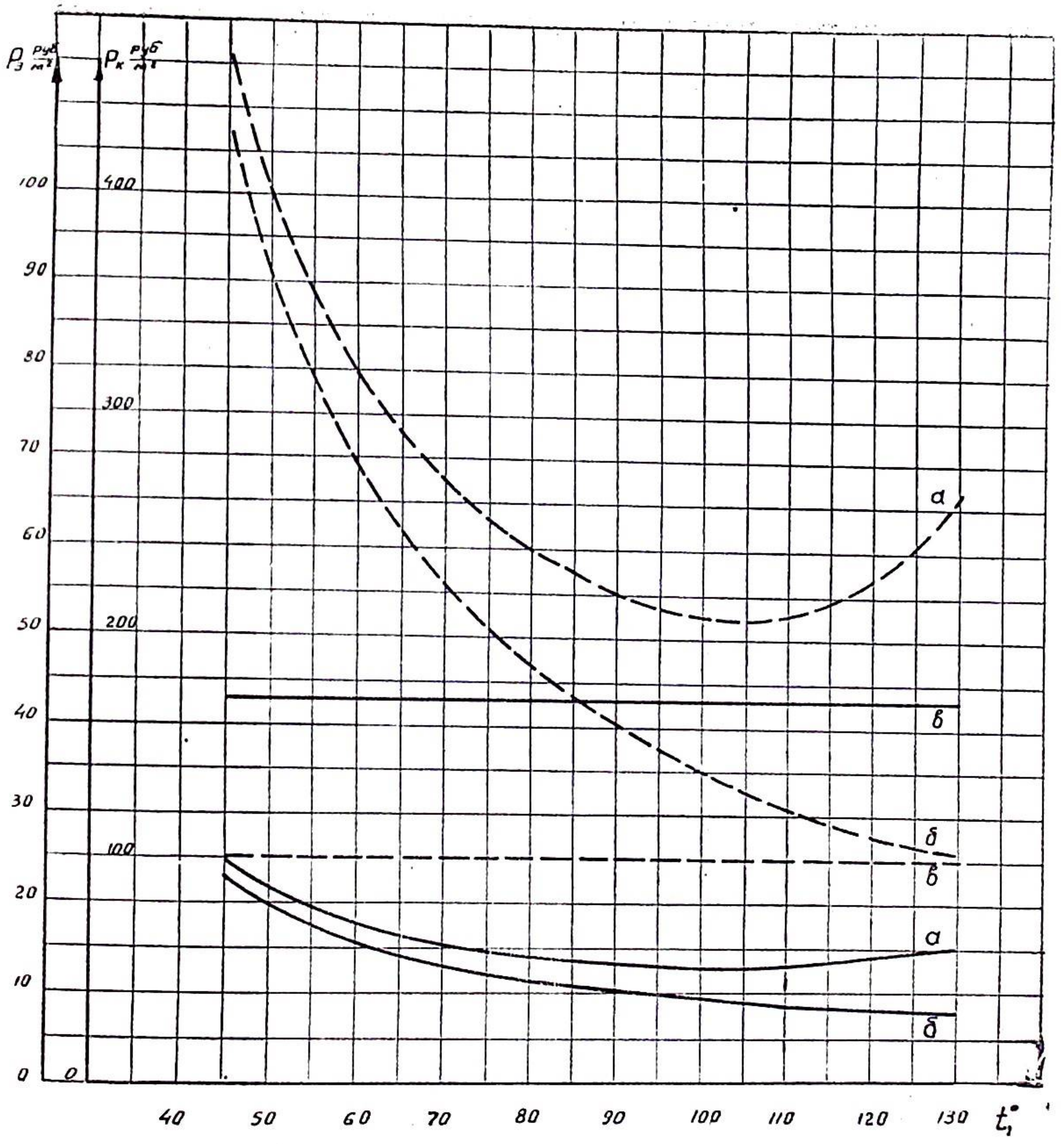


Рис. 4. Капитальные и эксплуатационные затраты на 1 м² площади грунтовых теплиц в зависимости от потенциала теплоносителя (при длине магистрального трубопровода 1000 м).

Сплошные линии обозначают эксплуатационные расходы ($P_э$), пунктирные линии — капиталовложения ($P_к$) при вариантах: *а* — с теплообменником, *б* — без теплообменника, *в* — при использовании теплофикационного теплоносителя.

при расчетных наружных температурах в период эксплуатации теплиц — 31°, а парников — 28°.

Капиталовложения ($P_к$) и годовые эксплуатационные расходы ($P_э$) на обогрев 1 кв. м площади культивационных помещений сопоставлены графически на рис. 3, 4, 5 для следующих вариантов теплоснабжения:

а) использование тепловых отходов дымовых газов электростанции, выбрасываемых при температуре 160° с установкой в качестве теплообменника котла-утилизатора, при максимальной температуре теплоносителя (вода) от 45° до 130°;

б) непосредственное использование тепловых отходов (вода) различного потенциала без необходимости в теплообменнике;

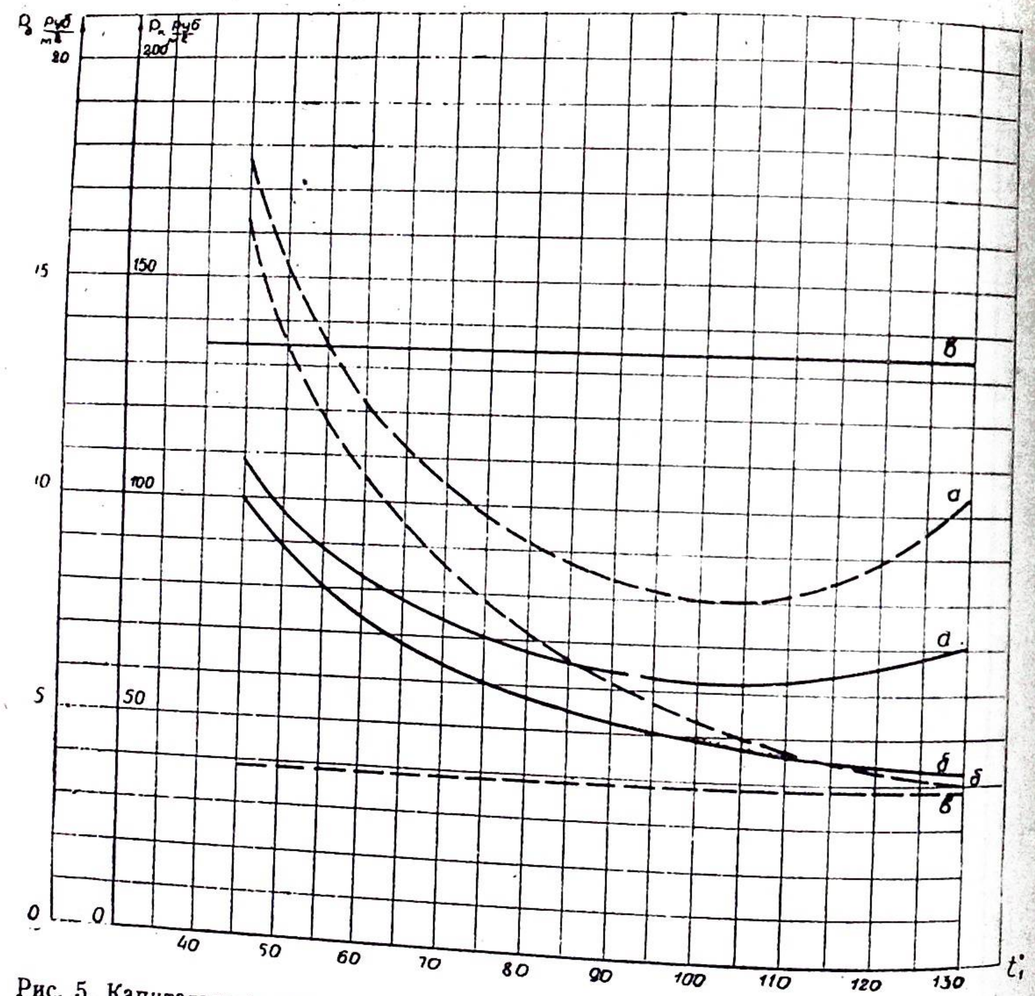


Рис. 5. Капитальные и эксплуатационные затраты на 1 м² площади парников в зависимости от потенциала теплоносителя (при длине магистрального трубопровода 1000 м).

Сплошные линии обозначают эксплуатационные расходы ($Р_э$), пунктирные линии — капиталовложения ($Р_к$) при вариантах: *а* — с теплообменником, *б* — без теплообменника, *в* — при использовании теплофикационного теплоносителя.

в) на базе теплофикации от ТЭЦ при отпускной цене 28,05 руб. за 1 мегкк, при максимальной температуре теплоносителя 130°. Во всех трех вариантах предположена длина магистрального теплопровода — 1000 м.

Следует отметить, что вариант а) предусматривает неблагоприятные условия использования тепловых отходов в виде низкотемпературных газов в предположении применения существующих типов теплообменников в виде котлов-утилизаторов, необходимая поверхность нагрева которых оказывается весьма значительной.

Увеличение удельных капиталовложений при переходе от температуры воды 100—110° к 130° объясняется тем, что в этих пределах температур значительно сказывается возрастание расчетной поверхности нагрева теплообменника с уменьшением разности между температурой теплоотдающих газов (160°) и температурой нагреваемой воды. Это влияние будет тем больше, чем большую долю в общих капиталовложениях составляют расходы на теплообменник.

При равных условиях сопоставления (т. е. при температуре 130°) капиталовложения при вариантах тепловых отходов превышают капиталовложения при обогреве на базе теплофикации на величину, соответствующую стоимости насосной установки (вариант без теплообменника) или на величину стоимости теплообменника и насосной установки.

Кривые показывают существенную зависимость годовых эксплуатационных расходов, при использовании тепловых отходов, от потенциала теплоносителя. Однако, как видно из нижеприведенной таблицы, экономия годовых расходов при использовании тепловых отходов по сравнению с вариантом теплофикации настолько велика (она будет еще больше при сравнении с вариантом собственной котельной), что, даже при таком относительно низком потенциале теплоносителя как 60—70°, увеличенные капиталовложения окупаются в короткие сроки.

Число лет окупаемости дополнительных капиталовложений при использовании тепловых отходов

Температура теплоносителя	Без теплообменника			С теплообменником		
	стеллажные теплицы	грунтовые теплицы	парники	стеллажные теплицы	грунтовые теплицы	парники
100°	1,22	1,17	1,66	3,60	3,60	5,63
90°	1,86	1,86	2,98	4,05	3,98	6,48
80°	2,80	2,70	4,22	4,80	4,74	7,92
70°	4,25	4,08	6,60	6,36	6,1	10,9
60°	6,95	6,37	11,0	9,35	8,57	16,0

ИЗВЕСТИЯ КАЗАНСКОГО ФИЛИАЛА АКАДЕМИИ НАУК СССР
СЕРИЯ ЭНЕРГЕТИКИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА
Вып. 1 *1957*

И. Б. Осипов

ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЛЕСОРАЗРАБОТОК И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗЕМЛИ В КАЧЕСТВЕ ПРОВОДА В ЛЕСНЫХ СЕТЯХ

В области энергетики лесной промышленности шестым пятилетним планом предусматривается создание на лесозаготовках устойчивой энергетической базы путем строительства электростанций, работающих на древесных отходах. Появление в лесозаготовительных предприятиях стационарного источника энергии повышенной мощности открывает возможности для сплошной электрификации производственных операций с широким использованием известных преимуществ электрического привода.

Выполнение поставленной задачи встречает большие трудности вследствие того, что энергоснабжение лесозаготовок имеет ряд специфических особенностей, вытекающих из самой организации лесозаготовительного производства и весьма отличающих его от энергоснабжения других отраслей промышленности и сельского хозяйства.

Несмотря на удачный опыт использования стационарных источников электроэнергии в отдельных леспромхозах, широкое распространение новой системы электроснабжения сдерживается, в частности, из-за нерешенности ряда технических вопросов строительства электростанций и распределения энергии между потребителями. Преодоление трудностей, обусловленных современным уровнем развития технических средств и методов передачи энергии на расстояние, часто приводит к снижению экономического эффекта, получаемого от использования технических преимуществ централизованного электроснабжения.

На путях повышения экономической эффективности передачи и распределения энергии в лесу представляет научный и практический интерес разработка вопросов использования земли в качестве рабочего провода в лесных сетях, а также вопросы применения стальных проводов, передвижных трансформаторных подстанций и переносных сетей, регулирования напряжения и улучшения коэффициента мощности в лесных сетях. Кроме того, необходимо отметить, что метод оценки экономической эффективности централизованного электроснабжения лесосек и верхних складов нуждается в уточнении. Попытки, предпринятые в этом направлении в последнее время, свидетельствуют о том, что недооценивается учет таких важных обстоятельств, как выбор расчетных схем электрических сетей, зависимость стоимости сетей от марки применяемых проводов, соотношение длин постоянных и временных сетей и др.

Весьма важно также подробно рассмотреть основные особенности распределения электроэнергии и оценить общие условия применения централизованного электроснабжения на лесоразработках.

Особенности условий распределения электроэнергии на лесоразработках

До сих пор в литературе по централизованному электроснабжению лесоразработок отсутствует единая терминология, когда речь идет об электрических сетях. Во многих изданиях, в том числе и официальных, для определения характера и назначения лесных сетей употребляются такие термины, как, например, „линия электропередач" [1], „линия передач" [2], „временное ответвление", „временная линия", которую в отличие от „магистральной" некоторые авторы рекомендуют именовать „питательной" [3, 4]; низковольтные сети на лесосеке иногда именуются „питающими линиями" [1] и т. д.

Между тем, сети на лесоразработках (лесные сети) напряжением 3÷10 кв и радиусом действия до 30 км носят выраженные черты распределительных сетей и ничем не оправдывают названия „электропередач".

В связи с подвижностью лесосек отдельные участки лесных сетей имеют различные сроки действия, которые могут колебаться в очень широких пределах — от нескольких месяцев до 20 лет. Срок действия электрических сетей — весьма существенный признак, определяющий качественные и, следовательно, экономические показатели их. Сети на лесоразработках принято условно разделять на постоянные и временные (со сроком действия менее 1—2 лет).

Учитывая сказанное выше, представляется полезным определить место и значение лесных сетей следующим образом: высоковольтные сети лесозаготовительных предприятий, расположенные на территории эксплуатационного лесного массива и предназначенные для электроснабжения мастерских участков (и электрифицированного транспорта) — являются местными радиальными распределительными сетями постоянного и временного типа и относятся к сетям II класса.

В основе трудностей, с которыми приходится встречаться при централизации электроснабжения лесосек и верхних складов лесозаготовительных предприятий, лежат следующие причины:

1. Низкая плотность нагрузки в районах распространения лесных распределительных сетей.
2. Периодические передвижки потребителей энергии по обширной территории лесосырьевой базы.
3. Особенности развития энергетики лесоразработок в предшествующий период, обусловившие наличие известного разрыва между ростом производственных и энергетических мощностей лесозаготовительных предприятий.

Все они в той или иной мере сдерживают внедрение централизованного электроснабжения на лесоразработках.

Для характеристики условий распределения электроэнергии на лесозаготовках и сравнения их с условиями электроснабжения потребителей других категорий важны следующие удельные показатели:

σ — плотность нагрузки в районе распространения лесной распределительной сети 10 кв (квт/км²);

j — удельная загрузка этих сетей (квт/км);

n — плотность размещения потребителей электроэнергии на территории лесосырьевой базы (1/км²).

Если определение этих удельных показателей для характеристики целых лесоэксплуатационных районов в настоящее время не представляет практического интереса, так как вопрос создания лесных районных сетей еще не назрел, то можно предвидеть, что́ они потребуются, когда, при достаточной концентрации лесозаготовительных предприятий в лесоизбыточных районах и с ростом мощностей энергетических систем Востока и Севера Союза, возникнет необходимость энергетического районирования в лесной промышленности.

Поскольку в настоящей работе рассматриваются вопросы электроснабжения периферийных потребителей лесозаготовительных предприятий (лесосеки, верхние склады), указанные удельные показатели используются только для характеристики лесных распределительных сетей 10 (6) кв.

С учетом специфики лесоразработок (ограниченный срок работы на одном месте, незначительный по сравнению с площадью прилегающих лесных массивов охват сетями 10 кв) при определении плотности нагрузки принято, что электрифицируемый район включает площадь, разрабатываемую в течение всего срока действия лесных сетей (10—12 лет).

Плотность нагрузки (σ) на лесозаготовках определяется выражением:

$$\sigma = \frac{\Sigma P_л}{10 \cdot F} \ \frac{\text{квт}}{\text{км}^2}.$$

Здесь:

$\Sigma P_л$ — сумма периферийных нагрузок (квт),

F — площадь сырьевой базы, подлежащая разработке (тыс. га).

Но так как

$$F = \frac{Q \cdot t}{\gamma_{ср.}}, \qquad (1)$$

где:

Q — средний годовой объем производства леспромхоза (тыс. м³);

t — число лет разработки участка, тяготеющего к распределительной сети (10 лет);

$\gamma_{ср.}$ — средний, с учетом процента лесистости, запас ликвидной древесины м³/га,

то

$$\sigma = \frac{\Sigma P_л}{100 \cdot Q} \cdot \gamma_{ср.} \ \frac{\text{квт}}{\text{км}^2}.$$

При отсутствии в лесу электрифицированного транспорта, как это имеет место в настоящее время, $\Sigma P_л$ представляет собой сумму нагрузок лесосек и верхних складов, которые для данного типа потребителей (трелевочные и др. агрегаты, используемые по типовым технологическим схемам) могут быть приняты постоянными.

Если принять, далее, что суммарная мощность электрических нагрузок мастерских участков пропорциональна производственной мощности предприятия, то:

$$\frac{\Sigma P_л}{Q} = p_л = \text{const},$$

где $p_л$ — электровооруженность производства по лесосечным фазам (квт/тыс. м³)

и

$$\sigma = 0{,}01 \cdot p_л \cdot \gamma_{ср.} \ \frac{\text{квт}}{\text{км}^2}. \qquad (2)$$

В таблице 1 приведены значения нагрузок мастерских участков производительностью порядка 50 тыс. м³ в год, вычисленные для случаев применения современных типовых технологических схем по коэффициентам спроса, рекомендованным ЦНИИМЭ [1, 2], а также значения $p_л$, которыми можно пользоваться при предварительных расчетах.

Таблица 1

Комплекс механизмов с трелевкой	P_{max} мастерского участка квт	$p_л$ $\frac{квт}{тыс.\ м^3}$ (в среднем)
Тепловыми тракторами	7÷8	0,15
Спаренными лебедками ТЛ-3	16÷17	0,35
Агрегатными лебедками мощностью 50 квт (или электротракторами)	20÷25	0,45

Если известна протяженность сетей, то удельная загрузка:

$$j = \frac{\Sigma P_л}{\Sigma L + \Sigma l}\left(\frac{квт}{км}\right), \qquad (3)$$

где: ΣL — суммарная протяженность высоковольтных постоянных линий (км);

Σl — средняя суммарная длина временных линий, эксплуатируемых в течение года (км).

Однако при предварительной оценке условий электроснабжения могут быть неизвестны ΣL и $\Sigma P_л$. Тогда, если заданы характеристики сырьевой базы, структура и производственная мощность предприятия, можно исходить из того, что постоянные сети выполнены с расчетом полного охвата лесного массива при их минимальной удельной протяженности и длине временных линий, соответствующей размерам годичной лесосеки одного укрупненного мастерского участка и приблизительно равной половине среднего расстояния между линиями постоянной сети.

Как показало произведенное нами исследование, выражения для средней длины одной временной линии (l) и суммарной протяженности постоянной сети $(\sum L)$ с учетом сказанного выше, имеют вид:

$$l = \frac{10 \cdot Q}{N \cdot \gamma_{ср} \cdot d}\ (км)$$

$$\sum L = \frac{10 \cdot F}{2 \cdot l}\beta\ (км).$$

Здесь: β — коэффициент формы сырьевой базы, учитывающий повышение удельной протяженности постоянной сети на неудобных по конфигурации участках лесного массива $(1 \leqslant \beta \leqslant 1{,}5)$,

N — число мастерских участков,

d — ширина участка, обслуживаемого с одной установки трансформаторной подстанции; $d = 1$ км.

После подстановки в (3) выражений для $\sum L$ и $\sum l$ с учетом (1) и

значения $p_л$ (табл. 1), удельная загрузка лесных распределительных сетей определится выражением:

$$j = \frac{\Sigma P_л}{\frac{10 \cdot Q}{\gamma_{ср.}}\left(\frac{5\beta}{l} + 1\right)} = \frac{0{,}1 \cdot p_л \cdot \gamma_{ср}}{\frac{5\beta}{l} + 1} = k \cdot p_л \cdot \gamma_{ср.}\ квт/км; \qquad (4)$$

или, выраженная через плотность нагрузки (σ), примет вид:

$$j = 100 \cdot k \cdot \sigma\ \frac{квт}{км}. \qquad (4^1)$$

Здесь $k = \frac{0{,}1 \cdot l}{5\beta + l}$. Не трудно показать, что если принять для средних условий $\beta = 1{,}25$, то ошибка в определении коэффициента k для тех или иных конкретных условий не превысит 10%. Из определения l следует, что k зависит, помимо β, от размеров годичной лесосеки одного мастерского участка $\left(\frac{Q}{N \cdot \gamma_{ср}}\right)$; если задана производственная мощность участка $(q_{ср})$, то:

$$k = f(\gamma_{ср}).$$

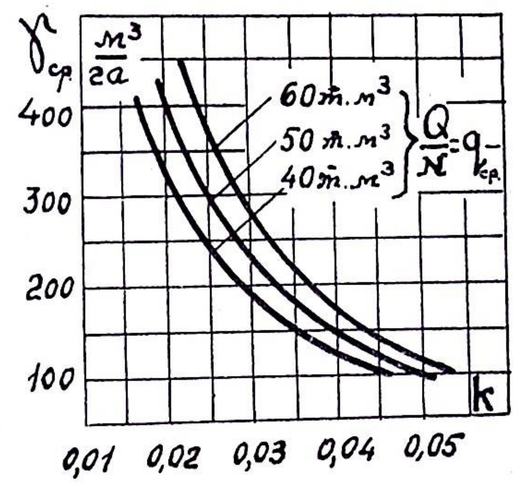


Рис. 1. Зависимость коэффициента „k" от „$\gamma_{ср}$" при укрупненных мастерских участках мощностью 40—60 $\frac{тыс.\ м^3}{год}$.

На рис. 1 даны кривые для определения коэффициента k при укрупненных мастерских участках мощностью от 40 до 60 тыс. м³ древесины в год.

Плотность размещения потребителей электроэнергии в районе действия распределительной сети лесозаготовительного предприятия (n) определяется аналогично плотности нагрузки:

$$n = \frac{N}{F \cdot 10} \cdot \alpha\ \frac{1}{км^2},$$

где: $\alpha = 1 \div 1{,}25$ — коэффициент, учитывающий наличие в лесу иных потребителей (рабочие поселки и др.).

Подставляя сюда значения F из (1) и выражая $\frac{Q}{N} = q_{ср}$, можно получить окончательно:

$$n = \frac{\gamma_{ср} \cdot N \cdot \alpha}{Q \cdot 100} = \frac{\gamma_{ср} \cdot \alpha}{100 \cdot q_{ср}} \cdot \frac{1}{км^2} \qquad (5)$$

Вычисленные по формулам 2, 4 и 5 значения плотности нагрузки, удельной загрузки высоковольтных сетей и плотности размещения потребителей на лесоразработках приведены в табл. 2, где также приведены аналогичные данные по промышленным и сельскохозяйственным районам Союза [5, 6].

Таблица 2

Наименование показателей	Промышленные районы	Сельскохозяйственные районы		Лесоразработки min÷max
		центр. европ. части Союза	лесная зона	
Плотность нагрузки квт/км²	20÷30 (до 40)	1÷3	0,1÷0,5	0,15÷1,5
Удельная загрузка сетей квт/км	—	5÷10	<1	0,5÷4,0
Плотность размещения потребителей 1/км²	—	0,01—0,2		0,02÷0,4

Как видно из таблицы, удельные показатели, характеризующие общие условия электроснабжения лесоразработок, находятся на уровне этих показателей для сельскохозяйственных районов и даже превышают их, но они во много раз ниже, чем в промышленных районах. Из этого следует, что лесные сети имеют много общего с распределительными сетями сельскохозяйственного назначения, поэтому опыт сельской электрификации в области изыскания путей повышения эффективности централизованного электроснабжения заслуживает тщательного изучения с точки зрения его использования на лесоразработках.

Другие характерные особенности условий распределения энергии в лесу находятся в связи с подвижностью лесосек. Важнейшей из них является необходимость периодических переносов понизительных подстанций и части электрических сетей по территории эксплуатационного лесного массива. В настоящее время при строительстве временных сетей в лесу используются растущие деревья со спиленными кронами, суженные против общих правил просеки, уменьшенные габариты линий и другие упрощения, позволяющие в 2÷3 раза снизить стоимость временных распределительных сетей по сравнению с постоянными.

Во временных высоковольтных сетях применяются, как правило, однопроволочные стальные провода диаметром 4—6 мм, электрические характеристики которых удовлетворяют условиям передачи мощностей, соответствующих нагрузке одного мастерского участка (обычно не свыше 20—25 квт) на расстояние в 3÷6 км.

Следует отметить, что высокая механическая прочность стальных проводов имеет важнейшее значение для длительного использования их во временных сетях, где они подвергаются усиленному износу вследствие многократного монтажа и демонтажа. Было бы весьма желательно применять во временных сетях многопроволочные стальные провода, обладающие большей гибкостью и более удобные в монтаже. Согласно действующему стандарту минимальное сечение многопроволочных стальных проводов составляет 25 мм². Однако электрические характеристики провода ПС-25 настолько резко отличаются от характеристик сплошных проводов того же сечения, что его применение во временных линиях, питающих мастерские участки, во многих случаях является нецелесообразным из-за слабого использования. Поэтому возникает необходимость поставить вопрос о разработке сортамента многопроволочных стальных проводов сечением менее 25 мм² (напр., 16 и 10 кв. мм).

Ввиду низких плотностей тока в лесных сетях высокого напряжения выбор сечения проводов для них производится по условию допустимости потери напряжения на наиболее удаленных концах сети, величина которой определяется допустимыми отклонениями напряжения у потребителей. Причем состав потребителей на лесозаготовках (асинхронные электродвигатели и освещение) позволяет придерживаться тех же предельных значений отклонения напряжения на зажимах токоприемников (+7,5% и —10%), которые на основании многолетней практики установлены для сельских сетей.

Степень использования сетей (по загрузке) на лесоразработках зависит от принятой схемы и сроков освоения сырьевой базы и от выбора схемы сети при электрическом расчете проводов. Практические данные на этот счет весьма ограничены, так как опыт эксплуатации лесных сетей при централизованном электроснабжении лесозаготовок измеряется лишь несколькими годами.

Очевидно, что линия, сооруженная в расчете на обеспечение удовлетворительного электроснабжения мастерских участков при их наибольшем удалении от нижнего склада (источника питания), будет недоиспользоваться в период разработки близлежащих участков леса.

В наихудшем положении оказывается сеть лесозаготовительного предприятия, разрабатывающего сырьевую базу по схеме последовательного продвижения вглубь массива от пункта примыкания лесовозного пути. По этой схеме постоянная сеть наращивается из года в год и сечение проводов используется полностью лишь ограниченное время в период разработки дальних участков. В связи с этим необходимо отметить положительную роль проводимого в лесной промышленности укрупнения лесозаготовительных предприятий.

Кроме того, что само укрупнение предприятий и, следовательно, их энергетического хозяйства, благоприятствует созданию стационарного электроснабжения, присущие крупным леспромхозам схемы освоения сырьевой базы создают предпосылки для значительного повышения степени использования высоковольтных сетей и уточнения их электрического расчета. В самом деле, для таких предприятий, работающих на базе железной дороги широкой или узкой колеи, типична схема одновременного освоения всего лесного массива или части его, намеченной к эксплуатации в первую очередь, т. е. в первые 10÷15 лет. При этом постоянные сети сооружаются с учетом полного охвата всего лесного массива (или части его) и эксплуатируются длительное время в условиях, близких к расчетным, т. к. район перемещения каждого мастерского участка ограничен.

Наилучшие экономические результаты эксплуатации постоянных сетей могут быть достигнуты при поочередном освоении массива, если при этом сроки очередности примерно совпадают со сроками амортизации сетей, так что при восстановлении на новый срок или сооружении новой постоянной сети могут быть изменены сечения проводов в соответствии с данными расчета по новой схеме.

Экономическая эффективность централизованного электроснабжения верхних складов и лесосек

В литературе вопросы экономической эффективности централизованного электроснабжения лесосек и верхних складов лесозаготовительных предприятий получили весьма ограниченное освещение, несмотря на то, что именно неясность экономических преимуществ и недостатков этого мероприятия сдерживает его широкое осуществление. Можно указать лишь на две работы, посвященные специально этому вопросу.

Л. С. Итиной и А. М. Цетлиным [7] описана схема расчета дополнительных капиталовложений и экономии текущих затрат по системе централизованного электроснабжения лесосек и верхних складов леспромхоза мощностью в 200 тыс. м³ древесины в год при

работе мастерских участков спаренными лебедками ТЛ-3 и представлена номограмма, иллюстрирующая изменение сроков окупаемости в зависимости от дальности передачи в том частном случае, когда передаваемая мощность равна 16,5 квт или кратна этой величине.

Г. В. Юбковой [8], наряду с подробной разработкой технико-экономических показателей локомобильных электростанций, предпринята попытка определить границы экономической целесообразности централизованного электроснабжения лесосек и верхних складов предприятий разных типов и мощности; однако при этом совершенно игнорируется учет таких важнейших факторов, как характеристика условий электроснабжения, выбор конфигурации высоковольтных сетей, электрический расчет сетей и др.

Расчеты, произведенные на основе более или менее полного учета специфических особенностей электроснабжения лесоразработок, показывают, что дополнительные капиталовложения (Δk) при централизации электроснабжения лесосек не всегда дают непосредственную и достаточную экономию эксплуатационных затрат (ΔE), что обычно и вызывает сомнения в экономической выгодности электроснабжения периферийных производственных участков от центральной станции. Это обстоятельство требует известной осторожности в подходе к выбору системы электроснабжения верхних складов и лесосек, тем более, что лесоразработки являются нерентабельной отраслью промышленности.

Чтобы судить о границах эффективного (здесь и далее в смысле—выгодного) применения централизованного электроснабжения лесосек и показать тенденции в их изменениях, необходимо провести сравнение показателей этой новой системы с показателями децентрализованного электроснабжения, т. е. с использованием передвижных электростанций (ПЭС), в отношении:

а) величины капиталовложений в электроснабжение,

б) величины себестоимости электроэнергии на лесосеке.

Вместе с тем необходимо помнить, что определение экономической эффективности (в широком смысле слова) новой системы электроснабжения не исчерпывается сравнением ее экономических показателей с аналогичными показателями децентрализованной системы, поскольку она обладает рядом несопоставимых качественных показателей как, например, возможность электрификации транспорта, улучшение условий работы и быта трудящихся и пр.

Далее исходными условиями для сравнения являются следующие:

1. Рассматриваются лесозаготовительные предприятия мощностью 100, 200, 300 и 400 тыс. м³ древесины в год, с развитым нижним складом, сроком действия в 20 лет, работающие в зоне лесов III группы на базе сплошных рубок.

2. Предполагается, что все мастерские участки каждого предприятия оснащены однотипным оборудованием и работают по типовым технологическим схемам на базе трелевки тепловыми тракторами и электрифицированными лебедками — ТЛ-3 (спаренными) и агрегатными, которые в отношении максимальной нагрузки и энергопотребления близки к электротракторам ЭТТ-2.

3. Принимается объем производства укрупненного мастерского участка при двухсменной работе в 50 тыс. м³ древесины в год, что соответствует примерно условиям работы в хвойных насаждениях с выходом деловой древесины в 75% со средним объемом хлыста 0,3÷0,4 м³.

4. Принимается условно, что производительность труда на производстве и его экономические показатели не зависят от системы электроснабжения.

5. На нижнем складе предприятия имеется локомобильная электростанция, работающая на дровах и отходах производства. Организация централизованного электроснабжения лесосек сопровождается повышением мощности станции. Стоимость энергии на шинах станции указана в табл. 3 [8].

6. При децентрализованном электроснабжении лесосек выбор типа передвижных электростанций производится с учетом достижения наиболее благоприятных экономических показателей работы ПЭС. В интересах сравнения с показателями централизованного электроснабжения приводится не совсем реальный случай питания лебедки мощностью в 50 квт от станции ПЭС-60. Принятые для сравнения на основании данных [7, 8, 9] значения себестоимости энергии ПЭС приведены в таблице 3.

7. Технико-экономические расчеты производятся для электрических сетей с естественным коэффициентом мощности, который на лесоразработках обычно не превышает значений $\cos\varphi = 0{,}5 \div 0{,}6$. Расчетные нагрузки исчисляются на основании коэффициентов спроса, рекомендуемых ЦНИИМЭ [1].

8. Принятые расчетные схемы сетей показаны на рис. 2 и обоснованы далее.

9. Электрификация транспорта не учитывается.

Работы по вопросам технико-экономических показателей централизованного электроснабжения лесосек и верхних складов, нашедшие отражение в литературе, обычно либо не содержат вовсе, либо содержат весьма ограниченные соображения относительно обоснования конфигурации и линейных размеров принимаемых расчетных схем питательных и распределительных лесных электрических сетей. В результате этого, применимость приводимых расчетных данных в условиях конфигурации сетей, отличной от принятой в основных расчетных схемах, часто вызывает сомнение.

На высоковольтную сеть падает наибольшая доля капиталовложений и эксплуатационных затрат по системе передачи и распределения энергии. Стоимость сети зависит от ее электрических и механических параметров и возрастает не пропорционально ее протяженности, а несколько быстрее; отдельные участки сети имеют разную стоимость. Поэтому весьма важен выбор рациональных соотношений длин этих участков.

В свете задачи исследования вопросов экономической эффективности централизованного электроснабжения лесосек ниже делается попытка определить возможные варианты конфигурации сетей для леспромхозов различной мощности, обеспечивающие наиболее широкую область применения (с достаточной точностью) подсчитанных по ним технико-экономических показателей.

Наиболее целесообразным в отношении снижения затрат труда и средств на сооружение 1 км высоковольтной сети при централизованном электроснабжении лесосек и верхних складов является размещение линий электросети параллельно транспортной магистрали, в одной с нею полосе разруба. В этом случае наиболее просто осуществляется механизация строительно-монтажных работ.

Однако такое решение задачи трассирования сетей не является единственно возможным. Хотя изыскание трассы лесовозной дороги и электрической линии подчиняется одному и тому же стремлению к максимальному сокращению протяженности, выбор трассы линии имеет значительно большую свободу в отношении рельефа местности и почвенно-грунтовых условий. Ввиду этого трасса магистрали и ответвлений электрической сети в целях сокращения общей длины сетей, а также в интересах сокращения необходимой длины времен-

ных сетей, может на том или ином протяжении отклоняться от трассы лесовозной дороги, если это оправдывается технико-экономическим расчетом и, в частности, дает экономию металла проводов и снижение капиталовложений в сеть. Таким образом, раздельное трассирование электрических сетей и лесовозных дорог следует рассматривать как реально возможный случай.

Очень большое разнообразие природных, экономических и производственных условий районов лесоразработок и связанное с ним обилие возможных вариантов размещения потребителей, источников электроэнергии и электрических сетей на территории эксплуатационного лесного массива заставляет отказаться от выбора каких-либо „характерных" схем электроснабжения лесосек и верхних складов и рассмотреть некоторые отвлеченные, условные схемы, дающие порядок минимально-необходимых длин распределительных сетей и позволяющие судить об их конфигурации. Такие схемы (рис. 2) составлены в предположении, что электрические нагрузки размещены равномерно по всей территории сырьевой базы и что протяженность сетей для предприятия данной мощности зависит только от площади сырьевой базы (F). При этом отпадает надобность в учете таких изменчивых факторов, как разбросанность лесфонда (при данном среднем запасе древесины на гектаре (в м³/га), конфигурация лесного массива, рельеф местности, почвенно-грунтовые условия и т. д., и является возможность представить территорию данной сырьевой базы в виде любой равновеликой плоской фигуры, например, в виде прямоугольников площадью F га с различным соотношением сторон.

Схемы электрических сетей составлялись, исходя из условий:

а) полного охвата электроснабжением всего эксплуатационного лесного массива предприятия;

б) одновременной разработки как близких, так и удаленных частей лесного массива;

в) длины временных высоковольтных линий, соответствующей площади годичной лесосеки.

На основании анализа зависимости экономических показателей сетей от их конфигурации нами установлены оптимальные варианты расчетных схем сетей (рис. 2).

В расчетных схемах, обеспечивающих наибольшее упрощение технико-экономических расчетов, принято:

$$L_м = \frac{\Sigma L}{n+1} \text{ км}$$

и

$$L_{отв\,1} = L_{отв\,2} = \ldots = L_{отв\,n},$$

где:

n — число ответвлений постоянной высоковольтной сети;

$L_м$ — длина магистрального участка сети;

$L_{отв}$ — длина ответвлений;

ΣL — суммарная протяженность постоянной сети.

Несмотря на то, что рассмотренные схемы весьма мало отражают возможные в действительности соотношения длин отдельных участков сети, они, как показало исследование, справедливы практически (с точностью до 10%) для любых могущих иметь место значений $\frac{L_{отв\,1}}{L_{отв\,n}}$ и значений $\frac{L_м}{\Sigma L}$, значительно отличающихся от расчетных.

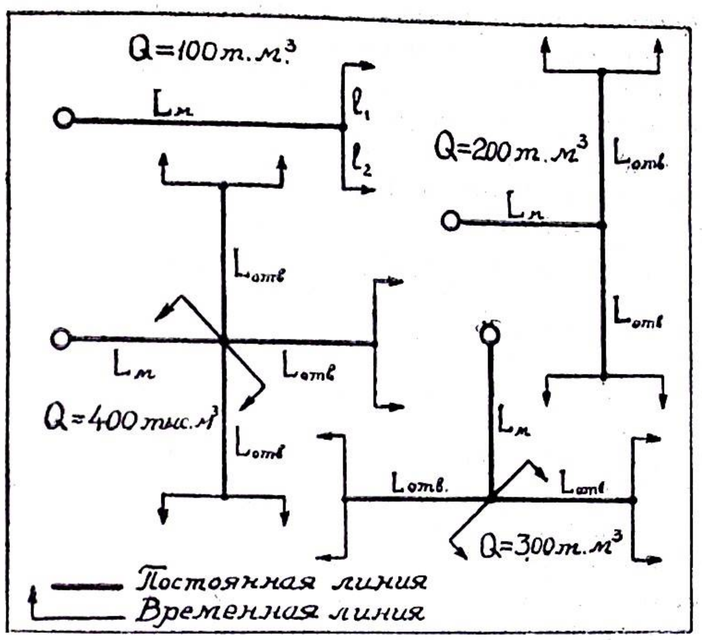


Рис. 2. Расчетные схемы лесных высоковольтных распределительных сетей.

Поскольку при заданных значениях $U_н$, $\cos\varphi$ и конфигурации сети выбор марки проводов зависит от дальности передачи и величины нагрузок, было рассчитано несколько десятков вариантов распределительных сетей 10 кв по потере напряжения для предприятий разной мощности и с различными запасами древесины на 1 га (от 50 до 400 м³/га).

Для однотипных и равновеликих (по объему производства) предприятий протяженность сетей может быть различной в зависимости от формы массива, среднего запаса древесины и пр., так что сумма дополнительных капиталовложений ΔK и величина экономии текущих

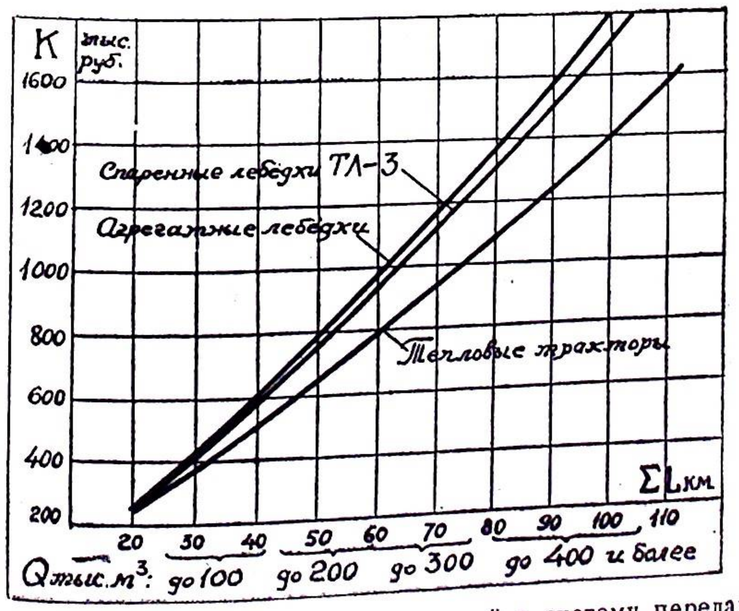


Рис. 3. Зависимость капиталовложений в систему передачи и распределения энергии от протяженности сетей.

затрат ΔE для них, при прочих равных условиях, есть функция протяженности сетей:

$$\Delta K = f(L); \quad \Delta E = \varphi(L).$$

Как будет показано далее, при $\Sigma L = \text{const}$ влияние величины передаваемой мощности на ΔK и ΔE весьма не велико и почти не искажает указанную зависимость.

Капиталовложения по сопоставляемым системам электроснабжения подсчитывались по укрупненным измерителям [8, 10].

При подсчете капиталовложений по варианту централизованного электроснабжения учитывались дополнительные расходы по расширению электростанции ЛПХ ориентировочно из расчета 3,5 тыс. руб. на 1 квт установленной мощности генераторов.

Если рассматривать сумму капиталовложений по сетям (K) в функции от протяженности сетей $(\sum L)$, то из графика (рис. 3) видно, что рост стоимости сети опережает рост ее протяженности: увеличение длины постоянных сетей в пределах каждой расчетной схемы на 25÷33% дает удорожание сетей соответственно на 34÷47%.

Диаграмма (рис. 4а) дает представление о том, насколько мало зависит стоимость высоковольтных лесных сетей от величины передаваемой мощности: при повышении нагрузок более, чем в 3 раза для каждой из трех схем сети (ЛПХ мощностью в 200, 300, 400 т. м³ в год) стоимость сетей увеличивается соответственно на 18, 20 и 24%.

График (рис. 5) и диаграмма (рис. 4б) в свою очередь иллюстрируют то незначительное влияние, которое величина передаваемой мощности оказывает на сумму текущих затрат в пределах данной расчетной схемы.

При определении величины годовых эксплуатационных затрат по сетям (E) учитывались: расходы на амортизацию и текущий ремонт основных элементов сети, зарплата персоналу, обслуживающему сети и подстанции, расходы, связанные с переносом понизительных подстанций и части сетей, стоимость потерь энергии в сетях.

Не трудно видеть, что годовые эксплуатационные расходы по сетям пропорциональны суммарной протяженности постоянных линий $(\sum L)$ и средней годовой протяженности временных линий $(\sum l)$, ко-

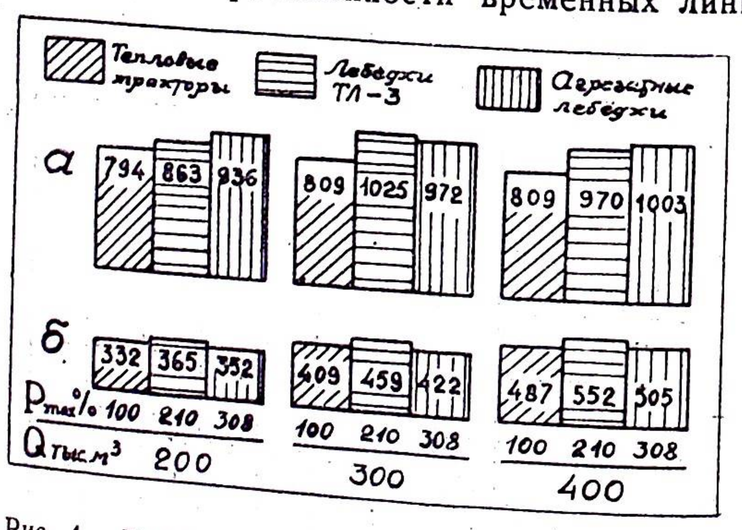


Рис. 4. Диаграмма сравнения капиталовложений ($а$) и текущих затрат ($б$) по лесным сетям при постоянной их длине и разной мощности (тыс. руб.) при $\Sigma L = 60$ км.

торая в свою очередь зависит от типа и размеров лесозаготовительного предприятия.

График на рис. 5, построенный на основании произведенных подсчетов, позволил установить, что сумма эксплуатационных расходов (E), без учета стоимости потерь энергии в сетях, для предприятий любой мощности и реально-возможных протяженностей постоянной сети может быть определена с точностью до 1,5÷2,0% уравнением прямой:

$$E = 3 \cdot \sum L + \rho \cdot Q \text{ (тыс. руб.)}$$

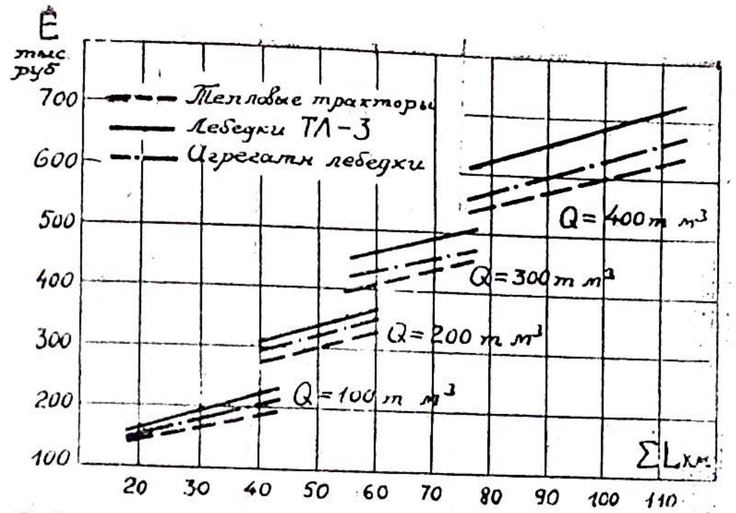


Рис. 5. Зависимость годовых текущих затрат от протяженности лесных сетей и мощности предприятия.

Коэффициент пропорциональности ρ учитывает различия в расходах, связанных с переносом сетей и с размерами годовых отчислений от капвложений (амортизация и текущий ремонт) для предприятий разного типа. Ниже приводятся значения ρ для предприятий трех типов:

Предприятие с трелевкой:	тепловыми тракторами	лебедками 2× ТЛ-3	агрегатными лебедками
ρ (доли ед.)	0,72	0,85	0,79

С учетом потерь энергии в сети:

$$E = 3 \sum L + \rho Q + a \cdot \Delta W_л \text{ (тыс. руб.)}$$

где: $\Delta W_л$ — величина потерь энергии (тыс. квтч),

a — стоимость 1 квтч потерянной энергии, принимаемая равной стоимости 1 квтч на шинах ЦЭСт.

Обозначая процент потерь μ (в долях единицы), можно получить:

$$\Delta W_л = W_л \frac{\mu}{1-\mu}.$$

Если выразить объем энергопотребления в лесу ($W_л$) через удельную энергоемкость $w_л \frac{\text{квтч}}{\text{куб. м.}}$, то $W_л = w_л \cdot Q$, и тогда окончательно выражение для E будет:

$$E = 3 \sum L + Q\left(\rho + a w_л \frac{\mu}{1-\mu}\right).$$

В расчетах принято ориентировочно, что потери энергии в высоковольтных и низковольтных сетях независимо от протяженности сетей составляют 15%, т. е. $\mu = 0{,}15$.

Значения стоимости 1 квтч энергии на лесосеке $(a+c)$ при различных протяженностях сетей, типах и размерах предприятий показаны в табл. 3, где для сравнения даны также принятые в расчетах значения стоимости 1 квтч энергии ПЭС (b). Как видно из этой таблицы, стоимости 1 квтч энергии в лесу при централизованном электроснабжении и от ПЭС являются во всех случаях соизмеримыми. Для предприятий мощностью до 200÷250 тыс. м³ древесины в год, за исключением случая трелевки древесины агрегатными лебедками при $Q \geqslant 150$ т. м³, имеются реальные пределы протяженности сетей, за которыми централизация электроснабжения лесосек не дает экономии текущих затрат (т. е. $a + c \geqslant b$). Однако и в других случаях, когда достигается условие $a + c \leqslant b$, экономия ΔE может оказаться

Таблица 3

Q тыс. м³	Наименование показателей	Централизованное электроснабжение			Децентрализованное электроснабжение		
		100	200	300	400	тип передвижных станций	коэф. загрузки	b (руб.)
Тепловые тракторы	$a/(a+c)$ руб.	0,68/4,3	0,57/3,72	0,48/3,40	0,43/3,34	ПЭС-12/200	0,37	3,6
	P_{max} квт.	15,6	31,2	46,8	62,4			
	$W_л$ квтч.	49000	98000	147000	196000			
Спаренные лебедки ТЛ-3	$a/(a+c)$ руб.	0,64/2,65	0,57/2,27	0,46/2,05	0,45/2,05	ПЭС-60	0,21	2,4
	P_{max} квт	32,8	65,6	98,4	131,2			
	$W_л$ квтч.	100800	201600	302400	403200			
Агрегатные лебедки	$a/(a+c)$ руб.	0,59/1,70	0,50/1,43	0,43/1,27	0,41/1,26	ПЭС-60	0,30	1,7
	P_{max} квт	48	96	144	192			
	$W_л$ квтч.	175200	350400	525600	700800			

В таблице: a — стоимость 1 квтч. энергии на шинах ЦЭС
$a+c$ — стоимость 1 квтч. энергии на лесосеке при $\gamma_{ср.} = 1$
b — стоимость 1 квтч. энергии передвижной станции в лесу.
P_{max} — нагрузка лесной сети 10 кв.
$W_л$ — годовое энергопотребление в лесу.
Q — годовой объем производства предприятия.

недостаточной для покрытия расходов по дополнительным капиталовложениям ΔK в реально допустимые сроки.

Известный метод соизмерения ΔE и ΔK путем определения сроков окупаемости (τ) предполагает наличие определенного предельного значения $\tau_{пр.}$, используемого в качестве критерия; при этом:

$$\tau = \frac{\Delta K}{\Delta E} \leqslant \tau_{пр.}$$

Имеющиеся в литературе [7, 8, 22] крайне ограниченные сведения о сроках окупаемости, часто представляющие рассуждения общего порядка, не дают в данном случае никаких рекомендаций относительно $\tau_{пр.}$

В практике проектирования промышленных электроустановок пользуются, например, такими предельными сроками окупаемости: для трансформаторов 10÷15 лет, для аппаратуры релейной защиты 3÷5 лет, при строительстве электростанций 10÷20 лет и т. д. В настоящее время вновь поднят вопрос о необходимости установления на базе изучения опыта социалистического строительства государственных сроков окупаемости для различных отраслей промышленности.

Здесь не приводится, за отсутствием места, более детального обоснования $\tau_{пр.}$ и, учитывая только, что наиболее капиталоемкими элементами сравниваемых систем электроснабжения являются передвижные электростанции и электрические распределительные сети со сроками амортизации соответственно 10 и 10÷12 лет, принимается $\tau_{пр.} = 10$ лет. Оценка эффективности дополнительных капиталовложений производится в дальнейшем исходя из условия:

$$\tau = \frac{\Delta K}{\Delta E} \leqslant 10.$$

В связи с изложенным выше о влиянии протяженности лесных высоковольтных распределительных сетей на экономические показатели системы централизованного электроснабжения лесосек, определение границ экономической эффективности централизованного электроснабжения лесосек и верхних складов производится путем вычисления предельных (по условию окупаемости дополнительных капвложений в срок $\tau_{пр.} = 10$ лет) значений: протяженности сетей для предприятий разной мощности, средних значений минимально-допустимой удельной загрузки сети 10 кв, удельной протяженности высоковольтных распределительных сетей в км/тыс. м³ или м/м³.

Для нахождения предельных значений протяженности сетей совместно рассмотрены графически зависимости $\Delta K = f\left(\sum L\right)$ и $\Delta E = \varphi\left(\sum L\right)$ при условии, что $\frac{\Delta K}{\Delta E} \leqslant 10$ л., откуда предельные значения $\Delta K_{пр.} = 10 \cdot \Delta E_{п\,р}$

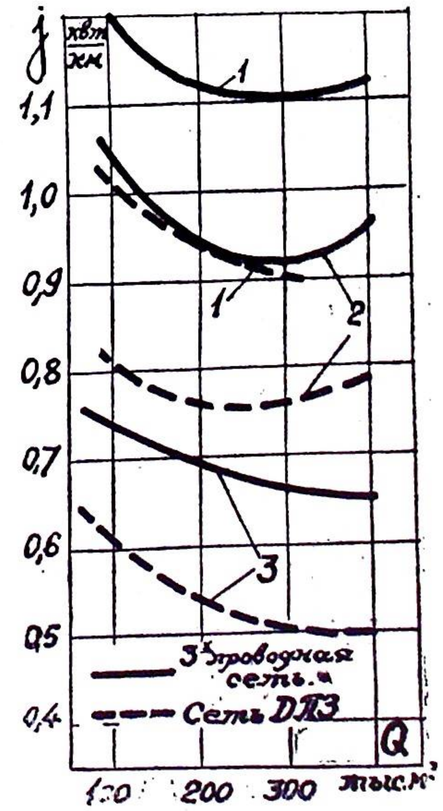


Рис. 6. Значения минимально-допустимой удельной загрузки лесных сетей для предприятий разной мощности.
(1 — агрегатные лебедки; 2 — лебедки ТЛ-3; 3 — тепловые тракторы).

Найденные значения предельной протяженности распределительной сети 10 кв ($\sum L_{пр.}$) даны в табл. 4, где также приведены вычисленные с учетом длин одновременно действующих в течение года временных линий, величины минимально-допустимой удельной загрузки сетей $j_{пр.}$ квт/км, промежуточные значения которых могут быть найдены из графика (рис. 6).

Таблица 4

Q т. м³ / Тип трел. агрегата	100		200		300		400	
	$\sum L_{пр.}$ км	$j_{пр.}$ квт/км	$\sum L_{пр.}$ км	$j_{пр.}$ квт/км	$\sum L_{пр.}$ км	$j_{пр.}$ квт/км	$\sum L_{пр.}$ км	$j_{пр.}$ квт/км
Тепл. тракторы	16	0,74	35,5	0,69	56	0,66	76	0,65
Лебедки ТЛ-3	26,5	1,04	59,5	0,94	91,5	0,92	116	0,96
Агрег. лебедки	32	1,21	70,5	1,11	107,5	1,10	140	1,12

Смысл этих значений таков: если в данном конкретном случае удельная загрузка сети j_x оказывается ниже указанных величин $j_{пр.}$, то это означает, что срок окупаемости дополнительных капвложений превышает 10 лет, и наоборот, если $j_x > j_{пр.}$, то $\tau < 10$ лет и чем эти последние неравенства больше, тем централизованное электроснабжение лесосек целесообразнее.

Понятие предельного значения отношения суммарной протяженности высоковольтной сети к соответствующему объему производства λ м/м³ вводится нами с целью получения удельного показателя, не зависящего от производственной мощности предприятия. Как видно из рис. 7, кривые $\lambda = \frac{\Sigma(L+l)}{Q} = \psi(P_{max.})$ имеют весьма малую кривизну и с погрешностью не более $\pm 5\%$ могут считаться прямыми, параллельными оси абсцисс, т. е. значения λ не зависят от величины нагрузки. Таким образом, получены следующие средние максимально-допустимые значения удельной протяженности лесных высоковольтных сетей в метрах на 1 кубометр производимой древесины для лесозаготовительных предприятий, в которых используются в качестве трелевочных агрегатов:

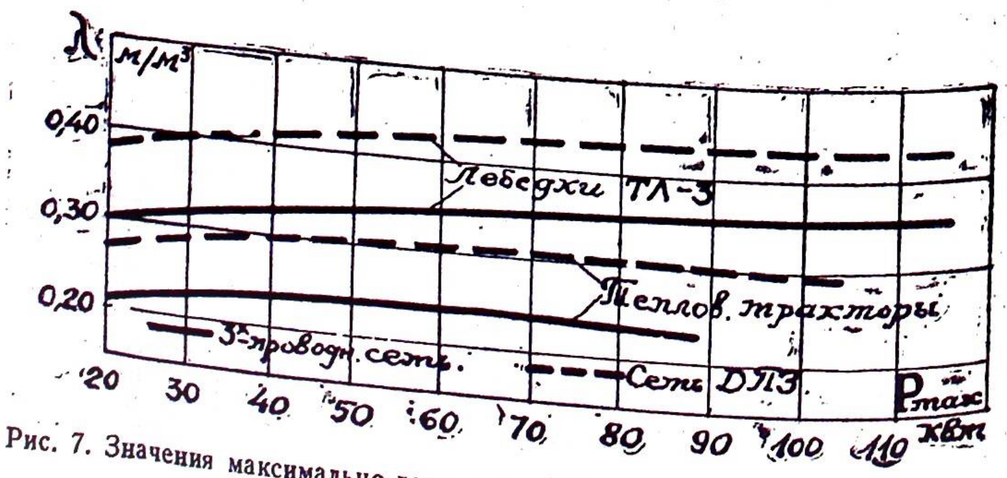


Рис. 7. Значения максимально-допустимой удельной протяженности лесных сетей при различной нагрузке.

тепловые тракторы	— 0,23	м/м³
лебедки ТЛ-3	— 0,34	„
агрегатные лебедки	— 0,40	„

Исследование области эффективного применения централизованного электроснабжения на лесоразработках показывает, что она далеко не безгранична и что на практике могут иметь место случаи, когда передача электрической энергии от центральной станции на лесосеки с применением обычных 3-проводных сетей является менее выгодной, чем использование передвижных электростанций.

В этих условиях становится крайне необходимым значительное удешевление лесных распределительных сетей. Однако и для тех случаев, когда централизованное электроснабжение лесосек оказывается выгоднее использования ПЭС, вопросы повышения экономичности распределения энергии в лесу не утрачивают своей актуальности.

Резкого снижения затрат по сетям можно добиться упрощением и облегчением их. Это достигается, в частности, заменой одного из воздушных проводов трехфазной сети 10 кв землею с изъятием этого провода и заменой части подстанционного оборудования на двухполюсное.

С целью выявления экономического эффекта от мероприятия такого рода произведены технико-экономические расчеты, аналогичные вышеизложенным, применительно к сетям „два провода—земля" (ДПЗ).

Как показали эти расчеты, капиталовложения по сетям ДПЗ ниже, чем по трехпроводным сетям примерно на 20%, а эксплуатационные расходы — ниже в среднем на 13—14%.

Такое сравнительно небольшое снижение капиталовложений и эксплуатационных расходов дает очень значительный эффект в отношении ускорения окупаемости дополнительных капвложений и расширения области эффективного применения централизованного электроснабжения лесосек.

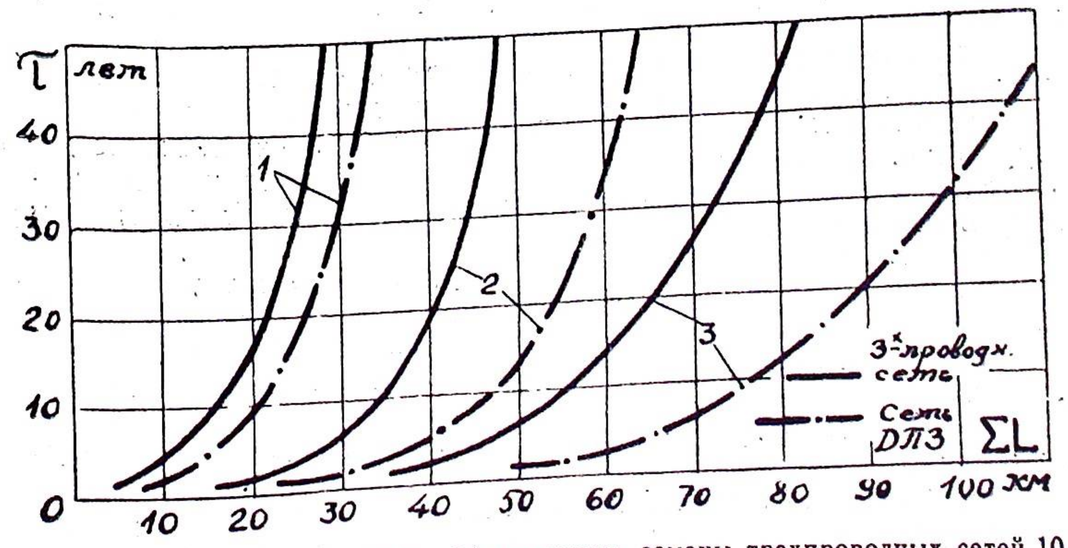


Рис. 8. Кривые, характеризующие эффективность замены трехпроводных сетей 10 кв. сетями ДПЗ в предприятиях разной мощности.

1 — Q = 100 т. м³; 2 — Q = 200 т. м³; 3 — Q = 300 т. м³ (для варианта с тепловыми тракторами)

С переходом на систему ДПЗ сроки окупаемости становятся во всех случаях вполне реальными, и на большей части предприятий с электрифицированной трелевкой достигается экономия капиталовложений по сравнению с системой использования ПЭС.

На основании графического анализа, аналогичного проведенному применительно к трехпроводным сетям, получены предельные протяженности сетей ДПЗ по условию окупаемости дополнительных капвложений в 10 лет.

Из графиков (рис. 6 и 7), составленных с учетом результатов этого анализа, видно, что система ДПЗ по сравнению с трехпроводной системой дает значительный эффект в отношении минимально-допустимой удельной загрузки сетей (квт/км) и максимально-допустимой протяженности сетей (м/м²), которые соответственно снижаются на 15 ÷ 20% и повышаются на 25 ÷ 30%.

Весьма наглядным является график (рис. 8), отражающий зависимость срока окупаемости τ от протяженности сети 10 кв $\left(\sum L\right)$, выполненной тремя проводами и по системе ДПЗ.

Из рассмотрения этого и других подобных графиков, которые здесь не приводятся, явствует, что с переходом от трехпроводных сетей к сетям ДПЗ возможно либо на 30 ÷ 40% расширить пределы максимально-допустимых протяженностей сетей без ущерба для экономических показателей сети, либо, при одних и тех же условиях, сократить срок окупаемости в несколько раз за счет достигаемой экономии денежных средств.

Условия использования сетей „два провода — земля" на лесоразработках

Вопрос об использовании сетей ДПЗ на лесоразработках поставлен лишь в последние годы в связи с переходом лесозаготовительных предприятий на централизованное электроснабжение, и практический опыт в этом отношении отсутствует. На основании имеющегося опыта использования сетей ДПЗ в сельском хозяйстве в 1956 г. начато сооружение двух экспериментальных установок ДПЗ: в леспромхозе ЦНИИМЭ и в Она-Чунском ЛПХ Красноярского комбината.

Однако в литературе до сих пор почти не уделялось внимания вопросам научного обоснования технической возможности и экономической целесообразности применения системы ДПЗ в лесных сетях.

Приведенные выше данные позволяют сделать предварительный вывод об экономичности сетей ДПЗ на лесоразработках. Что же касается технических возможностей применения системы ДПЗ в лесу, то для их оценки необходимо и достаточно установить, насколько условия электроснабжения лесоразработок благоприятствуют этому в отношении:

1) состава и требований потребителей лесной сети;
2) уровня передаваемых мощностей;
3) безаварийности установки и безопасности людей;
4) наличия в зоне сетей ДПЗ цепей слабого тока и возможности их защиты;
5) возможности устройства облегченных переносных рабочих заземлений.

Эти вопросы последовательно рассматриваются в дальнейшем.

Совокупность требований, предъявляемых к лесным сетям ДПЗ, определяется как соответствующими правилами устройства и эксплуатации электроустановок напряжением выше 1000 в, так и самими потребителями электроэнергии.

В отношении состава и уровня мощностей потребителей условия применения сетей ДПЗ на лесоразработках весьма благоприятны. Состав потребителей здесь в основном тот же, что и в сельском хозяйстве: трехфазные асинхронные электродвигатели и осветительные установки. Следует отметить, что в лесу исключается применение высоковольтных двигателей, электрическая связь которых с системой ДПЗ не допустима.

Как было показано (см. табл. 2), плотность нагрузки и удельная загрузка сетей на лесоразработках весьма низки. В лесных сетях 10 кв, питающих современные мастерские участки ($P_{уст.}$ до 100 квт) наиболее крупных предприятий, номинальные токи рабочего режима даже при естественном $\cos\varphi = 0{,}5 \div 0{,}6$ не превышают следующих значений:

Таблица 5

Участки сети	$I_{ном.}$
В главной магистрали	20 ÷ 25 а
В ответвлениях магистрали	5 ÷ 10 а
Во временных линиях (отпайках) .	5 а

По данным ЦНИИМЭ [2] мастерский участок, работающий спаренными лебедками мощностью по 20 квт (2 × ТЛ-3), наиболее распространенными в настоящее время, имеет $P_{max} < 20$ квт, что соответствует номинальному току отпайки 10 кв $I_н < 2$ а.

Столь низкие значения токов понизительных ТП создают предпосылки для применения при системе ДПЗ легких рабочих заземлений. Как будет показано, этому способствуют и другие факторы.

Расчет токов короткого замыкания (токи к. з.) в лесных установках ДПЗ может оказаться необходимым при выборе аппаратуры защиты, расчете заземлений и определении опасных влияний сети ДПЗ на телефонную линию. Однако в ряде случаев не требуется знания тока к. з. для выбора заземления и определения опасности влияний, что значительно упрощает расчеты. Такого рода упрощения возможны в установках с малыми токами замыкания на землю ($I_{к. з.} \leqslant 500$ а). Поэтому весьма важно установить, в каких случаях ток к. з. в лесных сетях ДПЗ оказывается меньше 500 а.

Возможны два варианта питания сетей ДПЗ на лесоразработках: первый — от собственной станции ЛПХ и второй — от сети мощной энергосистемы. Мощность собственных электростанций наиболее крупных лесозаготовительных предприятий не превысит 1000 ква, а максимально потребная мощность 400 ÷ 450 квт [1].

В результате рассмотрения наиболее неблагоприятных случаев короткого замыкания в лесных сетях 10 кв крупного лесозаготовительного предприятия ($Q = 400 \div 450$ тыс. м³ в год) оказалось, что токи к. з. не превышают 150 ÷ 160 а в первом случае и 400 а — во втором. Таким образом, практически все лесные распределительные сети ДПЗ относятся к категории установок с малыми токами замыкания на землю.

Следует отметить, что в практике эксплуатации сельских сетей аварийность в установках ДПЗ не превышает аварийности обычных трехпроводных установок. Что же касается безопасности обслуживающего персонала, то считается выясненным, что эти установки при наличии соответствующей защиты и исправности заземлений не представляют повышенной опасности для обслуживающего персонала.

Не имея в виду электрифицированных лесоразработок в целом, можно, однако, ожидать в отношении большого числа практических случаев, что применение при централизованном электроснабжении сетей ДПЗ не только не снизит, но даже повысит безопасность обслуживания передвижных ТП, т. к. основная гарантия безопасности — хорошее заземление — становится в этом случае необходимым условием для работоспособности установки. В обычных же условиях защитным заземлениям не уделяется достаточного внимания.

В связи с многократным монтажом — демонтажом во временных высоковольтных лесных сетях аппаратуры и материалов и частым перемещением трансформаторных подстанций, изоляция этих элементов сетей ДПЗ, находящаяся постоянно под воздействием линейного напряжения, весьма подвержена повреждению. Трещины и сколы на изоляторах могут вызывать перекрытия изоляторов и возгорание деревянных конструкций, причем изолирующая роль самих опор весьма снижается при использовании „растущих" опор во временных сетях. Это обстоятельство налагает повышенную ответственность на персонал, контролирующий состояние линейной и подстанционной изоляции в лесных сетях ДПЗ.

Характерная особенность линий ДПЗ заключается в том, что они, будучи электрически неуравновешенными, наводят в расположенных поблизости цепях слабого тока ЭДС, которые могут не только мешать нормальной работе этих цепей, но и достигать опасных значений. Правилами ограждения сооружений связи даются определения и нормы, ограничивающие свободу совместного размещения сетей ДПЗ и цепей слабого тока, путем установления, в зависимости от мощности первых и категории вторых, предельно-допустимых размеров (ширины и длины) участков сближения.

Поэтому необходимо прежде всего выяснить, с какими цепями слабого тока приходится иметь дело при проектировании лесных сетей ДПЗ и каковы трудности их совместного размещения.

Из рассмотрения условий размещения лесоэксплуатационных районов и требований лесозаготовительного производства следует:

1. В подавляющем большинстве случаев в зоне размещения лесных сетей ДПЗ отсутствуют линии связи I и II классов и линии железнодорожной блокировки, в отошении которых действуют особенно жесткие правила ограждения.

2. Могущие находиться в пределах лесного массива внутрирайонные телефонные линии и специальные лесные телефонные линии относятся к III классу, обычно выполняются однопроводными, и в отношении их допускаются повышенные значения мешающих влияний.

3. Выбор трассы сети ДПЗ на лесоразработках должен целиком подчиняться требованиям производства. Следует считать необходимым иметь в лесозаготовительном предприятии собственную телефонную линию, которая, независимо от способа выполнения (однопроводная, двухпроводная), относится к категории сугубо местных сетей.

В условиях централизованного электроснабжения лесоразработок наиболее желательно размещение телефонной линии в пределах полосы отвода (шириною до 50 м) лесовозной дороги, т. е. параллельно линии электрической сети, проходящей, чаще всего, также вдоль дороги. Особенно неизбежным является совмещение на протяжении нескольких километров в одной просеке (шириною менее 50 м) линий ДПЗ и линий связи, имеющих временный характер.

Таким образом, в условиях лесозаготовительных предприятий длительные сближения линий ДПЗ с телефонными линиями оказываются необходимыми.

Учитывая, что телефонная связь по специальным проводам в настоящее время является наиболее распространенным и доступным для лесозаготовительных предприятий видом местной связи, необходимо рассмотреть возможности ее использования в лесу совместно с сетями ДПЗ 10 кв.

Как известно, оценка допустимости сближения линии связи с линией сильного тока производится на основании расчета опасных и мешающих влияний.

Опасные ЭДС ($E_{\text{опасн.}}$) для лесных линий связи могут определяться только по рабочему режиму сети ДПЗ, так как ток короткого замыкания в этих сетях обычно не достигает 18-кратного значения номинального тока нагрузки [11].

Мешающая ЭДС (E_{Sm}) определяется геометрическим сложением ЭДС электростатической и электромагнитной индукции, каждая из которых в свою очередь может быть разложена на две составляющие: ЭДС, обусловленные несимметрией линии связи относительно линии ДПЗ, и ЭДС, обусловленные несимметрией линии связи относительно земли.

Согласно „Правилам ограждения" продольная ЭДС, индуктированная на проводе связи, не должна превышать 60 в, т. е.

$$E_{\text{опасн.}} \leqslant 60 \text{ в.}$$

Максимально допустимое значение ЭДС шума для недлинных телефонных линий местного характера, которые обычно выполняются однопроводными, составляет 30 мв. Учитывая, что телефонные линии лесозаготовительного предприятия по своему назначению являются сугубо местными, независимо от способа их выполнения — однопроводные или двухпроводные, — для них может быть принято

$$E_{Sm} \leqslant 30 \text{ мв.}$$

Уже первое ознакомление с величинами ЭДС и токов, наводимых лесной линией ДПЗ в проводах линии связи, показывает, что однопроводные телефонные линии не приемлемы при длительных сближениях. ЭДС шума, наводимые в них при тяжелых сближениях, измеряются сотнями и тысячами милливольт. Устройство защиты в виде промежуточных трансформаторов (схема ВИМЭ) [17, 18] затруднительно, вследствие переменного характера влияния из-за перемещения приемного конца телефонной линии и изменения протяженности сети при переносе мастерских участков.

Картина резко меняется при использовании двухпроводных линий. Поскольку на опорах лесной линии связи подвешивается одна пара проводов, то становится возможным при выборе шага скрещивания проводов исходить исключительно из соображений симметрирования линии связи относительно влияющей линии. Это осуществляется вращением проводов телефонной линии (скрещивание на кронштейнах).

При этом отпадает надобность учитывать в расчетах мешающих влияний ЭДС шума, обусловленные этой несимметрией. Исходя из этого и принимая наибольшую длину одной временной линии в среднем $l_{\text{вр}} \leqslant 5$ км и ширину сближения $a_{\text{вр}} \geqslant 10$ м (линии телефонная и ДПЗ расположены по обе стороны лесовозной дороги), можно получить величины индуктируемых в них ЭДС [11, 17]:

$$E'_{Sm_{\text{ср}}} = 4 \text{ мв и } E'_{\text{опасн.}} = 2 \div 4 \text{ в.}$$

Тогда допустимые значения E_{Sm} и $E_{\text{опасн}}$ в постоянных участках телефонной сети составят:

$$E_{\text{опасн}} \leqslant 60 - (2 \div 4) \leqslant 58 \div 56 \text{ в}$$

$$E_{Sm} \leqslant 30 - 4 \leqslant 26 \text{ мв.}$$

На основании сопоставления этих величин со значениями E_{Sm} и $E_{опасн}$, отнесенными к 1 км протяженности постоянной линии и подсчитанными для различных значений влияющего тока, ширины сближения постоянных линий $a_{пост} = 20$ м и проводимости земли $\gamma = (10 \div 20) \cdot 10^{-3}$ сим/м, построены кривые зависимости предельной длины сближения на постоянных участках от величины влияющего тока (рис. 9). Эти кривые пригодны для практического использования при оценке возможности совместного трассирования линии ДПЗ и скрещенной двухпроводной телефонной линии леспромхоза.

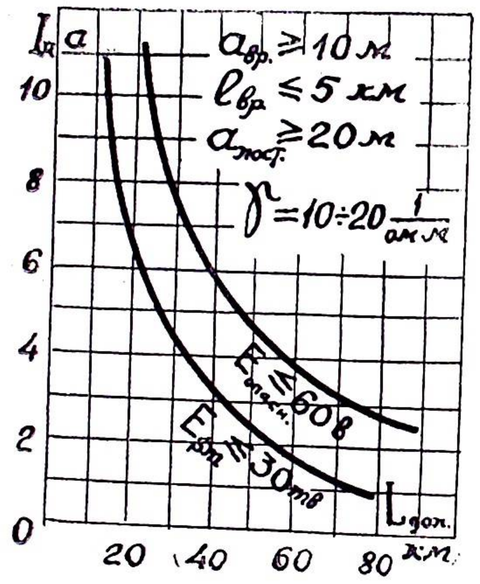


Рис. 9. Кривые для определения допустимой длины сближения постоянных участков телефонной линии ЛПХ и линии ДПЗ.

Принимая во внимание расчетные схемы лесных сетей (рис. 2) и обычный уровень рабочих токов в линии ДПЗ 10 кв, питающей два-три мастерских участка (менее 10 а), следует признать, что размеры допустимых сближений позволяют сооружать двухпроводные телефонные линии вдоль ответвлений лесной сети ДПЗ почти любого предприятия при условии, что на участке главной магистрали линия связи достаточно удалена от линии ДПЗ. При ширине сближения линий на магистральном участке в 500÷1000 м и токе 20÷25 а, ЭДС шума составляет от 0,2 до 0,05 мв/км. Магистраль лесовозной дороги полностью или частично проходит по вырубленным, открытым местам; поэтому отнесение от нее линии связи менее затруднительно. В лесонасаждениях для трассы телефонной линии могут использоваться квартальные просеки, параллельные дороге.

Полученные максимальные длины сближений следует считать более или менее заниженными, т. к. при подвеске на линии связи одной пары проводов несимметрия ее по отношению к земле, и, следовательно, значения наводимых ЭДС, могут быть снижены.

Вопрос о режиме напряжений в лесных распределительных сетях затронут в книге В. А. Алекторова и др. [3], где рекомендуется пользоваться нормами отклонений и потерь напряжения, установленными для городских и промышленных сетей, а также в брошюре пяти авторов (Л. В. Роос и др.) [2].

Уже отмечалось, что нормы предельных отклонений напряжения у лесных потребителей могут быть заимствованы из руководящих материалов по проектированию сельских сетей 10 кв: нижний предел отклонения напряжения —10%, верхний +7,5% от номинального напряжения сети.

Поддержание в лесных распределительных сетях необходимого режима напряжения осложняется в основном двумя обстоятельствами: 1. Резкопеременный характер нагрузки ограниченного числа сравнительно мощных асинхронных электродвигателей (до 50 квт). 2. Перераспределение нагрузок и изменение параметров отдельных элементов сети в связи с перемещениями основных потребителей энергии — мастерских участков. Кроме того, на режим напряжений может

оказывать влияние, как показывают расчеты, емкостная проводимость длинных лесных сетей.

В целях стабилизации напряжения при резкопеременных нагрузках, генераторы электростанции должны обязательно иметь устройство для автоматического регулирования напряжения, а трансформаторы — некоторый запас мощности. Наряду с этим, для поддержания режима напряжения при кратковременных перегрузках должны быть разработаны специальные сетевые регуляторы напряжения, а также рассмотрен вопрос об использовании в лесных сетях схемы продольной компенсации.

Перемещение потребителей по территории лесного массива дает в отношении режима напряжений такой же эффект, как и изменение нагрузки в течение суток, с той, однако, разницей, что последнее является общим для всей сети, а первое распространяется только на отдельных потребителей.

Таким образом, в лесных сетях необходимо применять по крайней мере двоякое регулирование напряжения: общее — встречное регулирование в течение суток и местное — периодический подъем или снижение напряжения у потребителей данного мастерского участка в зависимости от его удаленности от точки питания и величины потерь напряжения в низковольтных сетях. Это последнее осуществляется обычно переключением выводов трансформатора во время переноса ТП мастерского участка.

При выборе выводов понижающих трансформаторов, питающихся от лесной распределительной сети, следует рекомендовать руководствоваться следующими соображениями: если потеря напряжения в линии 10 кв до ТП ($\Delta U_л$) не превышает 2,5%, то необходимо присоединять выводы 105%. В этом случае можно не определять отклонений напряжения на шинах 0,4 кв ТП в режиме минимальных нагрузок. При потере в линии 10 кв $\Delta U_л > 2{,}5\%$, надо выбирать выводы в зависимости от величины потерь напряжения в низковольтных сетях. Если последние не превышают 5%, то при $\Delta U_л \leqslant 7{,}5\%$ следует пользоваться ответвлением 100% и при $\Delta U_л > 7{,}5\%$ — ответвлением 95%.

Схема расчета отклонений напряжения в лесной сети представлена в таблице 6. Как видно из таблицы, при расчете лесной сети 10 кв допустимая потеря напряжения может быть принята в 12,5%.

Таблица 6

№№ п/п	Элементы сети	Дальний потребитель (высшие анцапфы) $P = 100\%$	Ближний потребитель (низшие анцапфы) $P = 100\%$	Ближний потребитель (низшие анцапфы) $P = 0$
1	Шины 0,4 кв станции	+7,5	+7,5	+7,5
2	Повышающий трансформатор:			
	надбавки	0	0	0
	потери	−5	−5	0
3	Понижающий трансформатор:			
	надбавки	+10	0	0
	потери	− 5	−5	0
4	Низковольтная сеть	− 5	−5	0
	Итого	+ 2,5	−7,5	+7,5
5	Допустимые потери в линии 10 кв $\Delta U_л$	−12,5	—	—
6	У потребителя	−10	−7,5	+7,5

В заключение следует отметить, как одну из особенностей расчета лесных высоковольтных сетей, целесообразность учета в ряде случаев электрической емкости линий. Речь идет о маломощных сетях 10 кв протяженностью в несколько десятков километров, в которых емкостные токи по своей величине соизмеримы с рабочими токами линии.

При использовании на трелевке леса электрифицированных механизмов средней мощности (напр., лебедок ТЛ-3) и наличии частичной компенсации коэффициента мощности у потребителей ($\cos\varphi_2 = 0{,}85$), ток максимальной нагрузки в линии, питающей 2÷3 мастерских участка, не превышает 2÷3 а. Емкостный же ток (I_B), имея небольшие значения на единицу длины линии ($I_{B_0} = 0{,}018 \div 0{,}020$ а/км), при ее удлинении до нескольких десятков километров достигает величины порядка 1 а, т. е. в режиме минимальных нагрузок ($P_{min} \leqslant 0{,}25\ P_{max}$) может даже превышать рабочий ток.

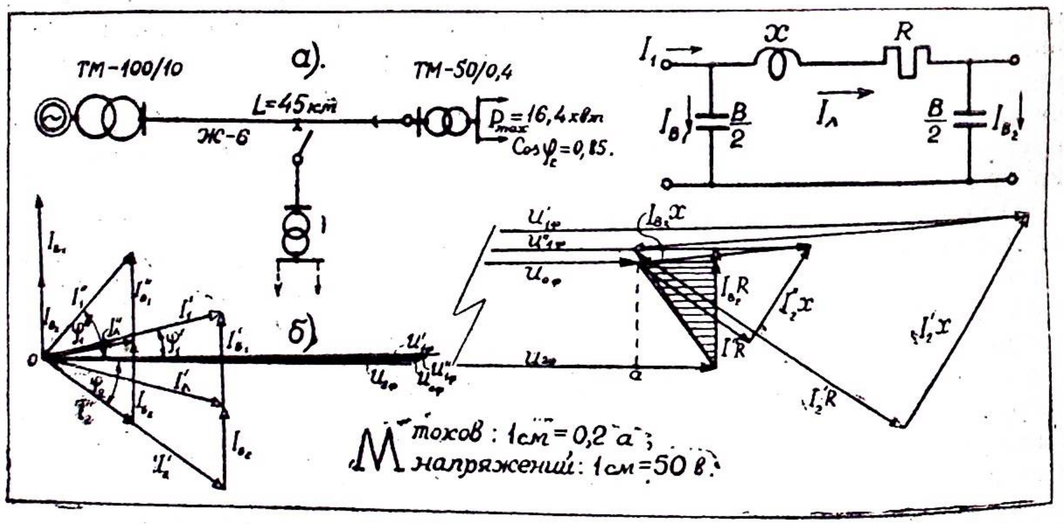


Рис. 10. Расчетные схемы и векторная диаграмма лесной сети 10 кв. в режиме частичной нагрузки при учете емкостной проводимости.

В предположении, что в какой-то момент времени от лесной сети 10 кв (провод марки Ж-6) питается один мастерский участок с трелевкой спаренными лебедками мощностью по 20 квт ($P_{max} = 16{,}5$ квт), удаленный на 40÷50 км, составлены расчетные схемы (рис. 10*а*) и на основании расчета построена векторная диаграмма (рис. 10*б*) для трех режимов работы сети.

Влияние емкостного тока на режим напряжений и на коэффициент мощности в начале линии показано графически на рис. 11 и 12, из рассмотрения которых следует:

1. Наличие падения напряжения в сопротивлениях линии от емкостного тока позволяет примерно на 1,5÷2,0% снизить фазное напряжение в начале линии или соответственно увеличить потерю напряжения от тока нагрузки.

2. Потеря напряжения в сети становится равной нулю примерно при нагрузке в 30% от P_{max}.

3. Наличие в линии емкостного тока значительно улучшает коэффициент мощности в начале линии. При нагрузке $I_2 = \frac{I_B}{0{,}56}$ сдвиг фазы (угол φ_1) становится опережающим.

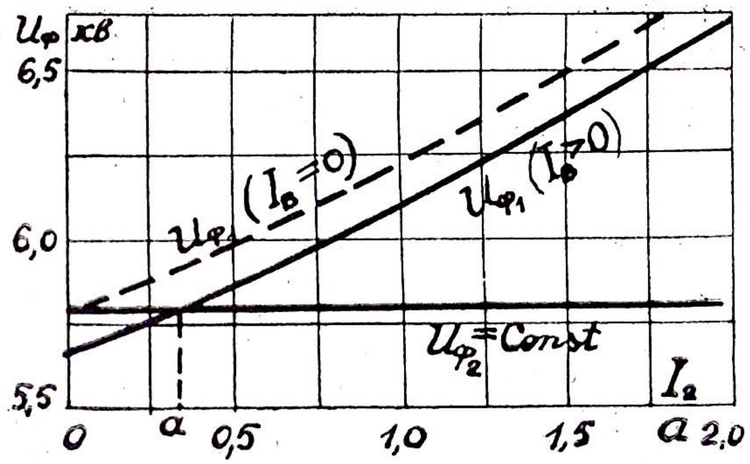


Рис. 11. Влияние емкостного тока на режим напряжений.

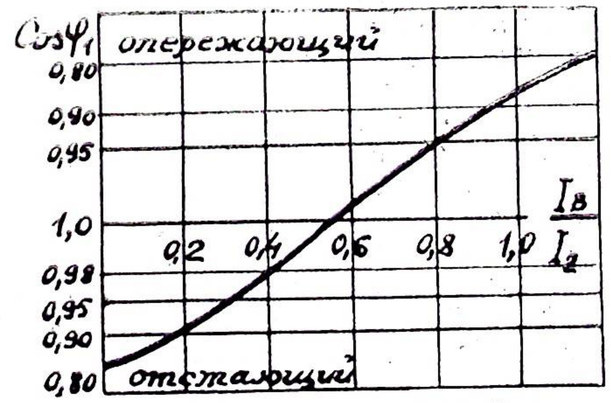


Рис. 12. Влияние емкостного тока на коэффициент мощности в начале линии.

Учет емкостной проводимости в лесных высоковольтных сетях позволит в ряде случаев без ущерба для качества электроснабжения избежать утяжеления сети при непредвиденном удлинении ее, а также уточнить распределение реактивной мощности и режим напряжений у отдаленных потребителей.

Экспериментальные данные для расчета заземлений лесных высоковольтных электроустановок

Литература, посвященная исследованиям заземлений электрических установок, достаточно обширна и отражает работы как теоретического, так и экспериментального характера. Основные вопросы работы заземлителей и протекания тока в земле подробно разработаны в трудах Оллендорфа, А. Л. Вайнера, Марголина, Л. Е. Эбина, В. В. Бургсдорфа и др. [21, 12, 19, 18, 20].

Экспериментальные исследования, имеющие целью определение удельных проводимостей грунтов, сопротивлений растеканию заземлителей и их термической устойчивости, в большинстве случаев касаются заземлений промышленных электроустановок и в меньшей степени — сельских; режим работы заземлений электроустановок на лесоразработках почти не изучен.

Данные о проводимости грунтов и их сезонных колебаниях, используемые в настоящее время при расчётах заземлений, — в том числе и заземлений лесных электроустановок — получены в условиях

запада европейской части Союза (Харьков, Москва, Ленинград) и Кавказа [11, 12]. Поскольку эти данные зависят от географического положения района, его природно-климатических и других условий, возможность пользования ими в условиях различных частей лесной зоны СССР требует дополнительного изучения. Кроме того, рекомендуемые действующими „Правилами устройства электротехнических установок" конструктивные параметры заземлений в целом ряде случаев оказываются неприемлемыми в лесных электроустановках. Вследствие необоснованного применения имеющихся данных для расчета заземлений электроустановок на лесоразработках, действительные параметры заземления, как правило, сильно отличаются от расчетных. Поэтому в практике лесной электрификации укоренилась недооценка расчета заземлений, и их параметры часто выбираются произвольно. Это является одной из причин того, что лесные электроустановки обладают повышенной опасностью для обслуживающего персонала.

Использование на лесоразработках электроустановок, работающих с заземленной фазой (по системе ДПЗ или ОПЗ), значительно повышает роль заземлений и, следовательно, ответственность за их правильный расчет и устройство.

Для рабочих заземлений в сетях с проводом — землей, применяемых на лесоразработках, должны быть разработаны заземлители с расчетными параметрами и конструктивными особенностями, учитывающими электропроводные свойства лесных почв и обеспечивающими надежность в работе при многократном использовании, простоту монтажа и переноса заземления.

Здесь следует отметить работы УЛТИ и ЦНИИМЭ [13] по разработке типовых заземляющих устройств передвижных электростанций. Полученные данные о сопротивлениях заземлителей нескольких типов, в условиях грунтов повышенной влажности и лесонасаждений Крестецкого ЛПХ, распространяются на Новгородскую, Ленинградскую и Великолукскую области. По большинству же основных районов лесоразработок отсутствуют сведения об изменении электропроводных свойств лесных грунтов в течение года.

Данные об электропроводности лесных грунтов и другие расчетные параметры могут быть установлены на основании учета особенностей условий работы заземлителей в лесных электроустановках путем опытов в естественных условиях.

Эти особенности связаны, с одной стороны, с географическим положением основных лесоэксплуатационных районов лесной зоны СССР и влиянием леса на почву, с другой — с характерными чертами лесозаготовительного производства.

Известно, что лес оказывает существенное влияние на температурный и водный режим почвы. Характерно, что амплитуда годовых колебаний температуры земли под пологом леса примерно на 10÷15% меньше, чем в поле [14, 15], однако среднегодовая температура почвы в поле на глубине от 0 до 100 см несколько выше, чем в лесу.

Тем не менее температурный режим лесных грунтов благоприятствует работе заземлений. Имеющиеся литературные сведения о лесах европейской части лесной зоны Союза и наши наблюдения на территории Марийской АССР показывают, что промерзаемость почвы в лесу значительно ниже, чем на открытых местах. В этом большую роль играет снеговой покров, который в лесу, как правило, (за исключением сомкнутых ельников) обильнее и рыхлее, чем в поле. Если морозы наступают до установления сплошного снегового покрова, то меньше всего промерзает почва в еловом лесу. С выпадением снега мощностью до 20 см процесс промерзания почвы в лесу

вообще прекращается и затем начинается процесс размерзания. Наибольшая глубина промерзания почвы в лесу относится к песчаным почвам, но и для них она меньше 1 м. Глубина промерзания глинистых почв обычно измеряется 1—2 дециметрами [16, 15].

Из этого следует, что для нормальной работы заземления зимой в лесу нет нужды погружать электроды в землю на 2÷3 м, как это делается в стационарных заземлениях промышленных и сельских электроустановок.

Отличительными особенностями обладает и водный режим лесных почв, что наиболее существенно отражается на изменении электропроводных свойств земли и работе заземлений. Преобладающие под лесами лесной зоны дерново-подзолистые и подзолистые почвы меньше иссушаются испарением и сильнее увлажняются талыми водами, чем почвы, лишенные древесной растительности. В то же время наличие мощной корневой системы и кроны у деревьев способствует усиленному иссушению почвы за счет десукции. Как установлено, совместное действие всех этих факторов приводит к тому, что под лесом верхние слои почвы (менее 1 м) имеют влажность большую, чем в поле, а более глубокие слои (более 1 м), иссушенные корнями деревьев,— меньшую. Существует также мнение, что под лесом уровень грунтовых вод ниже, чем под лугом, и он колеблется, понижаясь к осени и повышаясь к весне [14].

Весьма благоприятны для устройства заземлений заболоченные грунты. Они занимают до 15% всей площади лесной зоны и их наличие в районах лесоразработок — явление обычное.

Сильному увлажнению почвы под лесом способствует таяние снегов. В результате полного размерзания почвы к этому времени, ограниченности бокового стока и замедленного испарения весной в лесу резко повышается влажность верхних почвенных слоев, которая в течение лета постепенно снижается.

В свете всего сказанного вполне естественно проявление повышенного интереса к использованию в заземлениях лесных электроустановок, работающих с заземленной фазой, поверхностных заземлителей. Этот интерес еще более возрастает, если учитывать необходимость многократных переносов заземлений потребительских подстанций в течение года в связи с перебазированием мастерских участков по мере выработки лесного массива.

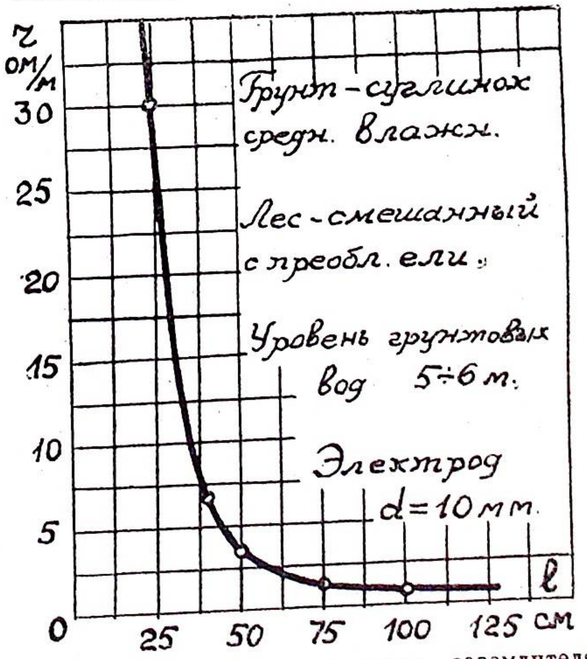


Рис. 13. Изменение сопротивления заземлителя на единицу его длины по мере погружения в грунт.

Погружение электродов (труб ∅ 50 мм) в лесной грунт на глубину более 1 м, как показали опыты, очень затруднено. Трудоемкость забивки трубы длиною в 1,5 м в 2—3 раза, а трудоемкость выемки из грунта — в 3—4 раза превышает трудоемкость соответственно забивки и выемки метровой трубы. Стенки трубы длиною в 1,5—2 м при забивке в лесной грунт деформируются настолько, что делают ее непригодной для повторного употребления.

Использование в условиях леса протяженных заземлителей (стального троса) не может быть рекомендовано из-за трудности прокладки траншей в грунте, изобилующем древесными корнями; они лишь могут применяться при устройстве заземления в болоте или другом водоеме.

Таким образом, уже предварительный анализ условий эксплуатации заземлений понизительных подстанций на лесоразработках показывает, что наиболее подходящим типом переносных заземлителей являются короткие трубчатые (стержневые) электроды, погружаемые в грунт вертикально на глубину порядка 1 м и выходящие на поверхность земли для удобства выемки их. Результаты экспериментального исследования подтверждают этот вывод.

На рис. 13 изображена кривая изменения сопротивления растеканию (R) вертикального заземлителя в характерных лесо-почвенных условиях при изменении длины стержня от 0 до 100 см. Эта кривая составлена по данным наших измерений в различных районах Марийской АССР и справедлива для суглинистых лесных грунтов средней влажности. Характер кривой свидетельствует о том, что область наибольшего снижения R на единицу длины заземлителя лежит влево от $l = 100$ см. Так как эта кривая в ином масштабе представляет зависимость удельной металлоемкости заземления (в кг/ом) от глубины погружения электродов, наилучшие экономические показатели (которые в данном случае определяются как металлоемкостью заземления, так и трудоемкостью закладки и выемки заземлителей) относятся к заземлителям указанной длины.

Контрольные замеры сопротивления одной двухметровой трубы и двух труб длиною по 1 м, соединенных параллельно, показали, что они имеют сопротивление растеканию одного и того же порядка.

Из сказанного следует, что в условиях, когда верхний слой грунта обладает устойчивыми электропроводными свойствами (в течение года), для снижения $R_з$ заземления целесообразнее увеличивать в n раз количество электродов длиною в 1 м, нежели удлинять их в n раз. По наблюдениям в условиях Марийской АССР, колебания электропроводности верхнего слоя суглинистых и глинистых лесных грунтов позволяют использовать указанные выше преимущества коротких заземлителей.

При выборе рационального диаметра электродов для переносного рабочего заземления, наряду с учетом требований механической прочности и термической устойчивости, необходимо иметь в виду, что изменение диаметра электрода (d) на практике значительно сильнее влияет на сопротивление растеканию (R), чем это следует из обычно приводимой в литературе аналитической зависимости между R и d [21, 12]. Погружаясь в грунт (при забивке), заземлитель вдавливает вытесняемый объем земли (v) в поверхность гнезда (S) электрода. Создаваемое при этом уплотнение $\frac{v}{S}$, величина которого, как легко видеть, пропорциональна диаметру забиваемого электрода, носит тем более местный характер и, значит, тем активнее проявляется, чем суше земля. Это явление сопровождается увеличением контактной поверхности между электродом и землей, и его учет особенно важен при устройстве заземлений в рыхлых и сухих грунтах.

Нашими опытами установлено, что увеличение диаметра электрода в n_d раз дает снижение R не в $\frac{1}{1-\frac{\ln n}{\ln \frac{4l}{d}}}$ раз [12], а значительно

больше. В табл. 7 приведены некоторые данные по этому поводу, полученные измерениями R в одинаковых условиях для электродов диаметром 9, 20 и 48 мм.

Неравномерность снижения R при одних и тех же n_d объясняется тем, что в условиях лесных грунтов заземлитель часто попадает в почвенные пустоты и скопления древесных корней, причем его активная поверхность сокращается.

В переносных рабочих заземлениях лесных электроустановок с заземленной фазой целесообразно использовать в качестве электродов стальные трубы диаметром не менее 30 мм с коническим наконечником.

Таблица 7

№№ п/п	Длина электрода м	Кратность увеличения диаметра n_d	Кратность снижения R		Отклонение от расчетного в %	Характеристика грунта
			расчетная	фактическая		
1	1,0	2,22	1,15	1,50	+31	Суглинок средней влажности
2	1,0	2,40	1,19	1,58	+33	
3	1,0	5,33	1,38	1,76	+27	
4	0,75	5,33	1,42	2,46	+73	
5	1,0	5,33	1,38	1,93	+40	
6	1,0	5,33	1,38	1,67	+21	
7	1,0	5,33	1,38	1,44	+4,5	Мокрый болотный грунт.
8	0,5	5,33	1,46	1,52	+4,0	

Данные о колебаниях сопротивления растеканию заземлителей в условиях леса получены нами экспериментальным путем в период с сентября 1955 по декабрь 1956 гг. Для систематических наблюдений было выбрано 5 участков в районе г. Иошкар-Ола Марийской АССР с характерными, для данной части лесной зоны Союза, лесо-почвенными условиями. По характеру влияния внешних факторов на электропроводные свойства лесных грунтов средней влажности выделено 2 варианта условий работы заземлителей в лесу: 1) под пологом леса вдали от опушки; 2) на закрытой вырубке близ стены леса.

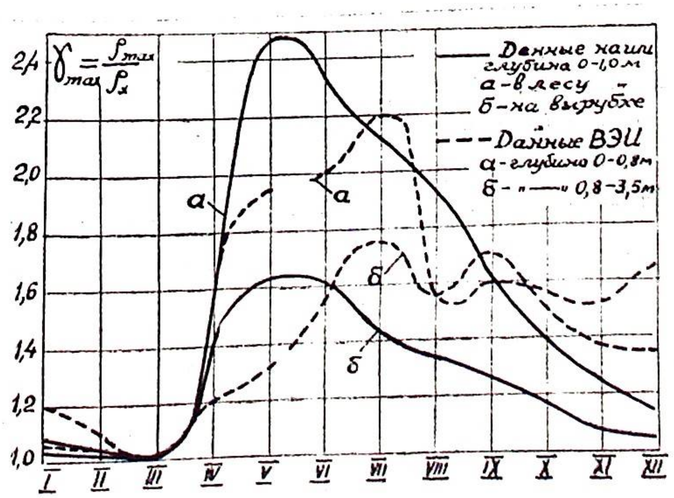


Рис. 14. Кривые изменения $\gamma_{макс.}$ в течение года.

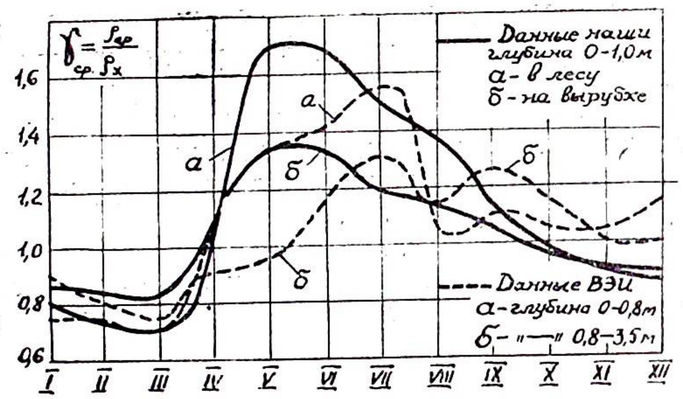


Рис. 15. Кривые изменения $\gamma_{ср.}$ в течение года.

Измерения сопротивлений проводились измерителем заземлений типа МС-07 почти одновременно на всех опытных участках (в течение 4—5 дней) и приурочивались к периодам установившейся погоды. Контрольные замеры показали, что резкие и непродолжительные изменения погоды (сильный дождь, мороз, жара, ветер) значительно менее сказываются на колебаниях электропроводных свойств почвы в лесу, нежели вне леса.

Наблюдения на трех участках глинисто-суглинистых лесных грунтов дали приблизительно совпадающие результаты, несмотря на их территориальную разобщенность и различие в характеристике елово-смешанных насаждений, поэтому они рассматриваются на рис. 14 и 15 и в табл. 8 совместно. Что же касается двух участков с песчаными почвами и елово-сосновыми насаждениями, то измерения сопротивления растеканию заложенных на них заземлителей в течение летнего, осеннего и весеннего сезонов 1955—1956 гг., позволяют сделать вывод, что даже в периоды наибольшего увлажнения лесных почв устройство переносного заземления на песчаных почвах не целесообразно без их искусственной обработки электролитическим раствором. Исключение составляют песчаные грунты либо заболоченные, либо подстилаемые на глубине порядка 1 м глинистым слоем.

В таблице 8 приведены полученные значения сопротивлений растеканию относительно максимальной (γ_{max}) и средний ($\gamma_{ср.}$) величин их в течение года для глинистых и суглинистых лесных грунтов.

Таблица 8

		Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Под пологом леса	γ_{max}	1,08	1,04	1,0	1,47	2,46	2,35	2,12	1,93	1,63	1,40	1,24	1,14
	$\gamma_{ср.}$	0,80	0,73	0,70	1,03	1,70	1,68	1,50	1,37	1,14	0,97	0,90	0,83
На узкой вырубке	γ_{max}	1,03	1,02	1,0	1,36	1,64	1,52	1,43	1,34	1,26	1,17	1,08	1,05
	$\gamma_{ср.}$	0,86	0,84	0,83	1,05	1,34	1,34	1,20	1,13	1,05	0,97	0,93	0,88

Коэффициентами $\gamma_{max} = \frac{\rho_{max}}{\rho_x}$ и $\gamma_{ср.} = \frac{\rho_{ср.}}{\rho_x}$ пользуются при расчете заземления для определения расчетного значения удельного сопротивления грунта по сопротивлению ρ_x, измеренному в любом месяце.

Наибольший практический интерес имеют данные о колебаниях проводимости грунта на закрытой вырубке, поскольку этот случай

более других отвечает условиям работы заземлений электроустановок на лесоразработках, когда понизительная подстанция располагается на лесосеке. Как явствует из рассмотрения кривых изменения γ_{max} и $\gamma_{ср.}$ в течение года для слоя суглинистых и глинистых грунтов глубиною в 1 м, именно в этих условиях имеет место наибольшее постоянство проводимости (рис. 14, 15).

Размеры колебаний сопротивления заземлителей длиною в 1 м на закрытой вырубке и γ_{max} и $\gamma_{ср.}$ для заземлителей вдвое большей длины, используемые ныне в расчетах, примерно совпадают, однако характер их изменения существенно разнится. Первое положение подтверждает сделанный ранее вывод о возможности и преимуществах использования коротких (длиною до 1 м) стержневых заземлителей.

Размеры колебаний ρ земли под пологом леса несколько превышают значения γ_{max}, рекомендуемые ВЭИ для верхнего слоя суглинистых грунтов, изменение же ρ по месяцам в лесу отличается весьма резко (рис. 14).

По вопросу о том, насколько период наблюдений является характерным для климатических условий Марийской АССР, следует сказать следующее. По сведениям местного Гидрометбюро среднегодовая температура в 1955 г. составила $+2{,}2°$ С, что на 21% ниже нормы; средние температуры были: в январе 1956 г. на 15%, а в июле 1955 и 1956 гг. соответственно на 15% и 20% ниже нормы.

Учитывая, что температурный коэффициент земли отрицателен, можно сделать вывод, что наблюдаемый период был по температурным условиям несколько жестче нормы, и, следовательно, полученные в этих условиях значения расчетных коэффициентов γ_{max} и $\gamma_{ср.}$ обладают некоторым запасом. Продолжительность зимы 1955—1956 гг. была меньше нормы лишь на 4÷6 дней. Общее количество осадков за рассматриваемый период было примерно на 5% больше, а их распределение по сезонам — пропорционально норме.

Приведенные данные об электропроводных свойствах лесных суглинистых и глинистых грунтов и об условиях работы поверхностных трубчатых заземлителей могут быть использованы при проектировании и эксплуатации заземлений электроустановок, используемых на лесоразработках Марийской и Татарской АССР, Кировской, Горьковской, Костромской, Вологодской областей, некоторых районов Приуралья и других областей РСФСР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Временная техническая документация по переводу лесозаготовительных предприятий на централизованное электроснабжение. ЦНИИМЭ, Гослесбумиздат, 1955.
2. Росс Л. В. и др. Централизованное электроснабжение на лесозаготовках. Гослесбумиздат, 1954.
3. Алекторов В. А. и др. Электрические станции, подстанции и электросети на лесоразработках, Гослесбумиздат, 1953.
4. Бельский И. Р. Электрооборудование лесозаготовительных предприятий. Гослесбумиздат, 1953.
5. Захарин А. Г. Электроснабжение сельскохозяйственных районов в условиях широкой электрификации сельского хозяйства. „Электричество", № 4, 1945.
6. Вопросы централизованного электроснабжения сельскохозяйственных районов от государственных энергосистем. Отчет ЭНИН АН СССР, 1954.
7. Итина Л. С., Цетлин А. М. Централизованное электроснабжение лесосек. „Лесная промышленность", № 10, 1955.
8. Юбкова Г. В. Экономическая эффективность централизованного электроснабжения лесозаготовительных предприятий. Дис., 1955.
9. Кодочигов Д. И. Эксплуатационные показатели и пути рационализации эксплуатации ПЭС на лесоразработках. Известия Казанского филиала АН СССР, 1953.
10. Будзко И. А. Сельские электрические сети, Сельхозгиз, 1955.

ются узко-специализированными подразделениями гидрографии, поэтому, естественно, имеют право на самостоятельное существование в качестве прикладных и даже теоретических дисциплин. Однако попытки рассматривать гидрографию в качестве региональной гидрологии недостаточно обоснованы, так как последняя имеет право на самостоятельное существование подобно региональной климатологии, региональной геологии и т. д. Нельзя ограничивать задачи гидрографии и морфометрическими характеристиками, хотя последние в ряде случаев представляют большой интерес.

При определении задач гидрографии мы руководствуемся тем, что она является одним из разделов гидрологии — науки о закономерностях стока и, следовательно, должна давать такие описания гидрографических систем, которые помогают раскрытию генетических закономерностей стока путем выяснения условий его формирования в зависимости от гидрографических элементов.

Правильное решение такого вопроса в отношении речной сети потребует рассмотрения условий формирования стока на фоне происхождения, генезиса конфигурации речной сети, ее густоты (плотности), извилистости и других гидрографических компонентов во взаимосвязи со всем комплексом физико-географических факторов.

Настоящая работа является опытом подобного решения на примере гидрографического описания бассейна р. Самары (левый приток р. Волги), в котором рассмотрены только два элемента гидрографической характеристики, а именно, форма рисунка и плотность речной сети с точки зрения их происхождения и влияния на процессы формирования меженного стока.

Бассейн р. Самары расположен в области Высокого Заволжья на моноклинальном склоне, имеющем пологое и спокойное падение геологических слоев на запад и осложненное флексурами, а поэтому более крутое, — на юг. Главная река и ее основные притоки Б. и М. Кинель, Б. и М. Уран, Бузулук, Ток, Кувай (рис. 1) протекают параллельно друг другу в широтном направлении по простиранию геологических отложений и вкрест их падению. Только на участках нижних течений, где они впадают в главную реку, притоки имеют резкие изломы в направлении своих долин. Система этих рек разделяет поверхность бассейна на ряд вытянутых в почти широтном направлении асимметричных водоразделов. Правые их склоны, обращенные на юг, короткие, крутые (уклоны 0,02; 0,03; 0,05), почти вплотную придвинуты к долинам основных рек и во многих случаях лишены собственной речной сети. Эти крутые склоны, называемые сыртами, очень образно описал А. Н. Мазарович [14]: „Вид на толпы бугров с возвышенных точек представляет незабываемое зрелище. Оригинальность этой картины усугубляется еще тем, что все эти высоты, бугры и гребни покрыты ковыльной или полынной степью и совершенно лишены не только оврагов, но даже и промоин, как будто бы какие-то грандиозные волны поднялись и застыли и с тех пор никакая разрушительная сила на них не действовала". Левые склоны водоразделов длинные, пологие (уклон 0,005—0,01), незаметно переходят в речные террасы и расчленены слабо врезанными долинами притоков меридионального направления.

Для подразделения рек по характеру их рисунка нами использованы принципы, предложенные В. А. Троицким [24], который провел районирование европейской части СССР по преобладающим типам рисунка речных систем. В его классификации развита только геометрическая сторона вопроса без выяснения генетических причин, обусловивших формирование того или иного рисунка речной сети.

Исследования, проведенные Отделом энергетики и водного хозяйства КФАН СССР, позволили значительно детализировать предложенную им схему. Эти исследования показали, что бассейн р. Самары составляет не субдендрический, а параллельно-субдендрический тип, так как основная конфигурация рисунка определяется параллельным взаимным расположением главной реки и основных притоков первого порядка. Эти реки относятся к типу ломаных и соединяются с основной рекой под острыми углами. Мелкие притоки 1-го, 2-го и 3-го порядка усложняют общую схему рисунка и образуют следующие самостоятельные типы (рис. 2).

а) Прямоугольно-перистый тип создают мелкие левобережные притоки 1-го и 2-го порядка. Все они расположены параллельно друг

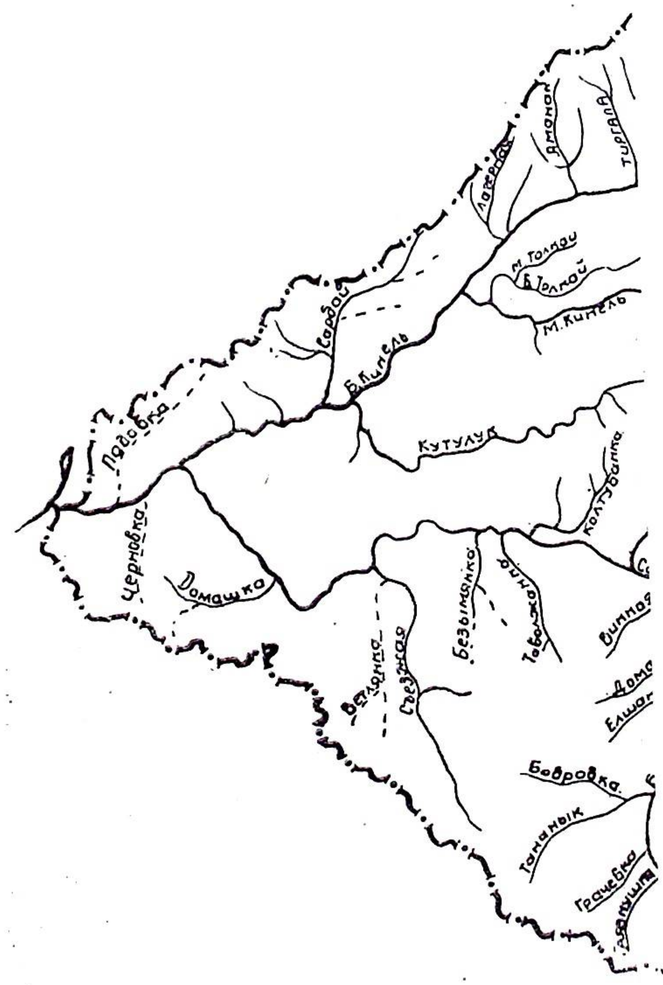


Рис. 1. Речная сеть ба

существу разделяют И. И. Маккавеев [15], В. П. Панов [19] и другие.

Я. С. Эдельштейн [27], И. С. Щукин [26] и А. Ф. Гужевая [8] считают, что направление речных потоков и их разветвленность определяются, главным образом, местными топографическими наклонами первичной поверхности. При этом, высокие уклоны местности, по их мнению, обеспечивают большую энергетическую мощность потоков, а поэтому способствуют выработке слабо разветвленных, сильно вытянутых в длину речных систем.

ются узко-специализированными подразделениями гидрографии, поэтому, естественно, имеют право на самостоятельное существование в качестве прикладных и даже теоретических дисциплин. Однако попытки рассматривать гидрографию в качестве региональной гидрологии недостаточно обоснованы, так как последняя имеет право на самостоятельное существование подобно региональной климатологии, региональной геологии и т. д. Нельзя ограничивать задачи гидрографии и морфометрическими характеристиками, хотя последние в ряде случаев представляют большой интерес.

При определении задач гидрографии мы руководствуемся тем, что она является одним из разделов гидрологии

Для подразделения рек по характеру их рисунка нами использованы принципы, предложенные В. А. Троицким [24], который провел районирование европейской части СССР по преобладающим типам рисунка речных систем. В его классификации развита только геометрическая сторона вопроса без выяснения генетических причин, обусловивших формирование того или иного рисунка речной сети.

Исследования, проведенные Отделом энергетики и водного хозяйства КФАН СССР, позволили значительно детализировать пред-

ложенную им схему. Эти исследования показали, что бассейн р. Самары составляет не субдендрический, а параллельно-субдендрический тип, так как основная конфигурация рисунка определяется параллельным взаимным расположением главной реки и основных притоков первого порядка. Эти реки относятся к типу ломаных и соединяются с основной рекой под острыми углами. Мелкие притоки 1-го, 2-го и 3-го порядка усложняют общую схему рисунка и образуют следующие самостоятельные типы (рис. 2).

а) Прямоугольно-перистый тип создают мелкие левобережные притоки 1-го и 2-го порядка. Все они расположены параллельно друг другу и соединяются с перечисленными выше основными реками под прямым углом.

б) Древовидный тип приурочен к северной и северо-восточной частям бассейна, к нему относится большинство правобережных притоков рек Б. Кинели и Тока. Этот тип характеризуется сложным положением притоков высших порядков, число которых увеличивается к верховьям рек, а сопрягаются они между собой и с главной рекой под разными углами (острый, прямой и т. д.) и текут в различных направлениях.

в) Радиальный тип объединяет реки, стекающие с куполовидных водораздельных возвышенностей тектонического происхождения. В плане эти реки располагаются по расходящимся радиусам. Этот тип рек образуется притоками рек М. Урана и Тока и на водоразделе рек Съезжей и Бузулука.

Прежде чем приступить к изложению причин образования каждого из этих типов рисунка речной сети, коротко остановимся на существующих взглядах по вопросу о происхождении и развитии речных систем.

М. А. Великанов [7] излагает наиболее широко распространенную климатическую теорию образования речной сети. В схематичном изложении эта теория исходит из предположения о наличии первичной суши, имеющей одинаковый уклон в сторону моря, на которую выпадает повсеместно равное количество атмосферных осадков. Вследствие этих причин предполагается однообразное развитие эрозионных процессов, которые приводят к образованию первоначально прямолинейных рек одинаковой водности, расположенных на равных расстояниях друг от друга. Последующее развитие эрозии способствует образованию боковых притоков. Вследствие регрессивной эрозии притоков происходит перехват ими верхних участков соседних первичных прямолинейных рек. Это сопровождается неравномерным изменением водосборных бассейнов и водоносности рек. В связи с этим одни реки развиваются более интенсивно и образуют распространенную грушевидную форму бассейнов больших рек, между которыми расположены остатки первичных прямолинейных рек в виде коротких их отрезков.

Таким образом по этой схеме постепенное развитие эрозионного процесса создает первоначально систему параллельно текущих однородных рек, а дальнейшее развитие эрозии приводит к чередованию больших речных систем и мелких коротких речек. В этой схеме наиболее последовательно выражена климатическая концепция, которую по существу разделяют И. И. Маккавеев [15], В. П. Панов [19] и другие.

Я. С. Эдельштейн [27], И. С. Щукин [26] и А. Ф. Гужевая [8] считают, что направление речных потоков и их разветвленность определяются, главным образом, местными топографическими наклонами первичной поверхности. При этом, высокие уклоны местности, по их мнению, обеспечивают большую энергетическую мощность потоков, а поэтому способствуют выработке слабо разветвленных, сильно вытянутых в длину речных систем.

Несколько иначе оценивает роль уклонов Б. П. Панов [19]. Он полагает, что реки, протекающие по местности с большими уклонами, обладают и большим развитием речной сети, так как энергия потока и его эродирующая способность при больших уклонах соответственно больше.

В. В. Докучаев [12] считает, что развитие эрозионного процесса начинается на стадии оврага и заканчивается рекой в результате регрессивной эрозии и постепенного вскрытия постоянных водоносных горизонтов.

По мнению И. П. Павлова [18], направление эрозионных ложбин стока определяется просадками грунта по линиям механического и химического разрушения и выноса подземными водами мельчайших частиц горных пород. В отношении влияния геолого-тектонических особенностей местности И. П. Павлов считает, что нарушения геологических слоев на земной поверхности оказывают влияние, главным образом, на направление речек, так как дают выход на поверхность ключей и тем самым определяют направление стока подземных вод в реки.

Б. А. Аполлов [1] и В. А. Дибнер [11] в вопросе направления и развития речных систем решающую роль придают тектоническим процессам, которые вызвали в прошлом деформацию земной коры и образование продольных углублений — первоначальных русел рек.

В. А. Троицкий [24] главное значение в выработке направления течения рек отводит тектонике речного бассейна, прочности и сопротивляемости пород размыву и характеру рельефа местности.

По мнению И. Леваковского [13] даже при слабом наклоне пластов создается различное отношение разных по своей прочности геологических напластований к эрозионному действию текущей воды, что отражается на изменении направления речных долин на значительном протяжении.

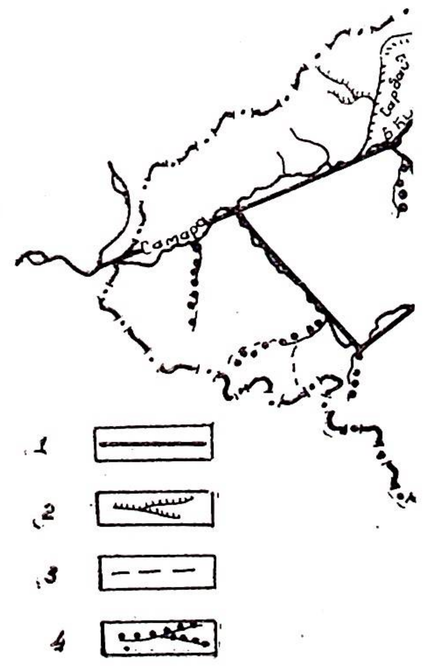
По нашему мнению, общая схема образования речных систем рисуется в следующем виде. В результате различных по амплитуде и направлению тектонических движений отдельные участки дна мирового океана выводятся на дневную поверхность. В этот момент геологические отложения предельно насыщены водами и, по мере поднятия, начинают отдавать их с интенсивностью, которая определяется величиной создающихся пьезометрических напоров. Наиболее благоприятными для разгрузки вод являются зоны тектонических нарушений, в которых породы разбиты на сложные системы трещин и, следовательно, имеют благоприятные условия для стока подземных вод. Выходы этих вод дают начало первичным речным потокам, к которым присоединяется поверхностный сток атмосферных осадков. Воды поверхностного стока следуют по уклону поверхности и в результате эрозии образуют ложбины стока, которые присоединяются к постоянным водотокам, образующимся подземными водами, и по тектоническим понижениям устремляются в океан.

Вследствие непрерывного поступления части атмосферных осадков на пополнение подземных вод, циркуляция последних в толще геологических отложений производит химическое и механическое разрушение горных пород, которое сопровождается растворением, выносом частиц и т. д. Следствием этого является возникновение коллекторов, по которым и происходит сосредоточенное поступление подземных вод. Постепенно их разработка приводит к просадкам грунта и формированию поверхностных ложбин стока, интенсивно разрушаемых стоком поверхностных атмосферных вод.

В тех случаях, когда эти ложбины стока совпадают с поверхностным топографическим наклоном местности, интенсивные процессы

эрозии — результат совместной работы подземных и поверхностных вод — приводят к образованию прарек, предшествовавших современным речным системам. Последующие тектонические дислокации и непрерывный процесс эрозии постепенно формируют современные реки.

Если направление подземных и поверхностных потоков не совпадает, то возможности образования речной сети, по-видимому, исключаются. Сток поверхностных вод может создать только овраги и балки, обычно не имеющие постоянного подземного питания. Конечно, в отдельных случаях овраг, при углублении, может достигнуть водоносного горизонта, производительность которого, однако, не всегда



1—пар

положение в отношении плоскости изгиба, вследствие чего создаются условия для поступления вод из одного стратиграфического горизонта в другой. Второе — имеет параллельное расположение в отношении плоскости изгиба, и поэтому трещины создаются по контакту пород различного литологического состава. По этим трещинам в районах флексур может происходить вертикальное передвижение грунтовых вод: свободных — сверху вниз, а напорных — в обратном направлении.

Несколько иначе оценивает роль уклонов Б. П. Панов [19]. Он полагает, что реки, протекающие по местности с большими уклонами, обладают и большим развитием речной сети, так как энергия потока и его эродирующая способность при больших уклонах соответственно больше.

В. В. Докучаев [12] считает, что развитие эрозионного процесса начинается на стадии оврага и заканчивается рекой в результате регрессивной эрозии и постепенного вскрытия постоянных водоносных горизонтов.

По мнению И. П. Павлова [18], направление эрозионных ложбин стока определяется просадками грунта по линиям механического и химического разрушения и выноса подземными водами ма-
частиц горных пород. В отношении
особенностей ма

р
п
и
р
те
ти
со
чес
отр
про
рис
и на
вог
геол
подн
ляет
благ
нару
и, сл
вод.
к кот
Воды
зульта
к пос
по тек
Всл
на попе
ческих
горных
и т. д.
которым
Постепе
ванию поверхностных ложбин стока, интенсивно разрушаемых стоком поверхностных атмосферных вод.

В тех случаях, когда эти ложбины стока совпадают с поверхностным топографическим наклоном местности, интенсивные процессы

эрозии — результат совместной работы подземных и поверхностных вод — приводят к образованию прарек, предшествовавших современным речным системам. Последующие тектонические дислокации и непрерывный процесс эрозии постепенно формируют современные реки.

Если направление подземных и поверхностных потоков не совпадает, то возможности образования речной сети, по-видимому, исключаются. Сток поверхностных вод может создать только овраги и балки, обычно не имеющие постоянного подземного питания. Конечно, в отдельных случаях овраг, при углублении, может достигнуть водоносного горизонта, производительность которого, однако, не всегда будет достаточной для образования реки. Если овраг прорежет водоносный горизонт со значительной площадью подземного стока, то он может превратиться в реку. При малой площади стока такое превращение невозможно, следовательно, как правило, овраг является не стадией развития реки, а самостоятельным элементом гидрографической сети. Объясняется это тем, что процессы поверхностной эрозии являются вторичными, следовательно, вскрытые ими водоносные горизонты, как правило, до этого уже имели какое-то направление своего течения от областей питания к местам разгрузки, если, конечно, не представляли изолированной линзы с застойными водами. Таким образом, факторы геологические являются основными и определяют собой условия развития речной сети. Первичные уклоны местности являются фактором вторичным и поэтому не им принадлежит решающая роль в формировании сети рек.

А. А. Богданов [5] указывает, что А. И. Мазарович впервые в 1932 году отметил наличие флексур широтного направления в районе г. Бузулука и к северу от него, с происхождением которых тесно связано развитие гидрографической сети. А. А. Богданов отметил, что реки Б. и М. Кинель, некоторые притоки р. Самары, так же как и сама река, на ряде участков своего течения прокладывают долины вдоль флексур, размывая правыми коренными берегами их поднятые крылья.

А. С. Хоментовский [25] также говорит о существовании в бассейне р. Самары крупных ступенеобразных изгибов тектонического происхождения, вытянутых в северо-западном направлении и совпадающих с правобережными водораздельными склонами рек Б. и М. Кинелей, Б. и М. Уранов, Самары.

Геологические исследования последних лет подтверждают точку зрения вышеуказанных авторов на тектоническое происхождение долины р. Самары и ее крупных притоков.

Любопытная связь конфигурации современной гидрографической сети с наличием широтно вытянутых флексур позволяет высказать предположение об одновременности процессов формирования речной сети и тектонических движений на этой территории.

Образование флексурных складок, происходившее в миоценовое и плиоценовое время, сопровождалось некоторым снижением мощности отложений вследствие их деформации, а в связи с этим — нарушением целостности геологических отложений с образованием разрывов и сложной системы трещин. В разрушенной толще возникают трещины двух основных направлений. Первое — имеет перпендикулярное расположение в отношении плоскости изгиба, вследствие чего создаются условия для поступления вод из одного стратиграфического горизонта в другой. Второе — имеет параллельное расположение в отношении плоскости изгиба, и поэтому трещины создаются по контакту пород различного литологического состава. По этим трещинам в районах флексур может происходить вертикальное передвижение грунтовых вод: свободных — сверху вниз, а напорных — в обратном направлении.

Тектоническая трещиноватость, по исследованиям Е. Н. Пермякова [20], обычно осложняется трещиноватостью другого генезиса: выветривания, высыхания, самоуплотнения и т. д.

Наличие сложной системы трещиноватости создает благоприятные условия для разгрузки водоносных горизонтов и выхода в речные русла подземных вод. Они, так же как и воды поверхностного стока, поступали в флексурные понижения и часто, независимо от общего топографического наклона поверхности, фиксировали положение будущих русел рек, а тем самым предопределили пути их дальнейшего развития. По-видимому, так шло формирование долин основных рек широтного направления в бассейне р. Самары, которые на отдельных участках, часто значительного протяжения, приурочили свои русла к флексурам также широтного направления. Долины этих рек по их происхождению имеем все основания отнести к тектоническим.

Древовидный тип рисунка речной сети имеет эрозионно-тектоническое происхождение. К нему относятся реки Сарбай, Аманак, Савруша и др., имеющие общее направление своего течения, согласное с тектоническим наклоном местности, а конфигурация их сети осложнена мелкими куполовидными и брахиантиклинальными поднятиями и различной степенью устойчивости пород размыву.

В ряде случаев на формирование речной сети этого типа оказало свое влияние и то обстоятельство, что отложения татарского яруса пермской системы, в которых проложили свои русла реки, отличаются фациальной невыдержанностью в вертикальном и горизонтальном направлениях. Водоносные горизонты представлены линзами различных размеров и иногда носят переливной характер. В этих районах конфигурация речной сети упрощается, а густота ее резко снижается (рис. 5) вследствие отсутствия постоянных источников питания, как, например, в бассейне р. Мочегай.

Реки радиального типа, проложившие свои русла в понижениях, расходящихся от центра куполовидных возвышенностей тектонического характера, также имеют эрозионно-тектоническое происхождение. Они проложили свои русла по склонам куполовидных поднятий и, как правило, приурочены к районам понижений более мелких дислокаций.

Реки прямоугольно-перистого типа расположены на пологих северных склонах междуречных пространств. Русла этих рек отличаются простой, обычно прямолинейной, неразветвленной конфигурацией, слабой разработанностью долин, незначительной глубиной эрозионного вреза в аллювиально-делювиальные образования или в кровлю коренных отложений. Эти реки по своему происхождению являются эрозионными.

Г. Н. Петров [21] считает, что процесс формирования меженного стока зависит от следующих условий: 1) образования подземных вод на междуречных пространствах и в областях питания под влиянием почвенных и других причин и 2) движения этих вод в отношении речных систем, которое определяется геолого-литологическими условиями и тектоническим строением местности, а также и поверхностями древних эрозионных размывов. Эти факторы в основном предопределяют движение грунтовых вод по водоносным горизонтам в отношении русел рек.

Справедливость этого положения подтверждается распределением величины подземного питания (рис. 3), которое было получено при изучении меженного стока в бассейне Самары [21]. В распределении модулей подземного питания по бассейну отмечается определенная закономерность, сохраняющаяся для рек различного происхождения, а, следовательно, и различной формы рисунка.

Реки параллельно-субдендрического типа получают высокое подземное питание (3—5 л/сек. с 1 км²), режим которого может быть только устойчивым почти на всем протяжении этих рек в результате постоянного поступления в их русла подземных вод из области питания в направлении с юго-запада, согласно общему тектоническому уклону местности, с подземных водоразделов, значительно превышающих поверхностные (рис. 4).

Разгрузка водоносных горизонтов происходит особенно интенсивно

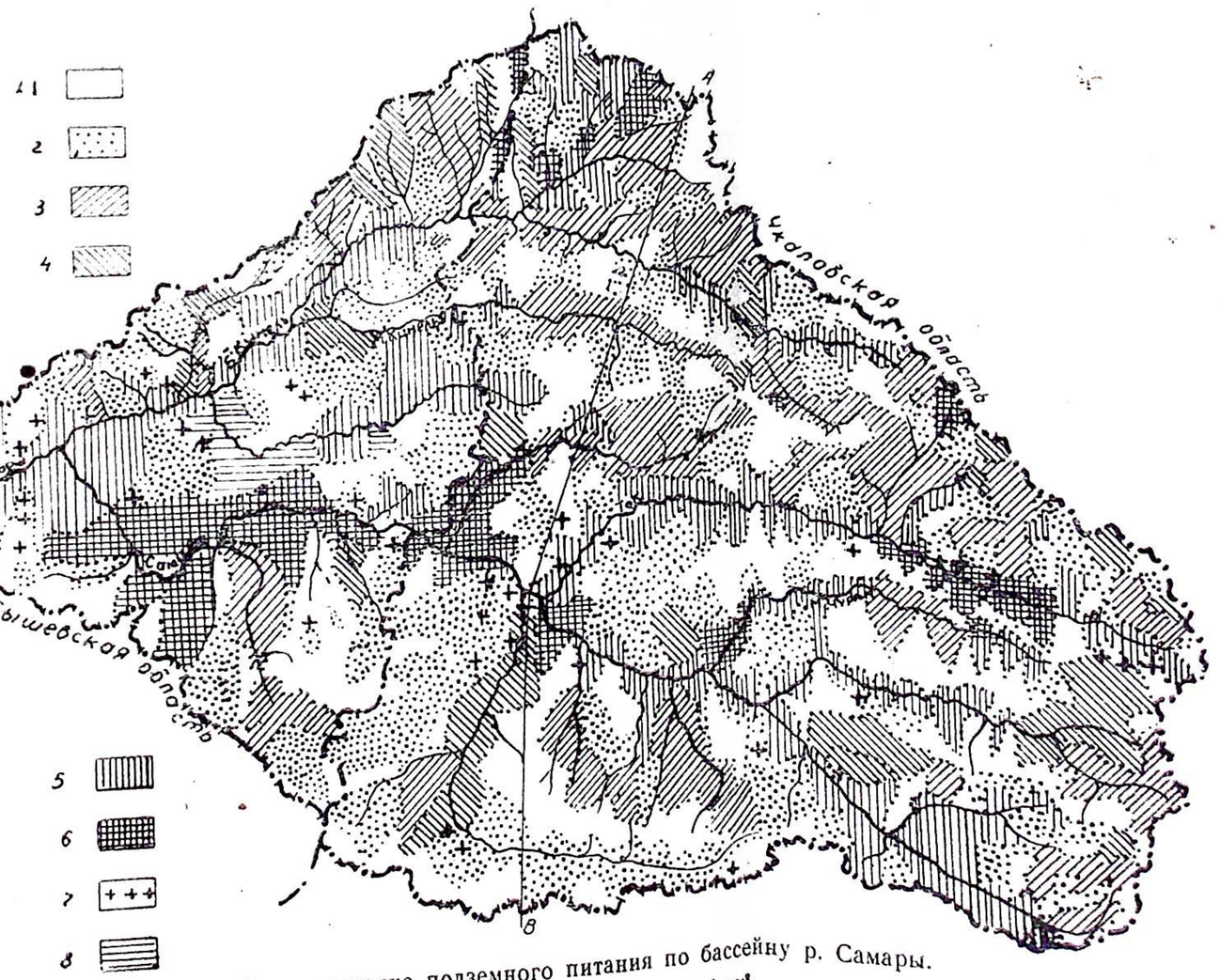


Рис. 3. Распределение подземного питания по бассейну р. Самары.

Подземное питание выражено в л/сек. с 1 км². 1, 0,0; 2 — до 0,25; 3 — до 0,5; 4 — до 1,0; 5 — до 3,0; 6 — до 5.0 и более; 7 — пункты отрицательного подземного питания; 8 — необследованные районы орошаемого земледелия. Составлено по карте м — 1 : 300000 на основании материалов гидрометрической съемки [21]

сети, величина которой довольно значительно изменяется в пределах бассейна р. Самары (рис. 5). Наибольшие ее значения (0,4—0,5 км/км²) приурочены к северо-западной и западной частям бассейна (правобережье р. Б. Кинель, верхняя часть бассейна р. Ток), т е. к районам с высокими модулями подземного питания (до 3,0 л/сек с 1 км² и выше).

В верхней части бассейна р. Мочегай и в бассейне р. Бугурусланки густота речной сети снижается до 0,0—0,1 км/км², что связано

Тектоническая трещиноватость, по исследованиям Е. Н. Пермякова [20], обычно осложняется трещиноватостью другого генезиса: выветривания, высыхания, самоуплотнения и т. д.

Наличие сложной системы трещиноватости создает благоприятные условия для разгрузки водоносных горизонтов и выхода в речные русла подземных вод. Они, так же как и воды поверхностного стока, поступали в флексурные понижения и часто, независимо от общего топографического наклона поверхности, фиксировали положение будущих русел рек, а тем самым предопределили пути их дальнейшего развития. По-видимому, так шло формирование долин основных рек

[illegible]

нии русел рек.

Справедливость этого положения подтверждается распределением величины подземного питания (рис. 3), которое было получено при изучении меженного стока в бассейне Самары [21]. В распределении модулей подземного питания по бассейну отмечается определенная закономерность, сохраняющаяся для рек различного происхождения, а, следовательно, и различной формы рисунка.

Реки параллельно-субдендрического типа получают высокое подземное питание (3—5 л/сек. с 1 км²), режим которого может быть только устойчивым почти на всем протяжении этих рек в результате постоянного поступления в их русла подземных вод из области питания в направлении с юго-запада, согласно общему тектоническому уклону местности, с подземных водоразделов, значительно превышающих поверхностные (рис. 4).

Разгрузка водоносных горизонтов происходит особенно интенсивно на тех участках рек, где русла приурочены к флексурным перегибам слоев, осложненных трещиноватостью слагающих пород (среднее течение рр. Самара, Ток, М. Уран). И наоборот, если русло реки пересекает флексуру в наиболее высокой части ее крыла и поэтому не вскрывает водоносные горизонты, модули подземного питания снижаются до 0,5 л/сек с 1 км² (среднее течение р. Б. Кинель). Низкие модули стока имеет р. М. Кинель (от 0,0 до 0,5 л/сек. с 1 км²), несмотря на то, что долина реки приурочена на отдельных участках к понижениям, вытянутым вдоль крутого крыла флексуры. В высотном отношении эта река расположена на 50 м выше долины р. Б. Кинель и почти на 100 м выше долины р. Самары и поэтому водоносные горизонты аманакской свиты татарского яруса, частично питающие р. Б. Кинель, погружаются ниже уровня р. М. Кинель (рис. 4) и никакого участия в ее питании не принимают. Кроме того, почвенные и литологические особенности бассейна, а также сильно вытянутая форма последнего, способствуют быстрому стеканию атмосферных осадков по коротким водораздельным склонам, которые создают большой поверхностный сток (60 мм) и только в незначительной степени поглощаются почво-грунтами.

Для рек древовидного типа в распределении модулей подземного питания отмечается большая пестрота (0,2—3,0 л/сек. с 1 км²). Здесь многочисленные водоносные горизонты не выдержаны по простиранию и имеют переливной характер, что объясняется фациальной изменчивостью водоносных и водоупорных прослоев, а в районах тектонических нарушений — трещиноватостью пород. В отдельных же случаях это обусловлено карстовыми процессами. Все эти факторы способствуют перемещению грунтовых и подземных вод из вышележащих стратиграфических горизонтов в нижележащие и снижают величину модулей подземного питания, несмотря на хорошую обеспеченность этого района подземными водами и значительную глубину вреза речных долин. Так, например, низкие модули (от 0,0 до 0,5 л/сек. с 1 км²) подземного питания отмечаются в верхнем течении р. Мочегай и его притоков, прорезающих отложения аманакской и сокской свит. Воды аманакской свиты часто рекой не дренируются, а поступают в отложения большекинельской свиты и просачиваются в слабые песчаники и песчанистые глины нижележащих толщ. В остальных случаях при выдержанных водоупорах и благоприятных для инфильтрации влаги почвенно-геологических условиях величина модулей возрастает от 3 до 5 л/сек. с 1 км² (нижнее течение р. Мочегай, р. Зиганнек и др.).

От высотного расположения водоносных горизонтов относительно русла рек, их выдержанности и мощности зависит и густота речной сети, величина которой довольно значительно изменяется в пределах бассейна р. Самары (рис. 5). Наибольшие ее значения (0,4—0,5 км/км²) приурочены к северо-западной и западной частям бассейна (правобережье р. Б. Кинель, верхняя часть бассейна р. Ток), т е. к районам с высокими модулями подземного питания (до 3,0 л/сек с 1 км² и выше).

В верхней части бассейна р. Мочегай и в бассейне р. Бугурусланки густота речной сети снижается до 0,0—0,1 км/км², что связано

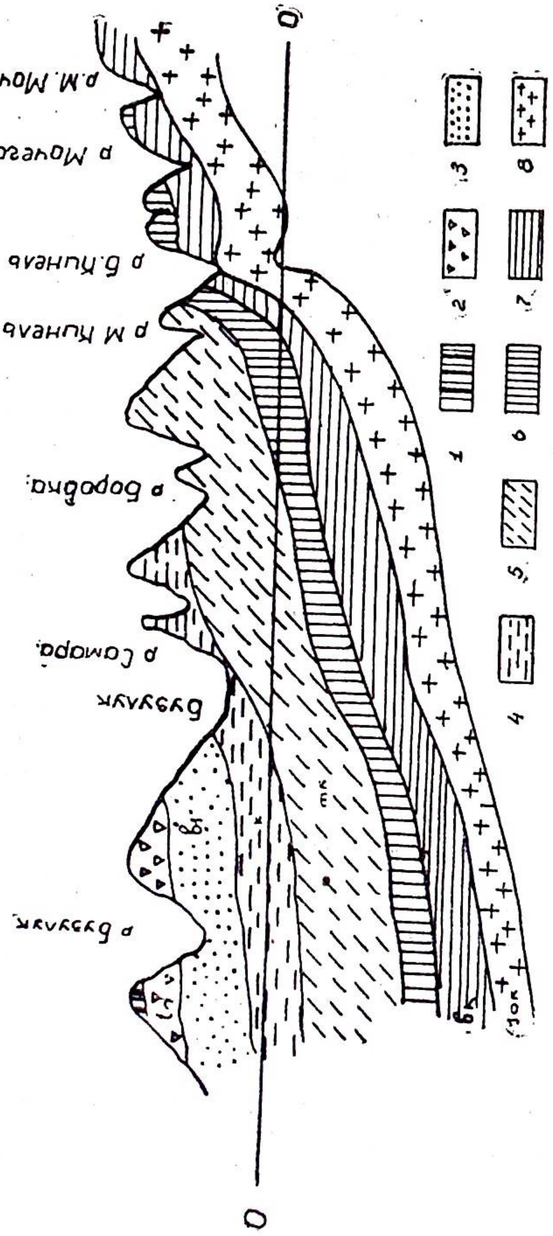


Рис. 4. Геологический профиль по линии *AB*. Составлен по материалам геологических отчетов.

1. Батский ярус — J_3^{bat}. 2. Танаыкская свита — T_1 tn. 3. Бузулукская свита — Tbs. 4. Кутулукская свита — P_2^{tat}kut • 5. Малокинельская свита — P_2^{tat}mk. 6. Аманакская свита — P_2^{tat}am. 7. Большекинельская свита — P_2^{tat}bk • 8. Сокская свита — P_2^{tat}sok.

с невыдержанностью водоносных горизонтов по простиранию и фациальной изменчивостью пород, в результате чего подземные воды имеют здесь переливной характер. Модули подземного питания в этих районах не превышают 0,5 л/сек. с 1 км².

Слабое развитие поверхностных водотоков в южной части бассейна р. Самары и на левых, пологих склонах сыртов (0,15—0,2 км/км²) вызвано исключительно бедностью геологических отложений подземными водами. Юрские и триасовые отложения содержат ничтожное количество водоносных горизонтов, которые не выдержаны по простиранию и очень маломощны по дебиту. Для этой территории характерны также низкие модули подземного питания (от 0,0 до 0,5 л/сек. с 1 км²).

И. Леваковский [13] указывал, что при высокой степени развития речных систем наблюдается более высокая водоносность рек, особенно в период межени. Это явление он совершенно справедливо объяснял тем, что образование речной сети в первую очередь обусловлено стоком не поверхностных, а подземных вод. Густота речной сети увеличивается, по его мнению, в тех районах, которые отличаются высоким положением водоупоров относительно основных местных базисов эрозии и при наличии благоприятных условий для возобновления запасов подземных вод.

В противоположность этой точке зрения М. А. Великанов [7], на основании чисто логических соображений, считает, что при высокой густоте речной сети водоносность каждого водотока будет ниже, чем при малой густоте речной сети, а режим последних более устойчив за счет увеличения продолжительности подземного стока с больших площадей. Это положение не подтверждается в качестве общего, так как основано на ошибочном предположении о равенстве условий подземного питания рек и дренирующего действия осушительных канав, проложенных в однородном грунте.

Реки радиального типа имеют модули подземного питания 0,0—0,25 л/сек с 1 км², так как они стекают с сильно расчлененных склонов возвышенного плато, где делювиальный чехол не содержит водоносных горизонтов, питающих речную сеть.

Такие же низкие значения модулей имеют левые, слабо разветвленные притоки 1-го и 2-го порядка, образующие перистый рисунок. Эти реки текут вкрест простирания и обратно падению стратиграфических горизонтов, а их русла, расположенные на пологих левых склонах речных долин, в редких случаях прорезают коренные породы татарского яруса, юры и триаса. Обычно углубление русла ограничивается песчано-глинистой толщей делювия или зоной контакта современных отложений с коренными. Последние по наклону стратиграфических горизонтов могут даже отводить воды в более южные реки. Поэтому реки этого типа дренируют только верхние, маломощные водоносные горизонты, водоносность которых непостоянна во времени и зависит от количества осадков, а также от инфильтрационных свойств почв и грунтов, что часто обусловливает их пересыхание и незначительную плотность (рис. 5).

В южной части бассейна все левобережные притоки р. Самары (Съезжая, Таволжанка, Винная, Погромка, Сухушка-Суходол и др.) также имеют низкие модули подземного питания (от 0,0 до 0,5 л/сек. с 1 км²), хотя они характеризуются, по сравнению с вышерассмотренными, бо́льшим развитием речных систем и значительной глубиной эрозионного вреза.

Это связано с тем, что южнее р. Самары наиболее древние породы татарского яруса (сокская, большекинельская и кутулукская свиты), содержащие водоносные горизонты, опускаются ниже уровня современной реки (рис. 4), а песчано-глинистые толщи триасовых

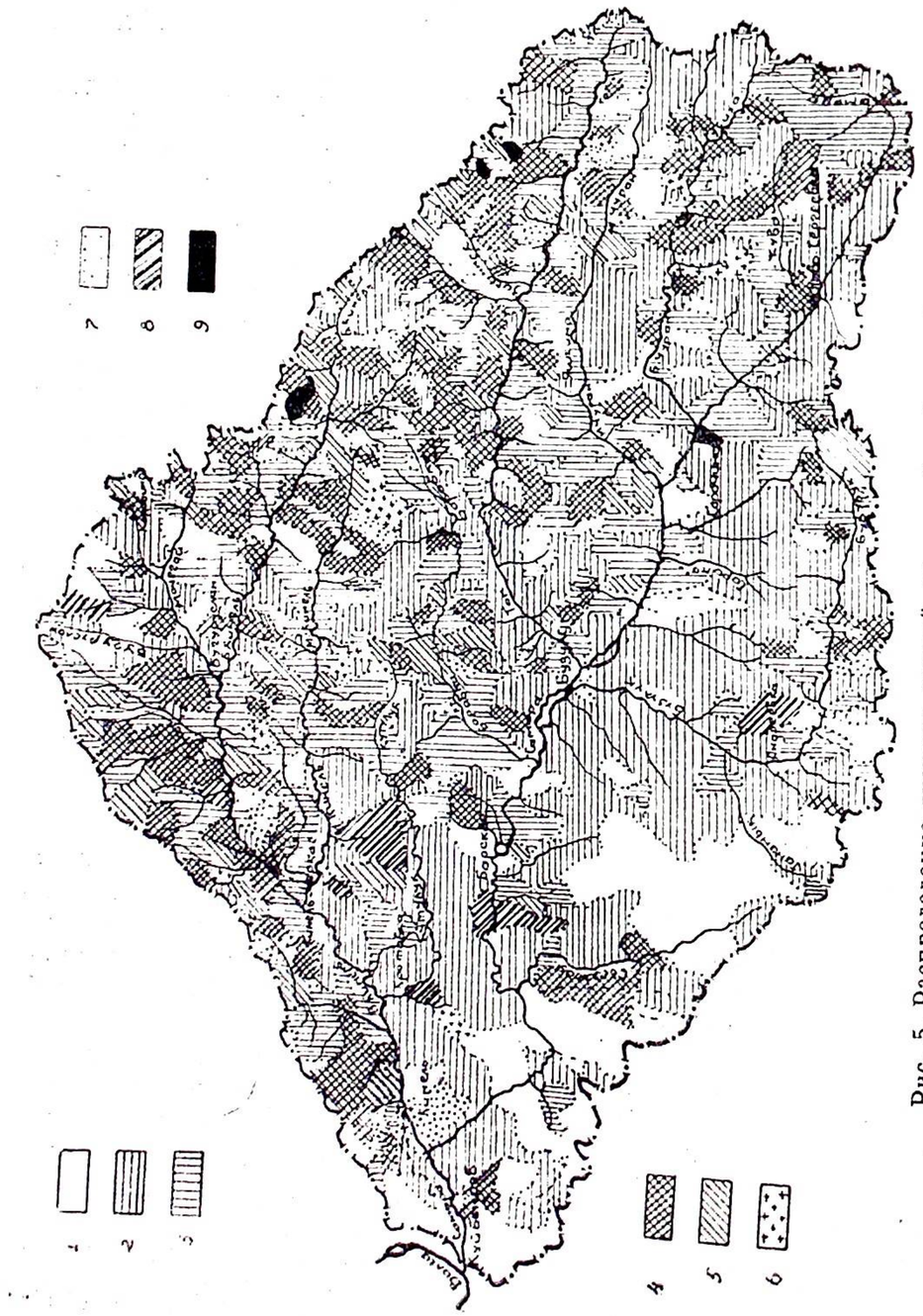


Рис. 5. Распределение густоты речной сети по бассейну р. Самары.

Коэффициент густоты речной сети определен для элементарных бассейнов [21] и выражен отношением длины речной сети в километрах к площади бассейна в квадратных километрах (км/км²).
1. 0.0–0.1; 2. 0.1–0.2; 3. 0.2–0.3; 4. 0.3–г.4;
5. 0.4 до 0.5; 6. 0.5–0.6; 7. 0.6–0.8; 8. 0.8–1.0;
9. 1.0–1.2. Составлено по карте м – 1 : 300000.

и юрских отложений отличаются маломощностью водоносных горизонтов, их слабой водообильностью и переливным характером.

Глубина эрозионного вреза рек как для данного района, так и для всех рек бассейна р. Самары на величину подземного питания большого влияния не оказывает, в чем можно убедиться из следующих примеров. Так, в среднем течении р. Б. Кинель глубина эрозионного вреза достигает 60—80 м и повышается на отдельных участках до 100 м и более, а модули подземного стока не превышают 0,5 л/сек. с 1 км². По мере приближения к устью глубина эрозионного вреза снижается до 20 м, в то время как величина модулей увеличивается до 3 л/сек. с 1 км². На правобережных притоках р. Б. Кинель (нижнее течение рр. Мочегай, Тергала) отмечаются также высокие модули подземного питания (3 л/сек. с 1 км²) при малой глубине эрозионного вреза. В верхнем течении р. Мочегай глубина вреза достигает 60 м, а модули снижаются до 0,5 л/сек. с 1 км². В нижнем и среднем течении р. Самары модули подземного питания имеют наибольшую величину (до 5,0 л/сек. с 1 км² и более) при глубине эрозионного вреза до 20 м.

Подобные примеры убедительно показывают, что в бассейне р. Самары глубина эрозионного вреза на величину подземного питания большого влияния не оказывает, так как русла рек и их долины врезаются в геологические отложения чрезвычайно пестрого литологического состава, водоносные горизонты которых не выдержаны по простиранию, располагаются на различных абсолютных отметках и часто расщепляются при этом на многочисленные ответвления или сливаются. Кроме того, широтное расположение долин рек в условиях тектонического падения геологических отложений на юго-запад исключает возможность установить какую-либо зависимость величины подземного питания от глубины эрозионного вреза. К аналогичным выводам для других районов Среднего Поволжья пришел Г. Н. Петров [21].

Одновременно следует отметить, что для мельчайшей речной сети, образующей притоки высшего порядка, в некоторых районах Среднего Поволжья отмечается увеличение подземного питания с увеличением глубины эрозионного вреза этих рек. Однако самые незначительные изменения гидрогеологических условий нарушают эту зависимость даже на соседних реках, при этом только детальные исследования позволяют выяснить истинные причины этого явления.

В свете сказанного нам представляется, что интересные исследования С. Н. Боголюбова и З. П. Богомазовой [2], произведенные в этом направлении, по-видимому, не имеют существенного практического значения, особенно для предлагаемого ими районирования и определения подземного стока неисследованных рек. Их выводы основаны на механическом сопоставлении отметок и водоносности рек на стоковых площадках, а прилегающие более крупные реки по существу выбраны для подтверждения принципа вертикальной гидродинамической зональности. Применение их выводов для практических расчетов инженерной гидрологии нам представляется недостаточно обоснованным.

Произведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Классификация рисунка речной сети по их типам с учетом генезиса рек помогает раскрывать условия формирования меженного стока малых рек.

2. Формирование речной сети и питание ее в межень обусловливаются, главным образом, гидрогеологическим фактором, интегрирующим влияние почв, рельефа, растительности и т. д. в пределах каждого гидрогеологически однородного района.

3. Между размером подземного питания и густотой речной сети существует определенное соответствие. По степени развития речной сети можно судить о водоносности рек. При высокой густоте речной сети отмечается большая величина подземного питания, при низкой — меньшая.

4. Глубина эрозионного вреза речных долин не может служить показателем для определения величины подземного питания. Однако эта гидрографическая характеристика рек при изучении условий формирования стока позволяет решить вопрос об относительном взаимном положении водоносных горизонтов и русел рек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аполлов Б. А. Учение о реках, изд. МГУ, 1952.
2. С. Н. Боголюбов и З. П. Богомазова. О роли подземного питания в годовом стоке рек и временных водотоков. Труды ГГИ, вып. 52 (106), Гидрометеоиздат, 1956.
3. Барков А. С. Словарь-справочник по физической географии. Учпедгиз, 1954.
4. Близняк Е. К. Гидрология и водные исследования. Речиздат, 1946.
5. Богданов А. А. О герцинской структуре западного склона Южного Урала и юго-восточной окраины Русской платформы. Вопросы теоретической и прикладной геологии, сб. 4, 1947.
6. Большая советская энциклопедия, том II, 2-е изд., 1949.
7. Великанов М. А. Гидрология суши, Гидрометеоиздат, 1948.
8. Гужевая А. Ф. Овраги Средне-Русской возвышенности. Материалы по геоморфологии и палеографии СССР, 1948.
9. Давыдов Л. К. Водоносность рек СССР, ее колебания и влияние на нее физико-географических факторов. Гидрометиздат, 1947.
10. Давыдов Л. К. Гидрография рек СССР. Гидрометеоиздат, т. I, 1953, т. II, 1956.
11. Дибнер В. А. Основные закономерности развития гидрографической сети и механизм пенепленизации. Изв. Всесоюзн. Географ. об-ва, № 4, 1950.
12. Докучаев В. В. Наши степи прежде и теперь. Избранные труды. АН СССР, 1949.
13. Леваковский И. Воды России по отношению к ее населению. Труды Об-ва испытателей природы при Харьковском университете, т. XXIII и XXIV. Харьков, 1891.
14. Мазарович А. Н. Основные черты истории рельефа Высокого Заволжья. Землеведение, том XXXII, вып. I и II, 1930.
15. Маккавеев Н. И. К вопросу о процессах формирования речных систем. Материалы по II съезду Географ. об-ва в СССР, Москва, 1954.
16. Наставление по гидрографическим исследованиям рек, озер и болот, ч. I и II. Гидрометиздат, 1944.
17. Огиевский А. В. Гидрология суши. Гидрометеоиздат. 1951.
18. Павлов И. П. О рельефе равнин и его изменениях под влиянием работы подземных и поверхностных вод. „Землеведение", кн. III—IV, 1898.
19. Панов Б. П. Количественная характеристика речной сети. Труды ГГИ, вып. 41 (58), 1948.
20. Пермяков Е. Н. Тектоническая трещиноватость Русской платформы. Изд. Московского об-ва испытат. природы, 1949.
21. Петров Г. Н. Меженный сток и его изучение. (Методика исследований на примере малых рек Среднего Поволжья). Труды КФАН, серия энергетики и водного хозяйства, вып. I, 1956 г.
22. Срибный М. Ф. Гидрология как наука, ее задачи и достижения. Труды Всесоюзн. совещ. по изучению стока, регулированию стока и зимнему режиму. АН СССР, 1954.
23. Соколов А. А. Гидрография СССР. Гидрометеоиздат, 1952.
24. Троицкий В. А. Типы речной сети европейской части СССР. Сб. „Вопросы географии", вып. 13, 1948.
25. Хоментовский А. С. Геологическое строение Чкаловской обл. Уч. записки, серия естественно-географических наук. Чкаловский пединститут, вып. 4, 1947.
26. Щукин И. С. Общая морфология суши, том I. Горно-геолого-нефтяное изд-во, 1933.
27. Эдельштейн Я. С. Основы геоморфологии. Учпедгиз, 1938.
28. Энциклопедический словарь, т. VIII, С. Петербург, 1893.
29. Энциклопедический словарь т-ва Бр. А. и И. Гранат и К°. 7-е изд., том 14, 1908.

ИЗВЕСТИЯ КАЗАНСКОГО ФИЛИАЛА АКАДЕМИИ НАУК СССР
СЕРИЯ ЭНЕРГЕТИКИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Вып. 1 *1957*

Е. М. Зиновьева

К ВОПРОСУ О РАЙОНИРОВАНИИ СЛОЯ СРЕДНЕГО ВЕСЕННЕГО СТОКА НА ТЕРРИТОРИИ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Недостаточная изученность факторов стока и их распределения по бассейнам рек, а также ограниченное число пунктов гидрометрических наблюдений сокращают возможности практических рекомендаций для определения параметров стока неизученных рек и заставляют прибегать к косвенным приемам. В качестве одного из таких приемов исключительное распространение в инженерной гидрологии получили карты изолиний модуля, слоя и других параметров стока.

Составление карт изолиний основано на том допущении, что изменение стока по территории, как и прочих компонентов географического ландшафта, формирующих сток, подчинено только закону широтной зональности и определяется географическими координатами местности. Предполагается, что все эти компоненты изменяются по земной поверхности плавно и непрерывно. Например, если имеем соседние, примыкающие один к другому, лесной и безлесный речные бассейны или бассейны с проницаемыми и непроницаемыми почвами или с любыми иными противоположными показателями, то в центре тяжести каждого бассейна выраженность такого показателя оценивается на одном в 100%, на другом в 0%. Между центрами тяжести их изменение будет происходить по непрерывно и плавно убывающему или соответственно возрастающему арифметическому ряду. Несостоятельность подобных допущений совершенно очевидна.

Применение карт изолиний стока уже давно встречало возражения, особенно среди практических работников, так как не обеспечивало точности, необходимой для проектирования водохозяйственных мероприятий. Тем не менее, эти карты нашли широкое применение, так как формально давали инженеру право получить необходимые характеристики, не прибегая к сложным полевым исследованиям.

Для того чтобы показать, в какой степени могут быть ошибочными инженерные расчеты, основанные на применении карт изолиний, в Отделе энергетики и водного хозяйства Казанского филиала АН СССР было проведено сопоставление карт среднего слоя весеннего стока, составленных Н. Д. Антоновым [1], К. П. Воскресенским [4], Л. Т. Федоровым [16], П. С. Кузиным [2] и И. А. Кузником [5] с фактическими наблюдениями на гидрометрических станциях малых рек Среднего Поволжья (рис. 1). Обращает внимание существенное различие в конфигурации изолиний стока, проведенных разными авторами, хотя они и базируются на одних и тех же материалах наблюдений. Различия между величиной стока по картам с фактическими наблюдениями также значительны.

Научная и практическая несостоятельность карт изолиний стока подробно освещена в работах Б. В. Полякова [13, 14] и Г. Н. Пет-

рова [11]. Наблюдения за стоком на опытных площадках заставили М. И. Львовича [9] прийти к аналогичным выводам. Это дает право не подвергать вопрос детальному рассмотрению и ограничиться некоторыми замечаниями в отношении особенностей формирования и распределения по территории слоя среднего весеннего стока.

Возможность использования карт изолиний для характеристики весеннего стока обычно оправдывается тем, что последний обусловлен исключительно таянием снегозапасов и проходит, как правило, по мерзлой почве, что, как казалось, исключает возможность больших различий в потерях стока. Поэтому влияние других, не климатических факторов предполагалось незначительным. Но даже и в таком, по существу идеальном, случае возможность применения метода прямолинейной интерполяции для определения характеристик стока весьма ограничена.

Анализ карт зимних осадков и запасов воды в снеге убеждает в крайней неравномерности их распределения, которая определяется не столько географической зональностью, сколько комплексом местных физико-географических условий. Распределение снегозапасов имеет не зональный, а пестрый, часто островной характер, что особенно четко прослеживается на крупномасштабных, не схематизированных картах, но достаточно ясно видно даже и на мелкомасштабной карте, например, у М. П. Лейвикова [10].

Размер снегозапасов далеко не всегда определяет величину стока. Нередки случаи, когда после многоснежных зим паводки бывают чрезвычайно низкими и наоборот. Не наблюдается соответствия также между величиной стока и интенсивностью снеготаяния. Исследования показывают, что даже в пределах отдельных частных бассейнов снеготаяние и талый сток проходят с различной интенсивностью в зависимости от преобладающей экспозиции склонов, микрорельефа, уклонов земной поверхности, пересеченности, наличия растительности и многих других факторов. Сказанное является справедливым не только при рассмотрении ежегодных данных, но и средней многолетней величины стока.

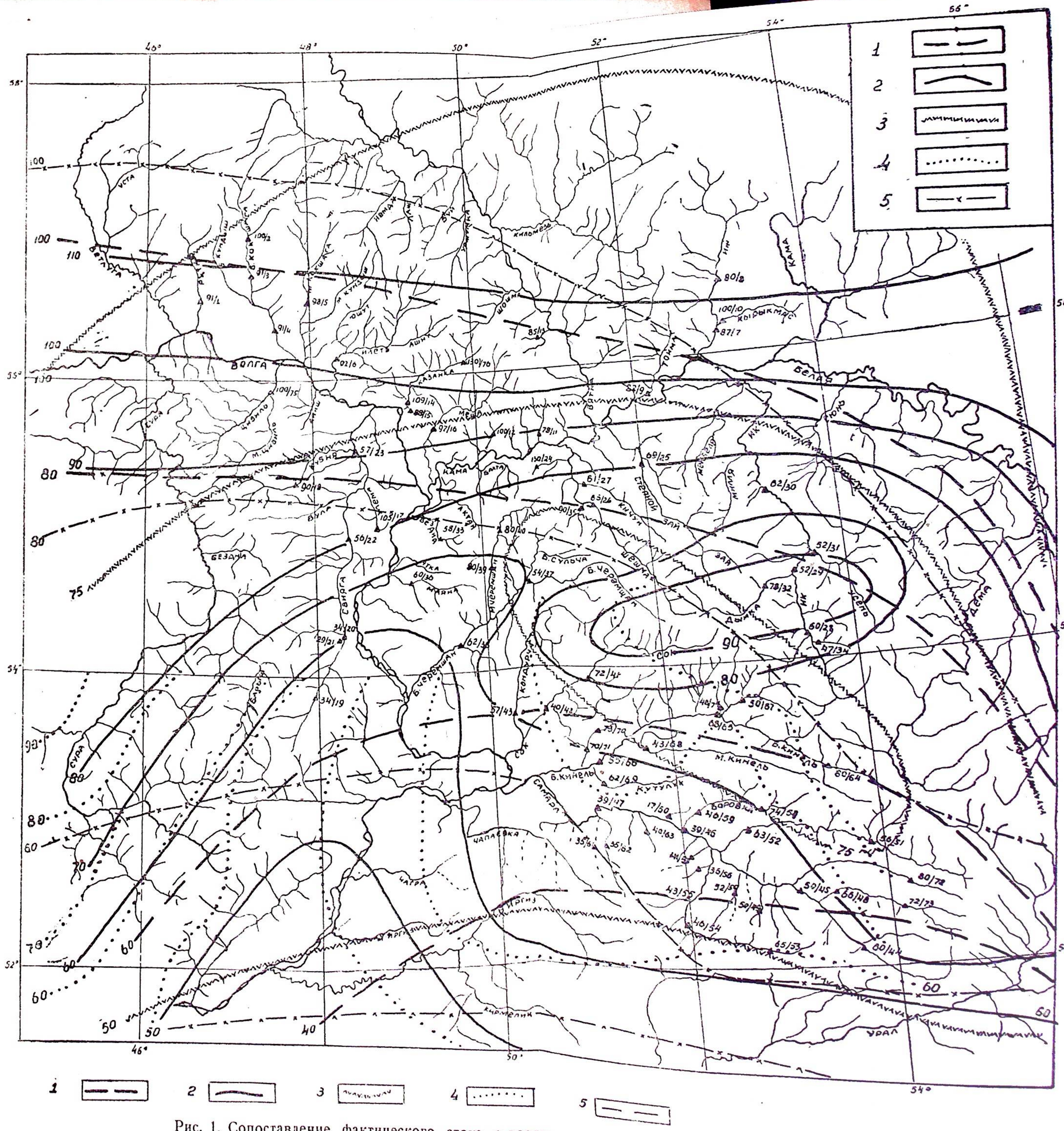
Одним из решающих факторов при формировании стока являются потери на испарение и на инфильтрацию.

Потери стока на испарение по мнению П. Ф. Идзона [6], В. Д. Комарова [7] и др. практически невелики и мало различаются по территории. Е. Г. Попов [15] также подтверждает вывод о малых размерах потерь талого стока на испарение, но при этом недостаточно обоснованно ограничивает возможность испарения только водной поверхностью, которая, по его мнению, в период снеготаяния и половодья занимает незначительную часть территории, а продолжительность снеготаяния весьма ограничивает во времени. Н. В. Бова [3] и О. С. Познышев [12], наоборот, указывают на возможность больших потерь на испарение с поверхности снега, что подтверждают данными фактических наблюдений.

По нашему мнению при оценке возможного размера потерь на испарение в период снеготаяния необходимо учитывать:

1) большую продолжительность снеготаяния, которое часто начинается при отрицательных среднесуточных температурах и проходит за счет положительных максимальных температур воздуха и солнечной инсоляции, особенно при наличии оранжерейного эффекта;

2) возможность значительных потерь на испарение с поверхности снега (как, например, в 1956 году), с водной поверхности не глубоких, а поэтому сильно прогреваемых, проточных и непроточных луж, занимающих все проталины, а затем, в процессе таяния, увеличивающихся до 50—70% площади водосбора и, наконец, с поверхности переувлажненного грунта;


1
2
3
4
5
46°
48°
50°
52°
54°
56°
58°
55°
54°
52°
ВОЛГА
КАМА
ВЯТКА
УСТА
ВЕТЛУГА
ВЯТКА
ШОША
ТОНШ
БЕЛАЯ
ВЕЛЬЯ
ВЯЛКА
ВЯЛКА
ВЕЗЛОМА
ВЕЗЛОМА
ЧЕРЕМШАН
Б. ЧЕРЕМШАН
СОК
САМАРКА
ЧАПАЕВКА
ЧАГРА
ИРГИЗ
КИНЕЛЬ
Б. КИНЕЛЬ
М. КИНЕЛЬ
УРАЛ
ДЕМА
ЗАЙ
ЗЫЙ
ЗЫЙ
ЗЫ

3) влажность воздуха, которая обычно в период снеготаяния находится в пределах 70—90%, а в отдельные периоды опускается до 30 и даже 10%, что неизбежно приводит к большим потерям на испарение.

Возможность потерь на испарение в период снеготаяния с поверхности снега, воды и почвы подтверждается визуальными наблюдениями и подсчетами по формуле П. П. Кузьмина [8]. Последние показывают, что потери на испарение со снега в отдельные годы могут достигать больших величин, например, по ст. Казань до 30 мм (1936 г.), а по ст. Бузулук до 60 мм (1934 г.).

Следовательно, при расчетах и анализе весеннего стока нельзя пренебрегать потерями на испарение только на том основании, что отсутствуют достаточные инструментальные наблюдения за их величиной. Вместе с тем надо учесть и то, что их размер зависит не только от географических координат, но в значительной степени от местных условий, а именно: характера распределения снежного покрова, микрорельефа местности, экспозиции, особенностей поверхностного стока и т. д.

Потери талого стока на фильтрацию также зависят от многих местных условий: наличия избыточного увлажнения как в снежной толще, так и на проталинах, от влажности, промерзания и физических свойств почвенного покрова, наличия трещин в почве, интенсивности и продолжительности таяния, аккумулирующей способности микрорельефа, которая, в свою очередь, зависит от объема стока и т. п. Распределение всех этих факторов по территории весьма неравномерно и определяется не географическими координатами, а чаще всего приурочено к отдельным, резко-ограниченным почвенно-грунтовым, растительным и прочим районам.

Это дает основание предпочесть для характеристики распределения стока не изолинии, а площадное картирование, которое позволит полнее отразить те или иные местные особенности формирования стока в отдельных бассейнах. В соответствии с действительными условиями стока в этом случае может наблюдаться резкое изменение его величины в соседних районах.

Для более надежного районирования параметров весеннего стока в соответствии с действительной сменой физико-географических факторов следует изменить схему изучения стока, как предлагает Г. Н. Петров [11]. Однако в этом случае необходимо некоторое время для накопления материала по дополнительным гидрометрическим пунктам. При существующей же изученности водного режима можно применить предложенную им схему определения слоя весеннего стока неизученных рек в следующей последовательности.

1. Выделение основных физико-географических факторов стока, из числа тех, главным образом, которые могут быть выражены в численной форме и достаточно хорошо картируются. При этом, однако, не должно быть стандартного подхода. Для некоторых районов, при существующем сочетании стокообразующих факторов, в качестве основных могут быть приняты одни факторы; для других районов, при ином их сочетании или качественном изменении отдельных факторов — другие. Так, например, сток будет иметь различную величину в зависимости от того, проходит ли он по мерзлой, сухой или переувлажненной почве. Следовательно, степень увлажнения, казалось бы, должна явиться одним из основных факторов. Однако, независимо от степени увлажнения почвы при наличии морозобойных трещин и трещин усыхания, величина стока в значительной степени зависит от интенсивности снеготаяния. При быстром таянии значительная часть стока поглощается трещинами, при замедленном же таянии

они смыкаются и величина стока возрастает за счет сокращения потерь на инфильтрацию.

2. Составление характеристик распределения основных физико-географических факторов по бассейнам изученных и неизученных в гидрометрическом отношении рек.

3. Сопоставление этих характеристик с параметрами стока для выяснения влияния на сток если не каждого отдельного фактора, то определенного комплекса их. Количественное соотношение между величиной стока и некоторыми стокообразующими факторами для определенных географических ландшафтов может быть установлено путем построения коррелятивных зависимостей.

Наличие достаточно подробного материала, характеризующего физико-географические условия каждого конкретного бассейна, позволит полнее использовать и имеющийся гидрометрический материал. В частности, для тех рек, где имеется несколько гидрометрических пунктов, может быть использован метод разности, что даст возможность уточнить величину стока с отдельных частных площадей и выявить роль местных факторов.

Следует учесть, однако, что роль различных не климатических факторов в формировании стока, в свою очередь, часто определяется метеорологическими условиями. Так, например, величина аккумулированного стока в известной степени зависит от размера самого стока. При малой его величине потери стока на аккумуляцию могут быть близкими к 100%; с увеличением стока уменьшается и относительная величина потерь. Сказанное справедливо как для отдельных лет, так и для средних многолетних условий при оценке стока в различных районах. Это обстоятельство затрудняет выяснение роли физико-географических факторов, которая может изменяться в соответствии с различиями метеорологической обстановки каждого района.

Для обоснованного решения задачи необходимо ограничить рассматриваемую территорию однородностью климатических условий.

Под однородностью, в данном случае, не следует понимать полное тождество всех климатических компонентов, что, вообще говоря, почти невозможно, а лишь такое распределение их, которое не дает оснований для вывода о закономерном, одностороннем изменении их в пределах рассматриваемой территории под влиянием местных факторов, а средние значения климатических характеристик варьируют в небольших пределах и беспорядочно. В этом случае можно считать, что различия значений стока для данной территории будут определяться только влиянием относительно постоянных, местных факторов, которые и обусловливают индивидуальные особенности режима отдельных малых рек.

Исследования показывают, что средняя многолетняя величина потерь талого стока и слоя весеннего стока находятся также в соответствии с типом почв и геологическим строением. Для определения среднего весеннего стока по бассейнам рек, неизученных в гидрометрическом отношении, было бы целесообразно установить коррелятивные зависимости с числовыми характеристиками почв. Последние, по-видимому, должны отражать водно-физические свойства почв. К сожалению, такие почвенные карты, которые давали бы подобные характеристики, отсутствуют. При исследовании стока малых рек Среднего Поволжья за показатель водно-физических и, в первую очередь, инфильтрационных свойств почв принята густота овражно-речной сети. В соответствии с учением В. В. Докучаева и В. Р. Вильямса, которое подтверждается исследованиями ряда других авторов, овраги развиваются на почвах, утративших свою структуру под влиянием естественного развития процесса почвообразования или под воздействием неурегулированной сельскохозяйственной деятельности человека.

Простое сопоставление почвенных карт и карт густоты овражной сети показывает, что в районах с преобладанием пылеватых, бесструктурных, раздельночастичных почв, характеризующихся низкими инфильтрационными свойствами, наблюдаются высокие значения коэффициента густоты гидрографической сети. Объясняется это тем, что в таких районах создаются благоприятные условия для увеличения поверхностного стока, который и приводит к развитию процессов эрозии.

При высокой густоте овражно-речной сети происходит расчленение крупных речных бассейнов на большее число мельчайших, благодаря чему сокращается протяженность и продолжительность плоскостного и мелкого ручейкового стока и, тем самым, уменьшается возможность потерь на инфильтрацию и испарение. Наблюдения и подсчеты показывают, что при одинаковых уклонах, только за счет различий в коэффициентах шероховатости и глубинах потоков, скорость течения воды находится, примерно, в следующих пределах: в снежной толще — менее 0,0005 м/сек, тонким слоем по поверхности почвы — около 0,005 м/сек, в мельчайших ручейках, по бороздкам и промоинам — 0,015 м/сек, во временном русле оврага — около 1,0 м/сек. и в речном русле — почти до 2 м/сек.

Для рек лесостепной зоны зависимость между величиной слоя стока и коэффициентом густоты гидрографической сети достаточно хорошо выражена и характеризуется высоким коэффициентом корреляции, равным 0,87. Следует иметь в виду, однако, что единой, однозначной зависимости между стоком и изрезанностью для всех географических ландшафтов может не быть.

В некоторых случаях, при повышенной изрезанности, овраги могут играть и противоположную роль, способствуя аккумуляции снега и замедлению его таяния. Особенно в затененных оврагах талые воды могут в значительной своей части поступать на увеличение меженного стока вследствие увеличения потерь на инфильтрацию в дно и склоны оврага.

В степных районах отсутствие оврагов не показательно для характеристики стока и объясняется особенностями водно-физических свойств почвенного покрова, который, до недавнего прошлого, был надежно защищен от размыва степной растительностью, образовавшей прочную дернину. Черноземные почвы этого района находятся в стадии развития сухой степи. Они отличаются слабой водопрочностью своей структуры и поэтому, при избыточном увлажнении, приобретают свойства водонепроницаемости. На этих почвах, даже при затяжном характере снеготаяния, потери талого стока ограничиваются увлажнением почвенного покрова и коэффициент стока будет высоким.

Одним из важных дополнительных условий, способствующих более правильному и обоснованному районированию весеннего стока, является детальное изучение формирования меженного стока на рассматриваемой территории.

Как известно, меженный сток формируется за счет потерь талого стока на инфильтрацию, которые являются основным источником питания подземных вод [11]. Процесс движения их к руслам рек происходит, в большинстве случаев, медленно и занимает иногда много лет; поэтому совершенно очевидно, что сопоставление ежегодных значений потерь талого стока с размерами меженного стока не всегда будет показательным и более успешно вопрос может решаться для средних многолетних значений. При отсутствии периферийного или вертикального притока или оттока грунтовых вод,

или при условии их учета, интенсивность подземного питания может рассматриваться в качестве одного из объективных показателей при определении и районировании весеннего стока.

В качестве примера соответствия между подземным питанием и весенним стоком может служить бассейн р. Свияги. В верхней его части величина весеннего стока мала и составляет в среднем около 30 мм, а средняя величина подземного питания — около 1,5—2,0 л/сек с 1 км². В нижней части бассейна слой весеннего стока увеличивается до 100 мм и более, а подземное питание уменьшается и не превышает 0,5 л/сек с 1 км².

Исходя из изложенных принципов, проведено районирование среднего слоя весеннего стока на территории Среднего Поволжья (рис. 2).

Рассматриваемый район удовлетворяет указанному выше требованию об однообразии климатических условий за период изучения стока. Анализ карт распределения осадков холодного периода для данной территории показал, что колебания их происходят в значительных пределах, а именно — от 80 до 180 мм. Однако эти крайние значения не могут считаться характерными, поскольку отмечаются как единичные, крайне редкие случаи.

Довольно отчетливо выделяются две небольшие области с несколько пониженными значениями осадков, а именно: а) междуречье Волги, Камы, Вятки, в пределах бассейнов рек Казанки, Меши и др., где сумма осадков не превышает 100 мм; б) северный склон Бугульминско-Белебеевской возвышенности в пределах нижней части бассейна р. Ик и ее притоков — 80 мм.

Наибольшие значения осадков отмечаются на станциях, расположенных на северной границе рассматриваемой территории, но, вместе с тем, встречаются также и на юге (южный склон Сокско-Кинельского водораздела, район Бузулукского бора — 150 мм и др.). Для большей же части территории осадки распределяются достаточно равномерно в пределах 110—130 мм.

Следует отметить, что районы повышенных и пониженных осадков не согласуются с величиной стока. Наоборот, в районе с меньшими осадками (бассейны рек Казанки, Меши) наблюдается высокий поверхностный сток. В районе Бузулукского бора, при максимальной величине осадков, наблюдается наименьшая величина стока — 20 мм. Для всей прочей территории, несмотря на равномерное распределение осадков, величина стока изменяется в широких пределах от 20 до 150 мм.

В распределении высоты снежного покрова также не наблюдается закономерности. Большие пределы изменчивости ее от 20 до 90 см свидетельствуют лишь о чрезвычайно неравномерном распределении снежного покрова.

Аналогичная картина наблюдается и в отношении распределения других метеорологических характеристик (температур, сроков схода снежного покрова, наступления положительных температур и др.).

Характеристика распределения слоя весеннего стока по малым рекам Среднего Поволжья дана на основании наблюдений в 76 гидрометрических створах (рис. 1, таблица 1). Продолжительность наблюдений в этих пунктах различна — от 1 до 25 лет. Наблюдения с продолжительностью менее 20 лет приведены к норме, за которую принят слой стока 50% обеспеченности.

В качестве показателей для районирования стока использованы следующие компоненты географического ландшафта:

1) густота овражно-речной сети,
2) интенсивность подземного питания,
3) характеристика почвенного покрова.

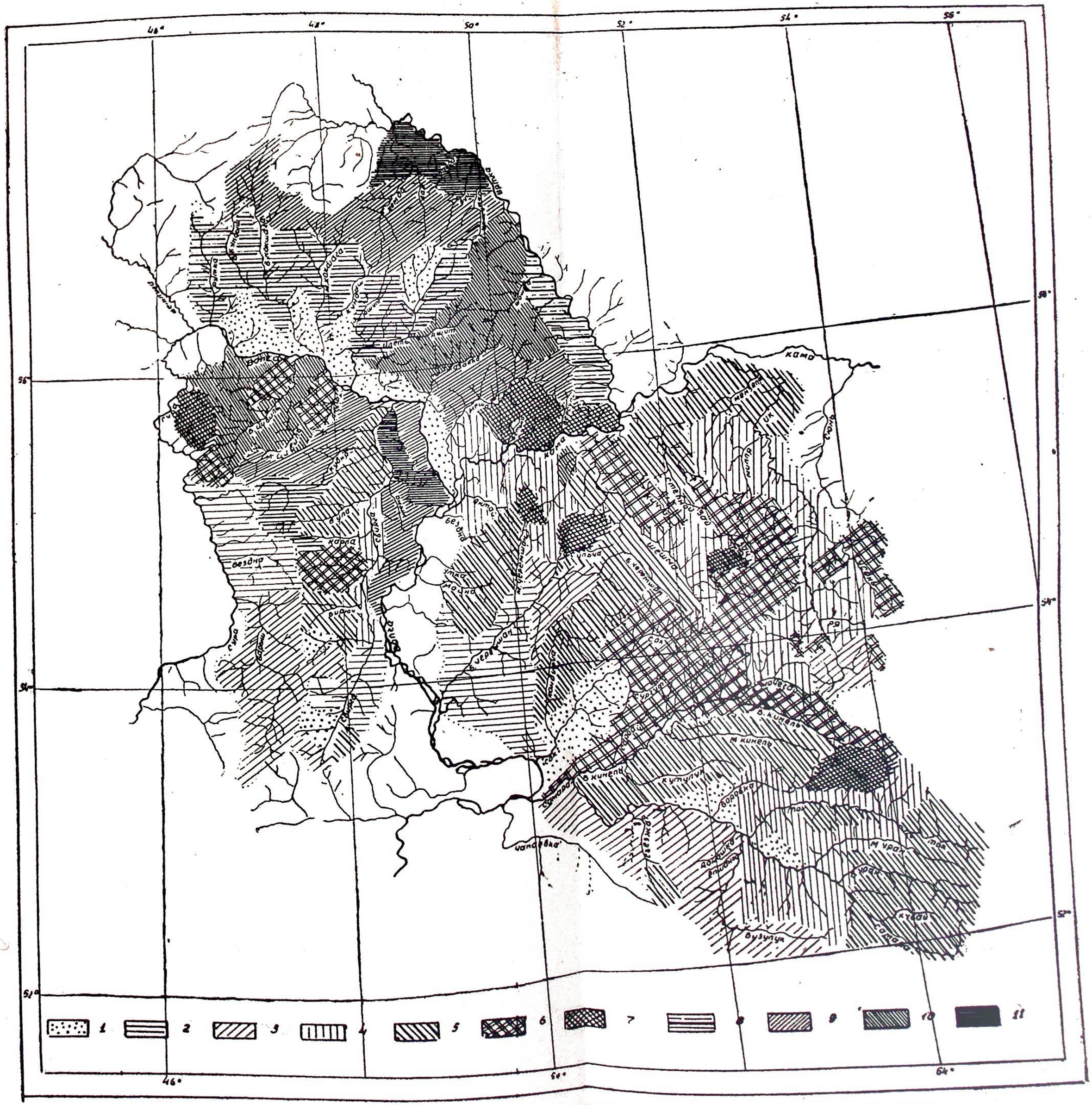


Рис. 2. Карта распределения весеннего стока 50% обеспеченности на территории Среднего Поволжья.

Слой стока: 1 — 20 мм; 2 — 30 мм; 3 — 40 мм; 4 — 50 мм; 5 — 60 мм; 6 — 70 мм; 7 — 80 мм; 8 — 90 мм; 9 — 100 мм; 10 — 110 мм; 11 — 150 мм.

Кроме того, учитывались: преобладающие уклоны земной поверхности; лесистость (только как показатель почвенного покрова); характеристика микрорельефа; геологическое строение.

Таблица 1

№№ п/п	Река	Станция	Площадь водосборного бассейна в км²	Слой весеннего стока 50% обеспеченности в мм	Суммарный коэффициент густоты гидрографич. сети в км/км²	% лесистости
1	Рутка	Арбуч	1440	91	0,46	67
2	Б. Кокшага	Санчурск	2160	100	0,55	34
3	„	Аргамач	3060	91	0,52	41
4	„	Гришкино	5680	91	0,45	56
5	М. Кокшага	Куяр	2660	98	0,39	37
6	Илеть	Красногорский з-д	5960	92	0,50	54
7	Иж	Леб. Озеро	7620	87	0,46	37
8	„	Агрыз	3910	80	0,42	54
9	Тойма	Гусевка	1335	82	0,48	10
10	Кырыкмас	Канада	2060	100	0,58	13
11	Берсут	Урманчеево	448	78	0,54	47
12	Бетька	Еловая Пановка	145	100	0,51	16
13	Нурминка	Монзарас	110	85	0,67	2
14	Казанка	Б. Дербышки	2320	109	0,76	12
15	Нокса	М. Дербышки	210	88	0,51	6
16	Меша	Обухово	3840	97	0,46	17
17	Улема	Нарманка	180	105	0,60	11
18	Кубня	Чутеево	905	90	0,40	35
19	Свияга	Порецкое	1436	34	0,47	25
20	„	Вырыпаевка	3635	34	0,36	22
21	Грязнушка	Вырыпаевка	117	29	0,28	15
22	Свияга	Ивашевка	8275	56	0,39	14
23	„	Бурундуки	13585	57	0,43	11
24	Толкишка	Змеевск. Новоселки	130	106	0,47	неизв.
25	Ст. Зай	Заинск	2900	69	0,46	14
26	Шешма	Петропавловка	3120	66	0,45	22
27	Кичуй	Утяшкино	1220	61	0,53	34
28	Ик	Кулбаево	3690	60	0,36	5
29	Ик	Апсалямово	7200	52	0,38	11
30	Ик	Нагайбак	12180	62	0,40	12
31	Усень	Туймазы	2320	52	0,46	21
32	Дымка	Тат. Дымская	520	78	0,45	8
33	Бездна	Никольское	520	58	0,41	6
34	Ря	Рятамак	752	47	0,44	7
35	Секинесь	Кр. Октябрь	270	90	0,44	9
36	Майна	Плуг	1370	60	0,33	23
37	Б. Черемшан	Солдакаево	2620	54	0,41	11
38	„	Мелекесс	11670	62	0,29	24
39	М. Черемшан	Камкино	1850	80	0,31	22
40	„	Абалдуевка	1230	80	0,32	20
41	Сок	Сургут	4833	72	0,37	15
42	„	Гундоровка	5575	40	0,35	13,5
43	Кондурча	Украинка	4135	57	0,39	6,9
44	Самара	Ново-Сергиевка	1365	60	0,27	0,8
45	„	Первомайское	5869	50	0,27	0,50
46	„	Елшанка	22706	39	0,27	2
47	„	Максимовка	28645	39	0,29	4,6
48	Б. Уран	Ивановка	2134	66	0,24	0
49	Сорока	Марковка	223	50	0,18	1
50	Погромка	Жидиловка	538	52	0,25	0
51	Ток	Красноярка	2579	56	0,32	0,16
52	„	Ероховка	5393	63	0,34	0,6
53	Бузулук	Шестаковка	187	65	0,24	неизв.

Продолжение табл. 1

№№ п/п	Река	Станция	Площадь водосборного бассейна в км²	Слой весеннего стока 50% обеспеченности в мм	Суммарный коэффициент густоты гидрографич. сети в км/км²	% лесистости
54	Бузулук	Байгоровка	1818	46	0,25	0,7
55	Тананык	Родионовка	1050	43	0,29	0
56	Елшанка	Водохранилище	212	36	0,25	0
57	Домашка	»	233	41	0,38	0
58	Боровка	Якутино	650	74	0,46	14
59	»	Паника	1991	46	0,37	22
60	Колтубанка	Лес.	169	17	0,28	83,6
61	Ветлянка	Кулешево	289	35	0,37	0
62	Съезжая	Максимовка	1600	35	0,34	0
63	Таволжанка	Н. Алексеевка	381	40	0,32	0
64	Б. Кинель	Азаматово	896	80	0,47	0,4
65	»	Бугуруслан	5907	68	0,43	5,2
66	»	Тимашево	11757	55	0,39	10
67	Мочегай	Октябрьское	1503	50	0,35	9,5
68	М. Кинель	Полудни	2223	43	0,30	3,5
69	Кутулук	Водохранилище	852	62	0,37	7,7
70	Сарбай	Сарбай	357	73	0,50	7,3
71	Сарбай	Н. Михайловка	605	70	0,49	неизв.
72	М. Уран	свх. им. Свердлова	1100	80	0,23	0
73	Б. Уран	Логачевка	1158	72	0,21	0
74	Турхановка	Бугуруслан	95	48	0,49	0,49
75	Цивиль	Тувси	4070	100	0,57	17,4
76	Казанка	Арск	630	(130)	0,73	19

Примечание к таблице 1: 1) слой весеннего стока 50% обеспеченности определен для периода с 1930—1932 гг. по 1952—1954 гг., 2) для станций с меньшей продолжительностью периода наблюдений, слой стока 50% обеспеченности определялся по связи с постом-аналогом, за который принимали станцию, имеющую наибольшую синхронность в величине слоя стока и расположенную в аналогичных климатических условиях, 3) подземное питание из объема весеннего стока не исключалось, так как для малых рек оно составляет небольшую величину по сравнению с весенним стоком (по исследованиям Б. И. Куделина и других подземное питание за этот период снижается до нуля).

При оценке значений стока тех или иных районов, величина стока в замыкающих створах, характеризующих бассейны с неоднородным распределением факторов стока, использовалась только в качестве контроля правильности районирования стока по всему бассейну. Для частных бассейнов, в этом случае, величина стока определялась по аналогии с учетом перечисленных выше факторов.

На карте распределения среднего весеннего стока (рис. 2) обращает внимание большое изменение значений стока даже в пределах отдельных небольших речных бассейнов.

Весьма показательным в этом отношении является бассейн р. Свияги, где величина стока изменяется от 20 мм в верховьях до 150 мм в низовьях, что соответствует смене условий формирования стока. В верхней части бассейна преимущественное распространение черноземных почв легкого механического состава (песчаные и супесчаные, материнскими породами которых являются рыхлые песчаники, реже мергели, опоки и мел), мягкий равнинный рельеф, низкие уклоны земной поверхности, слабое развитие гидрографической сети обеспечивают значительные потери талого стока.

Правобережная часть этого бассейна характеризуется подзолистыми почвами, расположенными на глинах татарского яруса и тяжелых суглинках делювия, значительными уклонами земной поверхности, высокой степенью развития гидрографической сети, что создает

благоприятные условия для стока талых вод (150 мм) и незначительных его потерь.

В средней и нижней левобережной частях бассейна потери также невелики вследствие преобладания тяжелых глинистых и суглинистых почв. Некоторое увеличение потерь по сравнению с правобережной частью обусловлено значительно более спокойным рельефом, наличием лесных участков и слабым проявлением карста (р. Кубня).

С точки зрения условий формирования стока наиболее своеобразен район, включающий часть бассейнов рек Марийской АССР: средняя часть бассейнов рек Рутка, Бол. и Мал. Кокшага. Почти вся площадь его занята лесным массивом с преобладанием хвойных насаждений. Почвы слабо-дерновые, преимущественно песчаного и супесчаного механического состава. Суммарная изрезанность составляет 0,3—0,5 км/км² и обусловлена развитием речной сети. Овраги отсутствуют. Резко выражен барханно-дюнный рельеф. Все эти условия свидетельствуют о возможности образования больших потерь талого стока. Тем не менее величина его, согласно наблюдениям, составляет около 90 мм. Такое несоответствие между внешними показателями факторов стока и его величиной объясняется возможностью образования внутригрунтового стока, который обусловлен наличием в рыхлых отложениях песков и галечников водоупорных прослоев суглинков и сцементированных песков. Развитая речная сеть, неглубокое и чашеобразное залегание водоупорных горизонтов коренных отложений, опускающихся с отрогов Вятского вала и несколько приподнятых у русла Волги, способствуют выклиниванию в русла рек поглощенных почвой талых вод. Поэтому несколько увеличивается продолжительность паводка, но объем его остается высоким, как и объем меженного стока.

В верхней части бассейнов указанных рек условия формирования стока иные. Значительная площадь занята преимущественно еловым лесом. Почвенный покров представлен светло-серыми и серыми лесными оподзоленными почвами, средне и легкосуглинистыми на плотных глинах и суглинках. Водопроницаемость таких почв незначительна, тем более, что с осени они достаточно увлажнены. Густота гидрографической сети довольно высокая, но также за счет речной сети. Овражная сеть локализирована по отдельным малым бассейнам. Показателем высокого стока в данном районе является низкая величина модуля подземного питания.

Высокие значения слоя весеннего стока отмечены также в междуречье рек Волги, Камы и Вятки, куда входят бассейны рек Казанки, Меши и ряда малых притоков Вятки и Камы. По характеру рельефа, почвенного покрова и другим факторам стока район относится к области малых потерь талого стока. Оподзоленные глинистые и тяжелосуглинистые почвы, чрезвычайно высокая изрезанность, в основном овражная, создают весьма благоприятные условия для быстрого и интенсивного стока талых вод. Однако в пределах указанной территории значения стока несколько изменяются в зависимости от некоторых местных особенностей. Так, например, меньшая величина стока в бассейне р. Меши обусловлена наличием на водораздельных пространствах плоских суффозионных понижений, которые увеличивают потери на аккумуляцию.

Территория Закамья, включающая бассейны рек Ик, Зай, Шешма и др., наиболее сложна по характеру распределения основных стокообразующих факторов: разнообразный рельеф, неравномерное распределение уклонов земной поверхности, различная степень изрезанности и залесенности. Тем не менее, амплитуда изменчивости значений стока для данной территории невелика — 50—80 мм. В основном, почти для всей территории Закамья характерно преобладание раз-

личных категорий черноземных почв, среди которых имеются и небольшие площади лесных оподзоленных почв. Мощность почвенного покрова, как правило, невелика и поэтому в тех случаях, когда подстилающие породы достаточно водопроницаемы (например, выветрелые мергели и песчаники), потери талого стока увеличиваются. Там, где материнскими породами являются глины и тяжелые суглинки, возможность больших потерь исключается и соответственно увеличивается сток (левобережная часть бассейна р. Шешмы).

В ряде случаев большое значение в формировании стока имеет геологическое строение местности, например, в верхней части бассейна р. Ик. Эта часть бассейна характеризуется низкими значениями коэффициента густоты овражно-речной сети, малыми уклонами земной поверхности. Маломощные карбонатные черноземы (10—20 см толщиной), расположенные на разрушенных слоистых мергелях, обладают высокой инфильтрационной способностью. При таких условиях можно ожидать весьма низких значений слоя весеннего стока. Однако, в действительности он достаточно высок (50—60 мм).

Относительно высокий весенний сток в этом районе объясняется тем, что, несмотря на большие инфильтрационные потери талого стока в почво-грунты, часть этих вод, по достижении высокорасположенных водоупоров, поступает по наклону их кровли в русла рек интенсивным внутригрунтовым стоком (по разрушенной, до состояния щебенки, толще мергелей, слоистым песчаникам и т. д.) еще в период прохождения паводка. В местах разрушенных водоупоров или при наличии верхних водоносных горизонтов переливного типа, часть поглощенных вод поступает в более глубокие водоносные горизонты, которые обеспечивают подземное питание притоков высших порядков. Основные реки бассейна, прорезая безводные толщи пермской системы, почти не получают подземного питания и расход их формируется только за счет притоков высших порядков [11]. Подтверждением правильности этой схемы формирования весеннего стока является и то, что большинство притоков высшего порядка в истоках имеют пересыхающие участки рек, которые только ниже, при пересечении постоянного водоносного горизонта, становятся водоносными.

В бассейне р. Самары величина стока изменяется в пределах от 20 до 80 мм. Наименьшие значения относятся к бассейну р. Колтубанки, нижней части р. Боровки и небольшой площади между реками Бол. Уран и Ток. Почти весь этот район покрыт лесом, преимущественно хвойным, на песчаных почвах, водопроницаемость которых весьма высокая, что обеспечивает большие потери талого стока. Водоупорные горизонты расположены глубоко, на контакте четвертичных песков и коренных отложений и имеют общее направление падения на юг. В результате этого неглубоко врезанное русло р. Колтубанки и ряда мелких притоков не дренируют эти воды и модули подземного питания для этих рек также низкие. Более глубокий врез русла рек Боровки и Самары обеспечивает, наоборот, дренирование поглощенных вод, о чем свидетельствует и резкое увеличение меженных расходов на данном участке.

Одной из основных причин относительно высоких значений стока в верхней части бассейна р. Самары и ее притоков — Бол. и Мал. Уран, Ток и других, является, по-видимому, почвенный покров, который представлен, в основном, черноземами сухой степи, характеризующимися непрочностью структуры по отношению к воде. При увлажнении такие почвы быстро размокают и уплотняются. Водопроницаемость южных черноземов сравнительно невелика, что обусловливает небольшие потери. Кроме того, для данной территории характерно довольно позднее оттаивание почвы (на 10—12 дней после схода снежного покрова), что, по-видимому, объясняется

Таблица 2

Название станций	Площадь	Объем весеннего стока в млн. м³	Слой весеннего стока в мм	Наименование притоков и станций	Водосборная площадь км²	Объем весеннего стока в млн. м³	Слой весеннего стока в мм	Слой весеннего стока на участке между станциями за вычетом стока притоков в мм
Ново-Сергиевка	1365	81,9	60					
				Б. Уран — Ивановка	2134	140,8	66	23
				Сорока — Марковка	223	11,1	50	
Первомайское	5869	293,4	50					
				Погромка — Жидилово	538	28,0	52	
				Ток — Ероховка	5393	339,8	63	12
				Бузулук — Байгоровка	1818	83,6	46	
				Тананык — Родионовка	1050	45,1	43	
Елшанка	22708	885,6	39					
				Боровка — Паника	1991	91,6	46	36
				Колтубанка — Лес	169	2,9	17	
				Заволжанка — Алексеевка	381	15,2	40	
Максимовка	28645	1117,2	39					

меньшей высотой снежного покрова и более низкими зимними температурами, обусловленными частыми вторжениями Сибирского антициклона. Наличие мерзлого экрана внутри почвенного слоя создает благоприятные условия для весеннего стока.

Малая величина стока (40 мм) в левобережной части р. Самары, включая и р. Бузулук, обусловлена достаточно благоприятными условиями для потерь на впитывание и испарение: плоский равнинный рельеф с характерным для него наличием западин, чрезвычайно слабая изрезанность территории, достаточно проницаемые почвы (черноземы — средне- и малогумусные, мощные).

Весьма своеобразны условия формирования стока в самом русле реки Самары, где величина его значительно ниже, чем на притоках (таблица 2). Расчеты показывают, что это явление нельзя объяснить потерями на испарение с водной поверхности. Средняя величина испарения по ст. ст. Куйбышев, Ершов и Чкалов за период половодья не превышает 100 мм. При этих условиях на участке Первомайское — Елшанка суммарный объем потерь на испарение не превышает 20 млн. м³ (принимая среднюю ширину разлива в 1 км, что несколько превышает действительные его размеры). Это составляет всего 15% от средней величины абсолютных потерь стока на данном участке. Предположения о расходовании части стока на увлажнение поймы и аккумуляцию в речном аллювии также неосновательны, так как в межень река получает значительное подземное питание, а в пойменных озерах уровень воды выше чем в реке. Воды, аккумулированные в период весеннего паводка в речном аллювии, по мере снижения горизонтов в реке поступят в русло и будут учтены в объеме стока на станциях. Снижение стока нельзя объяснить и возможностью поглощения на межприточных участках, так как площадь их невелика и мало отличается по своим физико-географическим условиям от остальной части бассейна. Наиболее достоверным объяснением снижения стока между станциями Ново-Сергиевка, Первомайское и Елшанка является возможность оттока речных вод непосредственно из русла [11]. Из материалов статьи Г. А. Аверьяновой, помещенной в настоящем сборнике, видно, что на участке несколько выше ст. Первомайское и до ст. Елшанка русло р. Самары расположено на крутом крыле флексуры и на контакте пермских и юрских отложений. В связи с дислоцированностью различных по литологическому составу геологических отложений, этот район, отличающийся высокой степенью трещиноватости, служит поглотителем русловых вод при повышенных в весенний период уровнях воды в реке. По наклону геолого-стратиграфических горизонтов эти воды имеют постоянный отток в южном направлении к району прикаспийской впадины. В межень, при малых статических напорах русловых вод, отток если и существует, то он сильно снижен и, в значительной степени, компенсируется притоком вод из верхних водоносных горизонтов, а поэтому не может быть учтен гидрометрическим способом.

Аналогичные условия потерь стока установил В. М. Широков для нижнего течения р. Сок (см. его статью в настоящем сборнике), результаты исследований которого использованы для районирования слоя весеннего стока, проведенного в Отделе энергетики и водного хозяйства.

Приведенная характеристика районов не является исчерпывающей и имеет целью лишь в общих чертах показать причины различного распределения стока.

Совершенно очевидно, что проведенное районирование представляет собой первый этап исследований, которые нуждаются в дальнейшем уточнении.

Таблица 3

Название станций	Площадь в тыс. км²	Объем весеннего стока в м³·10⁶	Слой стока в мм	Название притоков	Слой весеннего стока для участка между станциями за вычетом стока притоков в мм
1	2	3	4	5	10
Река Дон — 1937 г.					
Елец	16,3	1483	91		
Липецк	15,3	872,7	57		78
Калач	1,79	48,3	27		43
Бесплемяновский	44,86	1435	32		
Арчединский	33,73	472	14		—12
Река Урал — 1936 г.					
Сакмара	28,7	1177,0	41		3 8 1,6 —3,5
Река Ока — 1936 г.					—7
Мценск	6,0	734,0	124		
Крапивна	6,5	814,0	125		106
Козельск	6,9	714,0	103		
Товарково	15,3	1885	124		
Звенигород	5,0	696,0	140		
Макарово	1,8	241,0	137		102
Ст. Спасск	0,7	122,0	170		
Шевелевский Майдан	28,5	1408,0	49		172
Покровское	25,8	1916,0	74		220
Лиски	69,1	5185	75	Сосна Воронеж	
Казанская	101,8	6562	65	Подгорная	
Калач	222,0	7978	36	Хопер Медведица	
Верхнеуральск	2,7	49,9	18		
Кизильск	15,9	95,4	6		
Ирикла	36,9	258,0	7	Сакмара	
Кушум	180,0	1260,0	7		
Тополи	194,0	1165	6		
Белев	17,5	1776,0	101	Зуша Упа Жиздра Угра	
Калуга	54,9	6222,0	113		
Кашира	68,7	7911,0	115	Москва Пахра Упа	
Касимов	130,0	14497	112	Мокша	
Муром	188,0	21322	113	Клязьма	
Н. Избылец	244,0	29919	122		

Особенно большое значение имеет уточнение величин стока для очень малых водосборов, площадью менее 20—30 км². Для уточнения стока на этих площадях предполагается обследование прудов и водохранилищ как в отношении режима наполнения их, так и заиления.

Для проверки правильности предложенного районирования Отдел энергетики и водного хозяйства наметил также провести весной 1957 г., в качестве первого опыта, измерения паводочного стока на реках: Кувак (приток р. Шешмы), Цильна (приток р. Свияги) и Шуйка (приток Мал. Кокшаги). Бассейны этих рек резко различаются по своим физико-географическим условиям и не имеют аналогов среди изученных рек.

Рассмотренная территория Среднего Поволжья не является исключением в отношении разнообразия условий стока. Неравномерность распределения стока, по-видимому, имеет место и в других районах. В качестве примера в таблице 3 приводятся данные об изменении стока по длине рек Дон, Ока и Урал за 1936 и 1937 гг., которые выбраны как наиболее однообразные по распределению осадков.

На р. Дон между станциями Казанская и Калач отмечается значительное снижение стока, а за вычетом объема стока притоков получается отрицательная величина, что говорит о наличии больших потерь на данном участке. Еще более резкие изменения величины стока на р. Урал.

Таким образом, даже относительно грубый подсчет (в том смысле, что не учтен сток всех притоков, находящихся на рассматриваемых участках) показывает на наличие резко отличных условий формирования стока на различных частных бассейнах. Неравномерное распределение стока характерно не только для рассмотренных лет, но, с некоторыми вариациями и в несколько сглаженном виде, справедливо и для средних условий.

Произведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Карты изолиний слоя весеннего стока не дают правильного представления о действительном распределении его величины по территории, так как основаны на ошибочном предположении о географической зональности стока и допустимости прямолинейной интерполяции его численных значений по карте.

2. С целью определения слоя стока для неизученных в гидрометрическом отношении рек или частных бассейнов более правильным является районирование значений слоя весеннего стока в соответствии с распределением по территории стокообразующих элементов географического ландшафта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов Н. Д. Метод расчета объема весеннего половодья на реках европейской части СССР. Труды НИУ ГУГМС, сер. IV, вып. 2, 1941.
2. Алексеев Г. А. Расчеты паводочного стока рек СССР. Гидрометеоиздат, 1955.
3. Бова Н. В. Снеговой покров Нижнего Поволжья, „Соц. зерновое хоз-во", № 4, 1939.
4. Воскресенский К. П. Сток рек и временных водотоков на территории лесостепной и степной зон европейской части СССР. Труды Гос. гидрол. ин-та, вып. 29/33, 1951.
5. Временная инструкция на гидрологические расчеты при проектировании водохозяйственных мероприятий на малых водосборах в Поволжье. Мин. водного хоз-ва РСФСР, Саратовский филиал „Гипроводхоз", 1956.
6. Идзон П. Ф. Средние многолетние потери талого стока и их распределение по европейской территории СССР. Труды Центр. ин-та прогнозов, вып. 6 (33), 1947.
7. Комаров В. Д. Основные факторы весеннего стока. Труды Центр. ин-та прогнозов, вып. 2 (29), 1947.
8. Кузьмин П. П. К методике исследования и расчета испарения с поверхности снежного покрова. Труды Гос. гидролог. ин-та, вып. 41 (95), 1953.

9. Львович М. И. Влияние обработки почвы на сток. Изв. АН СССР, сер. геогр., № 5, 1954.
10. Лейвиков М. Л. Метеорология, гидрология и гидрометрия. Госиздат сельхоз. литературы, 1949.
11. Петров Г. Н. Меженный сток и его изучение (Методика исследований на примере малых рек Среднего Поволжья). Труды Казанского фил. АН СССР, серия энергетики и водного хоз-ва, вып. 1, 1956.
12. Позныше в О. С. Два года работы испарительного бассейна в Ершове. „Геофизика", т. VII, № 5 (29), 1937.
13. Поляков Б. В. Гидрологический анализ и расчеты. Гидрометеоиздат, 1946.
14. Поляков Б. В. Гидрологические расчеты при проектировании сооружений на реках малых бассейнов. Госэнергоиздат, 1948.
15. Попов Е. Г. Анализ формирования стока равнинных рек. Гидрометеоиздат, 1956.
16. Федоров Л. Т. Исследования и расчет максимальных расходов снеговых половодий рек европейской части СССР. Сб. „Проблемы регулирования речного стока", АН СССР, вып. 5, 1952.

так и открывающие свои устья в долину реки. Овраги глубиной 10—20 м, как правило, полностью прорезают делювиальный чехол и часто вскрывают голубовато-серые песчаники и реже красные глины тананыкской свиты. На крутых склонах, в местах, не используемых для обработки земли, почвенный покров обычно смыт и многочисленные мелкие промоины (глубиной 3—7 см) врезаются, в почвообразующие породы.

Основанием ложа водохранилища, по данным Г. А. Лаврова [10], служит зеленовато-серая или темно-зеленая, слабо песчанистая, плотная, с блестящим раковистым изломом акчагыльская глина. Непосредственно на акчагыльских глинах залегают сыртовые толщи мощностью от 3,0 до 5,0 м, покрытые отложениями грубого суглинка делювия. Правый склон водохранилища в основном имеет породы с преобладанием глин. Левый — имеет в основании небольшую толщу сыртовых глин, но преобладающими породами являются пески и песчанистые разности.

В бассейне реки Домашки наиболее часто встречаются черноземы типичные, среднегумусные (обыкновенные) средней мощности, которые залегают на делювиальных (покровных) глинах и суглинках. По левому склону долины реки преобладают карбонатные, маломощные черноземы, материнскими породами которых служат покровные глины и суглинки. По правому склону долины имеются черноземы террасовые среднегумусные (типа обыкновенных) средней мощности, которые залегают на древнеаллювиальных глинах и суглинках.

Водохранилище находится в эксплуатации с 1937 года и задержанные в нем воды весеннего стока (таблица 1) используются для орошения полей в мае и июне, что сопровождается резким снижением горизонта и освобождением от воды значительной части ложа водохранилища (таблица 2). Подготовленная по проекту площадь орошения составляет 2492 га, а фактическая средняя площадь орошения за период эксплуатации составила 1193 га (по 1954 г. включительно).

Водохранилище имеет следующие проектные данные:

а) при нормальном подпорном горизонте — 89,9 м: объем — 19,95 млн. м³, площадь зеркала — 5,53 км², длина — 4,5 км.

б) при горизонте мертвого объема — 83,5 м, соответственно — 1,35 млн. м³, 0,55 км² и 1,0 км.

С 1937 по 1954 г. средний объем весеннего стока составил 12,69 млн. м³, наибольший объем 30,29 в 1947 г. и наименьший 3,32 в 1945 году. Объем водохранилища к осени срабатывается в среднем до 3,73 млн. м³. Наименьшая сработка наблюдалась в 1942 г., когда объем к началу зимы составлял 13,82 млн. м³ и наибольшая в 1953 г., когда объем равнялся 0,67 млн. м³.

Таблица 1

Режим работы Домашкинского водохранилища (объемы в тыс. м³)

Годы	Объем весеннего стока	Объем летних осадков	Объем вынужденного сброса из водохранилища	Объем воды, израсходованной на орошение	Объем воды, оставшейся к началу паводка следующего года	Суммарные потери на фильтрацию и испарение
1	2	3	4	5	6	7
1937	5300	296	—	2000	2338	1258
1938	6483	405	—	6214	832	2180
1939	9149	227	—	6331	2090	1787
1940	9495	537	—	6234	3113	2775
1941	24950	1928	8113	3550	13820	4508
1942	8430	488	9770	3950	5000	4018
1943	7024	310	—	7638	3010	1686
1944	3590	358	—	1811	4050	1097
1945	3315	610	—	3060	3950	965
1946	25700	741	18635	3510	4990	3256
1947	30290	846	26180	4661	3322	1963
1948	21917	505	14547	5730	2730	2737
1949	17600	539	7630	9058	1770	2411
1950	12508	648	250	7462	5694	1520
1951	13168	445	3527	10380	1898	3502
1952	5220	305	—	4650	670	2103
1953	15903	831	—	8273	6293	2838
1954	9151	712	2200	6386	4354	3216

Примечание: В гр. 2 не включен объем меженного стока. По данным Домашкинской балансовой станции последний составил в 1939 г. 268 тыс. м³ и в 1940 г. 289 тыс. м³. Во все прочие годы наблюдения над объемом меженного стока не производились. После 1942 г., по сведениям местных жителей, меженный сток отсутствовал. Весенний сток принят по данным Управления Бузулукских оросительных систем, кроме 1947 г., для которого после проверки приняты данные И. С. Костина [7]. В гр. 3 объем вычислялся по месячной сумме осадков ст. Бузулук ж. д., а за годы их отсутствия по ст. Бузулук опытное поле, и по площади водного зеркала, соответствующей среднемесячному горизонту водохранилища за время с конца весеннего половодья по 1 ноября. В гр. гр. 4, 5 и 6 данные УБОС. В гр. 7 данные получены по водному балансу водохранилища.

Таблица 2

Среднемесячные площади водного зеркала Домашкинского водохранилища (км²)

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1937	—	—	—	2,34	1,97	1,60	1,47	1,38	1,33	1,33	1,33	1,33
1938	1,30	1,31	1,30	1,40	3,00	2,60	2,61	1,02	0,90	0,80	0,74	0,78
1939	0,75	0,73	0,73	0,71	3,37	2,87	2,13	1,72	1,25	1,21	1,22	1,23
1940	1,24	1,22	1,22	3,37	3,59	3,15	2,87	2,01	1,65	1,60	1,59	1,65
1941	1,65	1,65	1,64	2,30	5,60	5,56	5,03	4,64	4,49	4,40	4,40	4,40
1942	4,40	4,40	4,40	4,13	3,70	2,85	2,35	2,30	2,25	2,25	2,25	2,25
1943	2,25	2,25	2,26	4,02	3,40	2,35	1,72	1,65	1,60	1,60	1,60	1,60
1944	1,60	1,60	1,60	2,64	2,45	2,25	2,06	2,01	1,98	1,97	1,97	1,97
1945	1,97	1,97	1,97	2,81	2,72	2,49	2,14	1,96	1,92	1,83	1,88	1,88
1946	1,88	1,88	1,88	3,77	3,73	3,07	2,64	2,52	2,26	2,26	2,25	2,25
1947	2,25	2,25	2,25	4,28	3,93	3,50	2,68	2,58	2,37	2,08	1,72	1,72
1948	1,72	1,72	1,72	3,68	2,90	2,31	1,89	1,60	1,57	1,52	1,49	1,49
1949	1,47	1,47	1,47	3,23	4,22	3,61	2,52	1,76	1,25	1,06	1,06	1,06
1950	1,07	1,07	1,06	2,86	4,40	3,85	3,23	2,72	2,47	2,42	2,42	2,42
1951	2,42	2,42	2,42	3,45	4,48	3,93	3,27	2,15	1,65	1,28	1,16	1,16
1952	1,15	1,14	1,10	2,07	2,72	2,36	1,60	0,88	0,83	0,74	0,70	0,70
1953	0,70	0,70	0.64	2,30	4,78	4,25	3,23	2,81	2,80	2,77	2,68	2,64
1954	2,72	2,72	2,72	4,25	3,65	2,72	2,42	2,23	2,04	2,04	2,04	2,04

Общий объем весеннего стока за 1937—1954 гг. составил 239,9 млн. м³. Из этого количества на орошение было израсходовано 100,9 млн. м³ или 41,8% объема стока, вынужденный сброс составил 90,8 млн. м³ или 38,1% и суммарные потери на испарение и фильтрацию составили 43,8 млн. м³ или 18,3% при остатке воды к концу периода 4,3 млн. м³ или 1,8%. Таким образом, полезное использование воды было очень низким.

Из общей площади ложа водохранилища — 5,53 км² при нормальном подпорном горизонте, только незначительная часть была занята водой (таблица 2). Вместе с окружающей водохранилище полосой

отчуждения вся площадь, изъятая из сельскохозяйственного использования, составляет 9,0 км², или 75% от средней площади орошаемых земель. В среднем, начиная с июня месяца и позже, площадь водного зеркала не превышала 2,5 км². В 1941 г. эта площадь увеличилась до 5,5 км² и в 1953 г. снизилась до 0,7 км². Громадные площади отчужденной земли по существу не используются и зарастают, в большинстве своем, травами, не поедаемыми скотом. Мелиорация этих площадей с целью их лучшего использования не проводится.

Заиление водохранилища

Определение объема и интенсивности заиления является очень важным для успешной эксплуатации и выяснения срока службы водохранилища. Из практики существующих водохранилищ известны случаи очень быстрого их заиления. В отношении заиления водохранилищ Заволжья в литературе отсутствуют подробные сведения, а поэтому полученные результаты для Домашкинского водохранилища являются почти единственными по этому обширному району.

В техническом проекте водохранилища Домашкинской оросительной системы расчет заиления был обоснован материалами наблюдений за величиной твердого стока на р. Тананык (приток р. Бузулук) у с. Родионовка, проведенными в 1935 году. На основании этих данных срок заиления мертвого объема водохранилища установлен в 112 лет. В 1938 году Домашкинская балансовая станция провела наблюдения за стоком наносов р. Домашки у с. Липовка, но эти наблюдения были недостаточны для подсчета твердого стока и уточнения расчетов по заилению водохранилища.

В ноябре 1951 г. гидрометр Бузулукского управления оросительных систем А. К. Тихменев произвел промеры глубин Домашкинского водохранилища при отметке горизонта воды 84,08 м. По его данным при этом горизонте объем заиления составил 471 тыс. м³, что дает слой наносов в 47 см и среднюю годовую интенсивность заиления 31,6 тыс. м³.

Летом 1955 г. экспедиция Отдела энергетики и водного хозяйства Казанского филиала АН СССР, при участии управления Бузулукских оросительных систем, провела съемку ложа водохранилища. Вследствие отсутствия геодезических реперов, на оси плотины, как на базисе, была разбита сеть тригонометрических пунктов, с помощью которой восстановлена старая съемочная магистраль и поперечники. По поперечникам проведена нивелировка (выше горизонта воды) и промеры глубин (ниже горизонта воды), что позволило подсчитать современный объем водохранилища.

Сопоставление проектных и фактических объемов и площадей зеркала воды приведено в таблицах 3 и 4. Распределение заиления по ложу водохранилища показано на рис. 1, а изменение объема и зеркала водохранилища—на рис. 2.

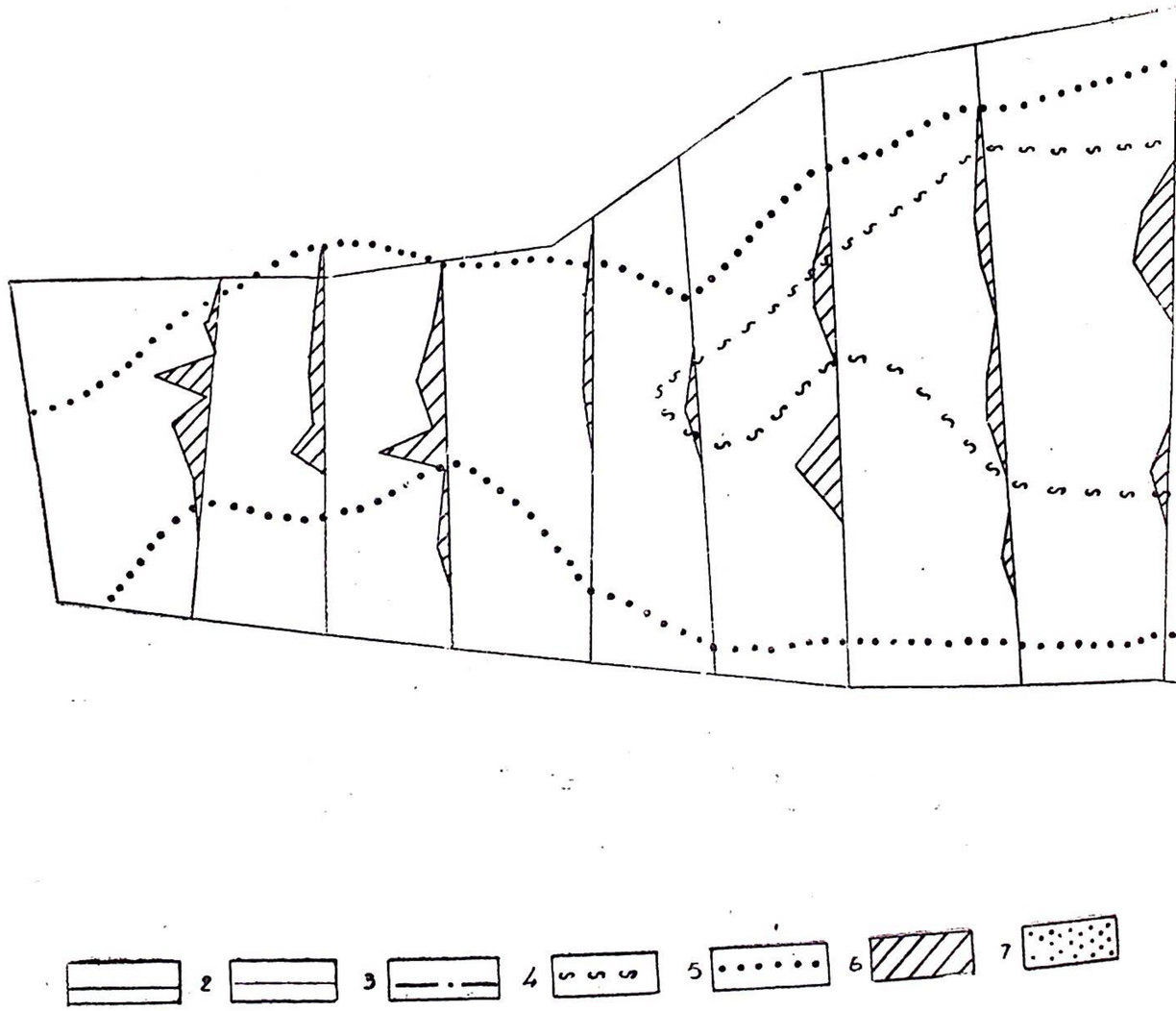
Произведенные исследования показали, что наибольшее заиление приурочено к определенным частям ложа водохранилища, а именно: к мертвому объему, между горизонталями 85—87 и выше горизонтали 88.

В мертвом объеме значительное количество отложений объясняется не только ежегодным осаждением наносов из большого слоя воды, но также стеканием части взвешенных в толще воды илистых и коллоидальных наносов по уклону ложа при снижении горизонта, в наиболее пониженные части водохранилища. Некоторая часть наносов образовалась за счет оползания мокрого откоса плотины, который за период эксплуатации поэтому неоднократно восстанавливался.

Таблица 3

Изменение объема Домашкинского водохранилища за период с апреля 1937 г. по август 1955 г.

	Фактиче	Обла	Объем



1 — линия магистрального хода по изысканиям, восстановленная при обследовании водохранилища для определения з
по проекту на отметке 83,5 м, 4 — линия границы нормального подпертого горизонта водохранилища по проекту на отм
Наибольшее заиление — 3,6 м — отмечено на 10 проектном профиле (11 на рисунке, так как первый к плотине про
расстояние — 140 м — по магистрали меж

Средняя интенсивность заиления водохранилища в пределах нормального подпорного горизонта за период эксплуатации составляет 100,0 тыс. м³ в год. В пределах горизонта 84,08 м эта величина

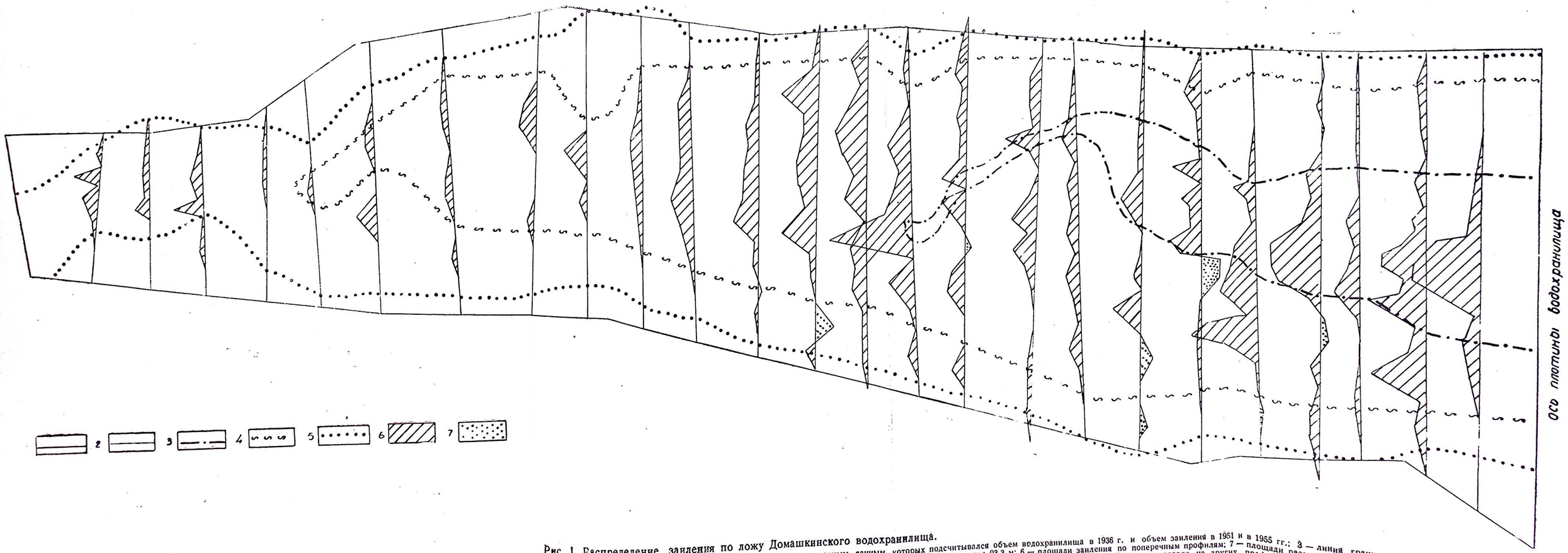


Рис. 1. Распределение заиления по ложу Домашкинского водохранилища.

1 — линия магистрального хода по изысканиям, восстановленная при обследовании водохранилища для определения заиления в 1955 г., 2 — линия поперечных профилей, по нивелировочным данным которых подсчитывался объем водохранилища в 1936 г. и объем заиления в 1951 и в 1955 гг.; 3 — линия границы мертвого объема водохранилища по проекту на отметке 83,5 м, 4 — линия границы нормального подпертого горизонта водохранилища по проекту на отметке 89,9 м, 5 — линия границы наивысшего горизонта водохранилища, наблюдавшаяся в 1947 г. на отметке 93,3 м; 6 — площади заиления по поперечным профилям; 7 — площади размыва (переработка берегов) по поперечным профилям по материалам изысканий (не выражено). Наименьшее обследовании). На этом профиле наибольшее заиление приурочено к руслу реки Домашки, которое на других профилях расположено ближе к правому берегу).
Наибольшее заиление — 3,6 м — отмечено на 10 проектном профиле (11 на рисунке, так как первый к плотине профиль дополнительно построен по горизонталям при обследовании). Наибольшее расстояние — 420 м между 18-м и 19-м профилями (расстояние по магистрали между концами 3-го и 4-го, 8-го и 9-го профилей. Наибольшее расстояние — 140 м — по магистрали

Таблица 3

Изменение объема Домашкинского водохранилища за период с апреля 1937 г. по август 1955 г.

Горизонт м	Проектный объем мил. м³	Фактический объем на 1/VIII 1955 г. мил. м³	Объем заиления нарастающим итогом мил. м³	Объем заиления в % к объему водохранилища	Заиление в пределах соседних горизонтов	
					мил. м³	%
82,0	0,525	0,032	0,493	94	0,493	94
83,0	0,950	0,357	0,593	62	0,100	24
84,0	1,925	1,181	0,744	39	0,151	16
85,0	3,300	2,412	0,888	27	0,144	11
86,0	5,425	4,042	1,383	25	0,495	23
87,0	8,075	6,576	1,499	19	0,116	4
88,0	11,425	9,916	1,509	13	0,010	0,3
89,0	15,675	13,913	1,762	11	0,253	6
89,9	19,950	18,056	1,894	9	0,132	3

Таблица 4

Изменение площади зеркала Домашкинского водохранилища за период эксплуатации с апреля 1937 г. по август 1955 г.

Горизонт м	Проектная площадь водного зеркала км²	Фактическая площадь водного зеркала на 1/VIII-55 г. км²	Изменение площади зеркала за время эксплуатации водохранилища км²	Средний слой заиления между горизонтами м	Средний слой заиления нарастающим итогом м
82,0	0,41	0,12	—0,29	1,20	1,20
83,0	0,80	0,53	—0,27	0,26	0,74
84,0	1,10	1,16	+0,06	0,50	0,68
85,0	1,72	1,39	—0,33	0,23	0,52
86,0	2,37	2,03	—0,34	0,76	0,59
87,0	3,00	2,77	—0,23	0,18	0,50
88,0	3,85	4,06	+0,21	0,01	0,39
89,0	4,72	4,71	—0,01	0,29	0,38
89,9	5,53	5,30	—0,30	0,16	0,35

В течение 9 лет наивысшие горизонты водохранилища находились между отметками 86,0—88,0, а во все прочие годы располагались выше. Таким образом, на этих отметках создавались наиболее благоприятные условия для переработки берегов, продукты которой откладывались непосредственно ниже. Отложение продуктов склоновой эрозии проходило наиболее интенсивно в местах выклинивания подпора, чему способствовала травяная растительность.

Выше горизонтали 88,0 высокое заиление обусловлено смывом почв с прилегающих к водохранилищу склонов долины, которые и откладывались в районе развития густой травяной растительности.

Средняя интенсивность заиления водохранилища в пределах нормального подпорного горизонта за период эксплуатации составляет 100,0 тыс. м³ в год. В пределах горизонта 84,08 м эта величина

равна 38,0 тыс. м³ в год; для периода с 1937 по 1951 гг.— 31,6 тыс. м³ в год и для периода с 1951 по 1955 гг. — 50,0 тыс. м³ в год. Меньшая интенсивность заиления в начальный период объясняется существовавшей в то время малой распаханностью земель (около 40%) в связи с преобладавшим животноводческим направле-

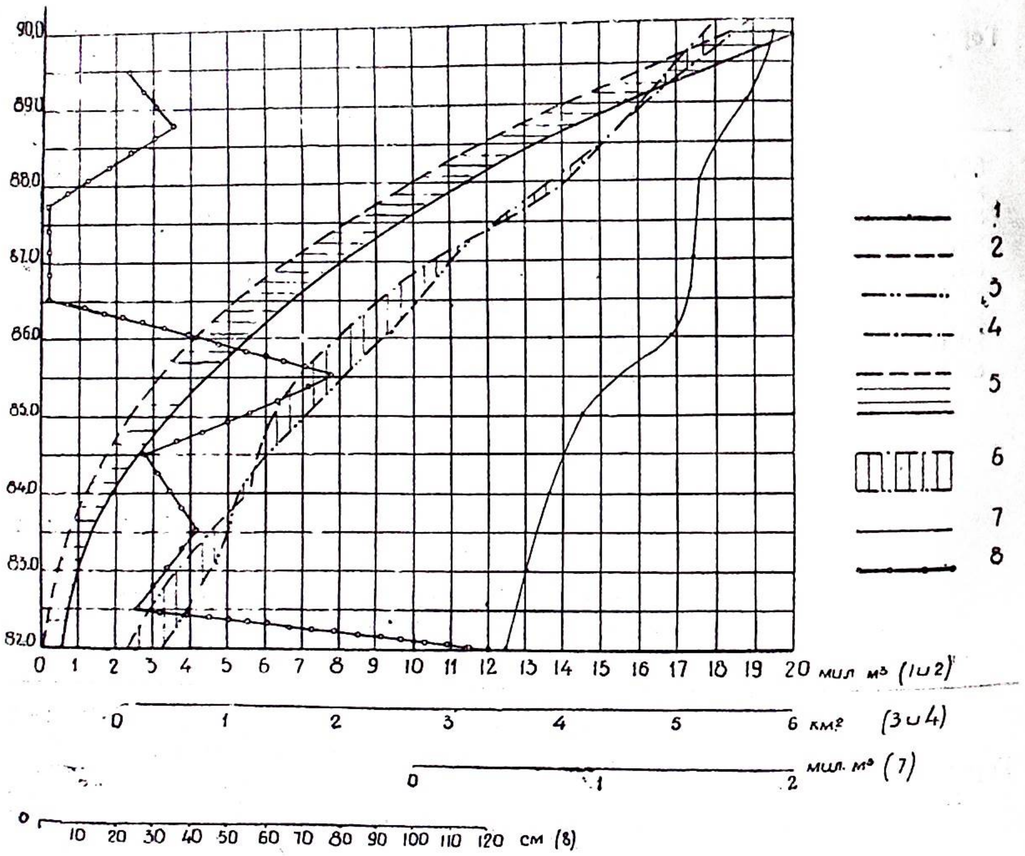


Рис. 2. График проектных и фактических зависимостей площади зеркала и объемов от горизонта воды Домашкинского водохранилища.

1 — кривая связи объемов и горизонтов водохранилища по проекту (млн. м³); 2 — то же, построенная по материалам обследования в августе 1955 г.; 3 — кривая связи площадей водного зеркала и горизонтов водохранилища по проекту (км²); 4 — то же по материалам обследования; 5 — изменение проектных объемов водохранилища в результате заиления (млн. м³); 6 — изменение проектных площадей водохранилища в результате заиления и переработки берегов (км²); 7 — изменение слоя заиления по сечениям горизонталей в (см); 8 — интегральная кривая заиления (млн. м³).

нием хозяйства. Затем распаханность увеличилась до 60%, а в период с 1942 по 1949 г. вновь сократилась до 30%. Травяной покров целинных и залежных земель уменьшал эрозионную деятельность вод поверхностного стока. После 1949 г. посевные площади интенсивно расширялись и к 1955 г. достигли 80% площади бассейна, а в севооборот были введены пропашные культуры, что и привело к увеличению интенсивности эрозионных процессов и к ускорению заиления водохранилища.

Интенсивность заиления, подсчитанная нами по формулам Б. В. Полякова [13] и И. А. Кузника [2], дает величину меньше фактической в 3—5 раз. При сравнении с проектными данными интенсивность фактического заиления выше в 2 раза. Несоответствие между величинами, рассчитанными по формулам, и фактическим заилением следует объяснить тем, что для первых использованы недостаточные наблюдения за твердым стоком рек, которые распространены на значительные территории без учета всех местных факторов заи-

ления. Попытка учета этих местных факторов была сделана С. С. Михалченковым [11], который, к сожалению, не закончив своих исследований, поторопился распространить выводы для общих расчетных целей, оказавшихся также недостаточно достоверными.

Для определения характера наносов и уточнения картины заиления отрицательных форм микрорельефа, которые не были выявлены при проектной и нашей съемке, на площади ложа водохранилища, свободной от воды, было заложено 30 шурфов и прикопок глубиной от 0,5 до 2,5 м. Полученные данные показали, что исчисленный выше по материалам съемки объем заиления существенно преуменьшен за счет отсутствия учета заиления многочисленных ложбин стока, микропонижений и русла реки Домашки. Мощность этих отложений достигает местами 2,5 м. Вследствие сложного характера микрорельефа ложа водохранилища, наши исследования позволили только ориентировочно уточнить объем заиления по полуинструментальной съемке ложбин стока и шурфам — прикопкам. Эта часть заиления микрорельефа нами оценивается в 1,6 мил. м³. Таким образом, фактическая средняя интенсивность заиления составит около 200,0 тыс. м³ в год, то есть величину, во много раз превышающую все расчетные нормы.

Произведенные исследования показали, что заиление водохранилища происходит не только за счет наносов, приносимых весенним потоком с верховьев реки и образующихся, главным образом, при смыве почвенного покрова и в меньшей степени при размывах русла и оврагов, но также вследствие смыва почвы со склонов в пределах водохранилища.

Первый вид наносов отлагается с горизонта 93,0 и ниже, в местах выклинивания переменного подпора. В старом русле они образовали отложения до 3,0 м и на прилегающей пойме до 1,0 м. Эти отложения представлены плотным, вязким, очень тонким, бурокоричневым и черно-серым илом, иногда образующим ореховатые отдельности с бурым железистым налетом, и тонкими прослоями песка разделяются на слои ежегодных отложений. В некоторых шурфах в русле р. Домашки отмечено два яруса погребенных корневищ и пней ивы и ольхи. Эта растительность в настоящее время в районе водохранилища отсутствует. В русле наблюдаются отложения черного ила толщиной 3—10 см, обычно ореховатой структуры с бурым налетом по поверхности комков, которые чередуются с тонкими слоями среднезернистого песка. Эта слоистость прослеживается не повсеместно. В отдельных шурфах отложения представлены очень тонким, однородным, сильно пачкающим черным илом толщиной до 70 см.

Второй вид наносов образует значительные скопления в понижениях микрорельефа, особенно по ежегодно затопляемым талыми водами ложбинам стока. Эффективность лесных полос, имеющихся на правом берегу, в борьбе с заилением очень низка, так как многочисленные ложбины стока по своей длине не оконтурены полосами, которые их только пересекают. Поэтому по ложбинам поступает с полей, расположенных на склонах водохранилища и в глубине водосбора, большое количество наноса от смыва почвенного покрова. По левому берегу лесные полосы были заложены на полосе отчуждения, и вследствие отсутствия ухода полностью погибли. В настоящее время Управление оросительных систем предприняло восстановление полос, однако не по всей длине водохранилища и без создания хорошо залуженной полосы, а поэтому эффективность их будет незначительна.

Исследования показали, что характер наносов сильно зависит от их увлажнения и развивающейся растительности. В период обсле-

дования (июль, август 1955 г.) при горизонте 83,0 водную поверхность окружала зона переувлажненного, сильно вязкого, буроватого черного ила. Ширина этой зоны, в зависимости от рельефа местности, изменялась от 1 до 100 м. Выше, в пределах ложа, выделились три зоны растительности (рис. 3), характер которых в значительной степени определял условия заиления.

Первая, нижняя зона, по преобладающему видовому составу названа нами зоной сорной растительности. Она занимает полосу шириной от 10 до 100 м и непосредственно примыкает к зоне ила. По мере просыхания почвы ветер отсортировывает мельчайшие частицы и поэтому выделяются валики подобные волноприбойным, шириной до 20 см, длиной до 5 м на расстоянии до 5 м друг от друга, к которым приурочены первые экземпляры растительности. Дальнейшее ее развитие и увеличение плотности зависит от просыхания, интенсивность которого не везде одинакова. Грунт в этой зоне представляет бесструктурный ил черного или серо-бурого цвета, местами с желто-бурыми включениями в виде линз и прослоев. Травяной покров в зоне очень редкий, не превышает 10—15 экземпляров на 1 м², и не оказывает влияния на условия заиления. Наиболее часто здесь встречаются: лебеда раскидистая, амарант ветвистый, чередa четырехраздельная и поникшая. Редко встречаются, и преимущественно на более просохших участках у верхней границы зоны, скерда кровельная, дурнишник обыкновенный, дурман вонючий и, в качестве отдельных представителей, девясил британский, зюзник европейский, горец шероховатый и лапчатка гусиная.

В следующей зоне — злаковой растительности — почти исключительное распространение имеет полевица белая. Отдельными небольшими островками (до 5 м диаметром) на отметках 86—87 м встречаются заросли рогоза широколистного. Его положение определяется местными особенностями увлажнения почвенного покрова. Эта зона имеет ширину от 50 до 300 м, используется для выпаса скота и играет большую роль в заилении. Чрезвычайно густой травостой (до 50000 растений и побегов в пересчете на 1 м²) образует плотную дернину и действует угнетающе на развитие растений (высота не превышает 20 см). Почва покрыта густым войлоком отмершей растительности, который задерживает наносы. Под влиянием злаковой растительности они превращаются в аллювиальные, богатые гумусом черноземы, ореховато-зернистой структуры с выраженной слоистостью. Мощность этого горизонта от 1,0 до 2,5 м. За пределами водохранилища эти почвы встречаются изолирсванными островками и имеют мощность не более 0,4 м.

В качестве третьей зоны выделяется полоса, покрытая преимущественно густой зарослью полыни метельчатой — „божье дерево". Граница между второй и третьей зонами проходит по линии полного исчезновения дернового покрова. Растительность третьей зоны углубляется отдельными группами, иногда на 10—20 м, во вторую зону. Полынь глубокой корневой системой забирает воду из песчано-глинистой толщи делювия и сыртовых отложений. Эти отложения постоянно увлажняются из водохранилища, первоначально по призме растекания фильтрационных вод, а затем, по мере понижения горизонта водохранилища, за счет капиллярного поднятия воды. В этой зоне встречается наибольшее видовое разнообразие травяной растительности с преобладанием, как было сказано, полыни метельчатой. В местах ее наибольшей плотности совершенно отсутствуют другие виды растительности и дерновой покров. В местах, несколько разреженных от полыни, встречаются угнетенные представители лугового разнотравья. На более сухих местах — вьюнок полевой, лапчатка гусиная, частуха подорожниковая, перечник широколистный, горец

птичий, пырей ползучий и простертый, клевер гибридный и земляничный, просвирник приземистый, донник белый и зубчатый. На более влажных местах, в долине р. Домашки, видовой состав дополняется следующими видами: клевер ползучий, пашенный и луговой, мята полевая, эхинопсилон очитковидный, щавель конский, хатьма тюрингенская, вейник наземный, шпорник (живокость) растопыренный, полынь горькая, горошек мышиный, осот полевой, паслен сладкогорький, люцерна люпиновидная, дербенник иволистный, ситник развесистый. Островками на переувлажненных местах, а также у старого русла р. Домашки полынь заменяется на стрелолист обыкновенный, сусак зонтичный, клубнекамыш морской, ситник скученный, осока (вид не определен), щавель морской, прибрежница солончаковая, жеруха болотная.

Почвы в этой зоне представлены слоистыми бесструктурными пылеватыми черноземами, которые в местах развития лугового разнотравья приобретают структурное строение, а в переувлажненных местах переходят в типично болотные илистые почвы. Эта зона редко заливается полыми водами, но, вследствие большой ширины, на ней происходит равномерное отложение наносов, поступающих, главным образом, со склонов водохранилища.

Интересно отметить, что в отличие от других водохранилищ [12] водная растительность на Домашкинском представлена весьма слабо.

Высотное положение описанных трех зон не приурочено к определенным горизонталям местности. В августе 1955 года при горизонте водохранилища 83 м верхняя граница ила находилась между 85 и 86 м, зона сорной растительности между 85—87 м, зона злаковой растительности между 87—89 м и зона полыни между 88—92 м. Различное высотное положение границ каждой зоны объясняется микрорельефом поверхности и составом почвогрунтов. Благодаря этому создаются оптимальные условия увлажнения для каждого вида растительности на различных высотных отметках.

Во время обследования при горизонте водохранилища 83,2 м площадь водного зеркала составляла 82 га, площадь, покрытая илом, — 80 га, зона сорной растительности занимала 70 га, зона злаков — 110 га и зона полыни — 210 га.

По правобережью водохранилища верхняя граница зоны полыни почти примыкает к лесной полосе, выше которой по склону расположены поля, и полоса отчуждения здесь невелика.

На левобережье водохранилища крутые склоны выделены в полосу отчуждения площадью около 300 га. Часть этой полосы используется под огороды и бахчи, а большая часть, вследствие неурегулированного в прошлые годы выпаса скота, представляет пространства, почти лишенные растительности со смытой почвой и процессами линейной эрозии. Здесь встречаются кустики устели поле (эбелек песчаный), полыни шелковистой, эхинопсилона очитковидного, бурачка степного и угнетенные редкие представители цикория обыкновенного, костра растопыренного, шалфея полевого и некоторых других.

В результате произведенных исследований необходимо отметить следующее.

1. Существующие расчеты по заилению прудов и водохранилищ дают неудовлетворительные результаты, так как не позволяют достаточно полно учитывать местные факторы и основаны на статистическом принципе.

Для обоснования более точных способов расчета необходимо организовать всестороннее изучение прудов и водохранилищ. Объекты изучения должны располагаться в различных географических ландшафтах, а их водосборные площади должны иметь различное сельскохозяйственное использование. Путем сопоставления объектов,

расположенных в однородных климатических условиях, можно будет выявить роль местных факторов заиления.

2. При изучении заиления необходимо уделять достаточное внимание определению видового состава растительности и почвенного покрова, как в ложе водохранилища, так и на площади водосбора, что помогает выяснить процесс заиления.

3. В отношении Домашкинского водохранилища, интенсивность заиления которого в настоящее время чрезвычайно высока, обращает внимание отсутствие должных мероприятий по борьбе с заилением. Они не могут ограничиваться созданием лесных полос вокруг ложа, а должны распространяться на весь водосбор путем введения полезащитного лесоразведения и применения противоэрозионных севооборотов с постепенным переходом к контурному земледелию.

4. Исследования показали, что для Домашкинского водохранилища не оказалось возможным, на настоящей стадии работ, установить зависимость между интенсивностью заиления и стоком для определения величины последнего, вследствие отсутствия материалов по другим водохранилищам для их сопоставления.

Необходимость такого косвенного определения стока мотивируется ограниченным количеством пунктов гидрометрических наблюдений на малых бассейнах и большим разнообразием сочетания стокообразующих факторов. На более крупных водосборах их различное влияние часто взаимно компенсируется, а на малых — требует оценки по материалам фактических наблюдений. При использовании данных о заилении в качестве показателя стока исходим из предположения о том, что в районах со слабыми инфильтрационными свойствами почв, при прочих равных условиях, будут высокими интенсивность заиления и слой стока. Конечно, это положение нельзя применять механически. Например, при быстром таянии снега и наличии притертой ледяной корки на переувлажненной мерзлой почве наблюдается высокий слой стока и снижение процессов эрозии и заиления. Подобные явления затрудняют выяснение зависимости между стоком и заилением, однако не исключают возможности суждения о стоке по интенсивности заиления. Для этого необходимо будет, опираясь на материалы наблюдений речных гидрометрических створов, установить, к каким условиям по интенсивности процессов стока, эрозии и заиления относятся отдельные годы за период эксплуатации водохранилища.

Для решения задачи в этом виде обследования должны охватить значительное количество прудов, водосборные бассейны которых различаются физико-географическими условиями и сельскохозяйственным использованием территории. Путем сопоставления данных наблюдений об интенсивности заиления прудов, расположенных в различных географических ландшафтах при различном сельскохозяйственном использовании территории и при наличии в отдельных пунктах параллельных наблюдений за стоком, можно установить соотношение между слоем стока и заилением и, в свою очередь, зависимость этих параметров от основных физико-географических условий. При этом необходимо будет отказаться от стандартного подразделения на основные и второстепенные факторы стока, а в результате детального анализа формирования стока на каждом объекте выяснять первостепенные из них для каждого года. Для установления корреляционных зависимостей между стоком и заилением необходимо предварительно отобрать годы с генетически однородными метеорологическими условиями их формирования или отобрать пруды с одинаковым периодом их существования. В этих случаях различная интенсивность заиления будет объясняться морфологическими свойствами почвенного покрова и деятельностью человека.

Фильтрация из водохранилища

Потери на фильтрацию в ложе водохранилища и в обход сооружений часто составляют значительную часть задержанного стока. Нередко нормальная фильтрация в толщу почвогрунтов сопровождается утечкой воды через трещины, каверны и провалы, как это описал Б. А. Жданов [5]. Этот вид потерь не поддается предварительному учету, так как для его предвидения требуется производство весьма детальных гидрогеологических исследований.

Величину потерь на нормальную фильтрацию Б. В. Поляков [13] рекомендует оценивать в процентах от объема водохранилища. И. П. Грибанов и Я. М. Пашенков [3] считают возможным принимать потери на фильтрацию в объеме, определяемом слоем воды от 0,5 м до 1,5 м на среднюю площадь зеркала водохранилища, который выбирается в зависимости от визуальной оценки водопроницаемости грунтов. А. И. Силин-Бикчурин [15] предлагает ряд формул для определения этих потерь. Все эти способы часто дают неудовлетворительные результаты, поэтому на эксплуатируемых водохранилищах фактические потери на фильтрацию определяют путем исключения величины испарения из суммарных потерь. В этом случае потери на испарение определяют по эмпирическим формулам или по наблюдениям на испарительном бассейне, как, например, поступали на Домашкинской балансовой станции Нижневолгопроекта. Величина испарения, измеренная по испарителю, признается многими исследователями [1, 4, 6, 14] преувеличенной, по сравнению с испарением с водной

Таблица 5

Изменение объемов Домашкинского водохранилища за зимний период

Год	Горизонты водохранилища		Объемы водохранилища		Фильтрация за время зимы тыс. м³	Продолжительность зимнего периода в месяцах	Фильтрация за 1 месяц зимы тыс. м³
	к началу зимы	к началу половодья	к началу зимы тыс. м³	к началу весеннего паводка тыс. м³			
1937—38	84,41	84,36	2427	2338	89	4,60	19,4
1938—39	82,87	82,78	869	832	37	4,53	8,2
1939—40	84,25	84,20	2158	2090	68	4,47	15,2
1940—41	84,95	84,88	3246	3113	138	4,81	27,8
1941—42	88,63	88,60	14114	13820	294	5,38	54,7
1942—43	85,90	85,82	5200	5000	200	4,81	41,6
1943—44	84,88	84,81	3128	3010	118	5,27	22,4
1944—45	85,45	85,40	4152	4050	102	5,06	20,6
1945—46	85,41	85,35	4070	3950	100	5,20	23,1
1946—47	85,87	85,81	5139	4990	144	4,30	33,6
1947—48	85,07	85,00	3443	3322	121	4,30	28,2
1948—49	84,72	84,62	2867	2730	137	4,90	28,2
1949—51	83,93	83,85	1847	1770	77	5,00	15,4
1950—51	86,29	86,10	5973	5694	279	4,30	64,9
1951—52	84,08	83,98	1941	1898	43	5,40	7,9
1952—53	82,69	82,54	725	670	55	4,90	11,2
1953—54	86,50	86,35	6690	6293	397	5,50	72,1

Примечания: 1) Использованы данные только до 1954 г., так как в последующем систематические наблюдения за горизонтами воды были прекращены.

2) При расчетах фильтрации использованы проектные данные о связи горизонтов и объемов водохранилища, так как на изменение объемов за зимний период размер заиления не оказывает практического влияния.

поверхности водохранилища, а поэтому его показания исправляются редукционным коэффициентом, меньшим единицы — обычно от 0,5 до 0,8. От правильности выбора коэффициента зависит распределение общих потерь из водохранилищ на составляющие: фильтрацию и испарение. Необходимость применения редукционного коэффициента мотивируется тем, что малая поверхность испарителя находится под непосредственным и постоянным воздействием климата окружающей суши, а поэтому его показания рассматриваются преувеличенными по сравнению с водохранилищем. Большие размеры последнего, по мнению этих исследователей, создают свой местный более увлажненный микроклимат, а поэтому испарение с поверхности водохранилища предполагается меньшим, чем с испарителя.

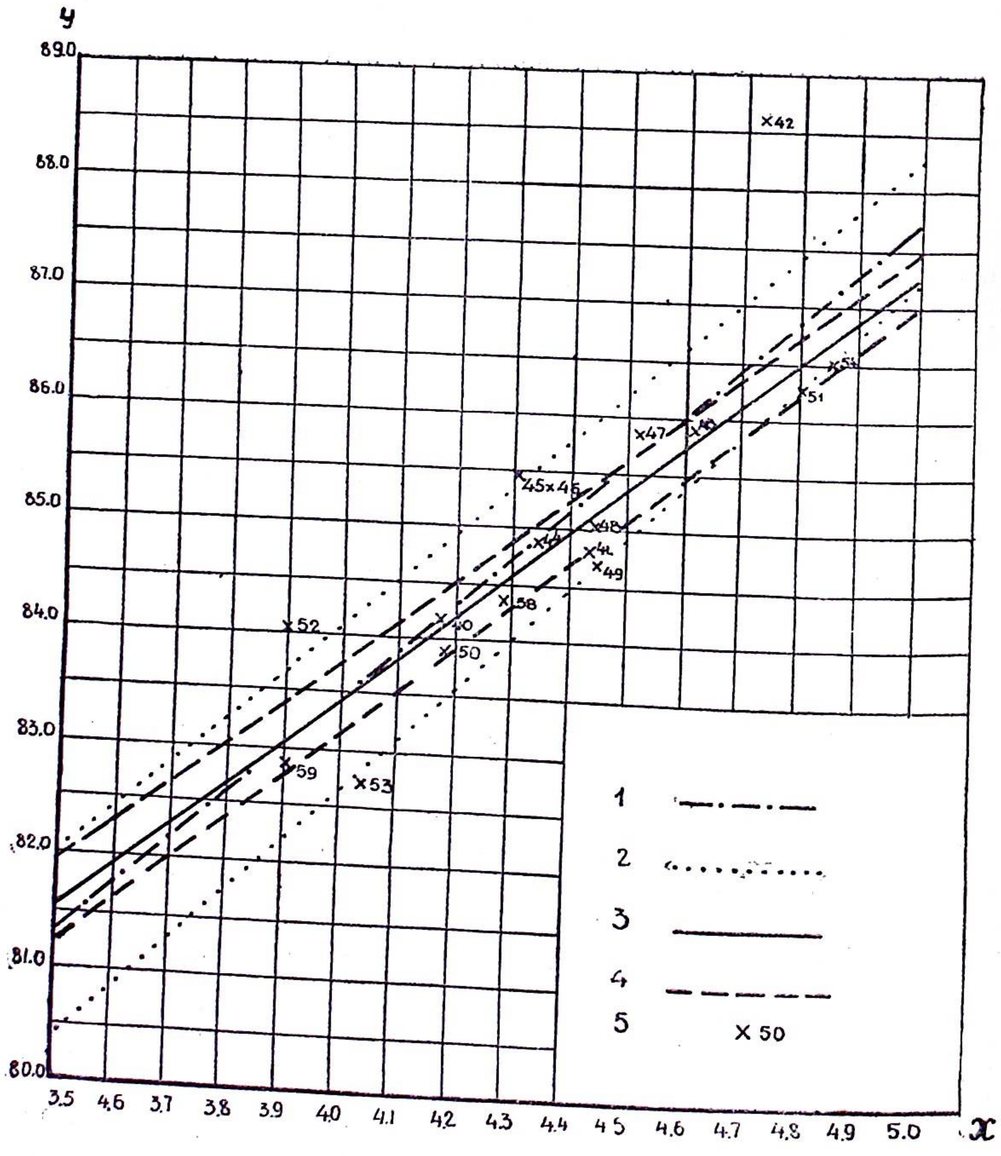


Рис. 4. График связи среднемесячного объема ежегодных потерь воды на фильтрацию за зимний период и горизонта Домашкинского водохранилища.

По оси ординат отложены горизонты, по оси абсцисс — ежегодные объемы среднемесячной фильтрации в логарифмах.

1 — линия корреляционной связи компонентов для всех 17 лет наблюдений; 2 — пределы допустимых отклонений при четырехкратной средней ошибке; 3 — линия корреляционной связи компонентов для 13 лет наблюдений за исключением 1942, 1945, 1952, 1953 гг., точки которых располагаются за пределами допустимых ошибок; 4 — пределы допустимых отклонений для связи за 13 лет; 5 — связь между компонентами за каждый год наблюдений, в данном случае 1950 г.

Для более достоверного определения величины фильтрации мы использовали материалы наблюдений Управления Бузулукских оросительных систем об изменении объема Домашкинского водохранилища за зимний период (таблица 5). Уменьшение объема водохранилища с даты перехода температуры воздуха через 0° осенью и до начала весеннего половодья можно объяснить только потерями на фильтрацию, так как водная поверхность покрыта льдом и снегом, а испарение воды из водохранилища отсутствует.

При построении графика связи между месячным объемом фильтрации и ему соответствующим средним за зиму горизонтом водохранилища установлено наличие криволинейной зависимости параболического вида. С целью экстраполяции этой зависимости для более высоких горизонтов, график построен в полулогарифмическом масштабе (рис. 4). Для этой зависимости по всем 17 годам наблюдений получен коэффициент корреляции, равный $0{,}860 \pm 0{,}043$, а при исключении 4 точек, которые расположены за пределами четырехкратной ошибки, этот коэффициент равен $0{,}959 \pm 0{,}015$, и уравнение линии регрессии имеет вид:

$$\lg x = 0{,}02y + 2{,}74,$$

где: x — объем фильтрации (м³); y — отметка горизонта воды (м).

Высокое значение коэффициента корреляции позволяет считать полученную зависимость объема месячной фильтрации, выраженной в логарифмах, от горизонтов воды — функциональной. Тогда объем фильтрации для каждого месяца за период эксплуатации водохранилища определяется по среднемесячному горизонту воды. Полученные таким образом ежемесячные и годовые объемы фильтрации приведены в таблице 6, а сопоставление их с объемом водохранилища и суммарными потерями — в таблице 7.

Таблица 6

Ежемесячный объем фильтрации Домашкинского водохранилища (тыс. м³)

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
1937				47,0	33,0	23,0	21,0	19,6	18,0	18,0	18,0	18,0	215,6
1938	18,2	18,2	17,7	19,6	93,0	63,0	25,2	12,9	10,0	7,6	7,6	7,7	300,7
1939	7,6	7,4	7,4	6,9	126,0	79,5	41,5	28,2	16,4	16,2	16,2	16,2	369,5
1940	16,4	16,2	16,2	120,0	138,0	100,0	79,5	35,5	25,2	24,0	23,4	25,2	619,6
1941	25,2	25,2	25,2	48,0	500,0	490,0	364,0	276,0	257,0	229,0	229,0	229,0	2697,6
1942	229,0	229,0	229,0	191,0	141,0	77,5	48,0	45,7	42,5	42,5	42,5	42,5	1360,2
1943	42,5	42,5	42,5	182,0	123,0	49,0	26,4	24,6	23,4	23,4	23,4	23,4	626,1
1944	23,4	23,4	23,4	63,0	52,5	42,6	38,0	35,8	33,9	33,1	33,1	33,1	435,3
1945	33,1	33,1	33,1	72,5	69,0	54,0	40,0	33,1	32,4	31,6	31,6	31,6	495,1
1946	31,6	31,6	31,6	151,0	144,0	93,0	63,0	56,0	43,5	42,5	42,5	42,5	772,8
1947	42,5	42,5	42,5	219,0	170,0	132,0	65,0	59,0	48,0	38,0	26,3	26,3	911,1
1948	26,3	26,3	26,3	141,0	83,0	46,0	36,1	23,4	23,0	21,9	20,9	20,9	495,1
1949	20,9	20,9	20,9	105,0	204,0	138,0	56,0	27,0	16,6	13,5	13,5	13,5	649,8
1950	13,5	13,5	13,5	83,0	230,0	158,0	105,0	69,0	55,0	51,0	51,0	51,0	893,5
1951	51,0	51,0	51,0	126,0	246,0	170,0	110,0	39,8	25,0	17,4	15,5	15,5	918,2
1952	15,5	14,4	14,4	38,0	69,0	48,0	23,4	9,3	8,1	6,9	6,6	6,15	259,7
1953	6,2	6,2	6,0	45,7	295,0	214,0	105,0	74,0	73,0	71,0	69,0	69,0	1034,0
1954	69,0	69,0	69,0	214,0	141,0	69,0	51,0	43,0	36,0	36,0	36,0	36,0	869,0

водохранилища служит акчагыльская глина, в которой имеются прослойки кварцевого песка. Эти глины перекрыты сыртовыми, по литологическому составу очень неоднородными отложениями, представляющими чередование песков, галечников, супесей и тонких глин. На сыртовых отложениях располагаются желто-бурые делювиальные суглинки различной мощности, то более глинистые, то более песчанистые. Уже на последних располагаются рыхлые современные наносы — продукты заиления водохранилища. Эти наносы, даже в той части, которая ежегодно просыхает, при повторных затоплениях насыщаются водой и размокают, а поэтому не являются препятствием для движения фильтрационных вод.

Скорость фильтрации не зависит от водно-физических свойств всех покровных отложений, разнородных по механическому и литологическому составу и невыдержанных по простиранию, а определяется водопроницаемостью их подстилающих акчагыльских глин, имеющих наиболее низкий коэффициент фильтрации и сплошное распространение под ложем водохранилища. Скорость фильтрации определяется ежемесячной интенсивностью фильтрации, отнесенной к одним суткам, которая по нашим данным изменяется в пределах от 0,0003 до 0,003 м/сутки в зависимости от горизонта водохранилища и соответствует коэффициенту фильтрации тонких глин.

Вследствие низких скоростей фильтрации рыхлые илистые и коллоидальные частицы продуктов заиления не в состоянии закупорить мельчайшие поры делювиальных и сыртовых отложений. Глубокое залегание уровня грунтовых вод и их постоянный отток по наклону геолого-стратиграфических горизонтов к руслу р. Самары обеспечивает условия, при которых не создается подпор фильтрационного потока грунтовыми водами.

В пределах горизонта преобладающего затопления коллоидальные и илистые частицы наносов коагулируются в рыхлые, сильно влагоемкие отложения, скорость фильтрации в которых выше, чем в подстилаемых породах. В горизонтах переменного затопления под влиянием развития злаковой растительности продукты заиления превращаются в аллювиальные черноземы ореховатой структуры с высокими инфильтрационными свойствами, которые также не могут снижать фильтрационные потери при заилении водохранилища.

Таким образом, на Домашкинском водохранилище, вследствие своеобразного характера отложений современных наносов и местных особенностей геологического строения, заиление не сокращает объема потерь воды на фильтрацию, которая в общем объеме потерь вообще не велика (таблица 7).

Приходится сожалеть о том, что правильность наших соображений нельзя проверить непосредственными наблюдениями за изменением уровня грунтовых вод. Заложенные для этой цели скважины заброшены и не сохранились имевшиеся материалы наблюдений.

Произведенные исследования позволяют отметить следующее.

1. Распространенное мнение о снижении фильтрационных потерь по мере заиления водохранилища не всегда является справедливым. В каждом отдельном случае необходим тщательный анализ гидрогеологических условий для выяснения действительной роли заиления.

2. С целью уточнения размера фильтрационных потерь в различных географических ландшафтах необходимо на существующих прудах и водохранилищах организовать наблюдения за изменением горизонта воды в зимних условиях.

3. На Домашкинском водохранилище следует возобновить систематические наблюдения за колебаниями уровня с оборудованием водомерного поста и восстановить наблюдения за уровнем грунтовых вод.

4. При водохозяйственных расчетах объем суммарных потерь на испарение и фильтрацию нельзя определять в процентах от среднего объема водохранилища, так как это может привести к значительным ошибкам при проектировании (графа 6 таблицы 7).

5. Для предварительных расчетов объем потерь воды на фильтрацию наиболее надежно определять в процентах от среднего объема водохранилища (графа 7 таблицы 7). Для Домашкинского водохранилища, построенного в благоприятных гидрогеологических условиях и имеющего низкий коэффициент фильтрации, средний размер потерь на фильтрацию равен 14% от среднего годового объема водохранилища и является наиболее устойчивой величиной за период эксплуатации по сравнению с определением потерь в процентах от слоя воды (графа 8) или в долях от суммарных потерь (графа 9 таблицы 7).

Испарение из водохранилища

Значительная часть воды из водохранилищ теряется на испарение, величина которого в настоящее время определяется только с площади водного зеркала. Непосредственными измерениями определить

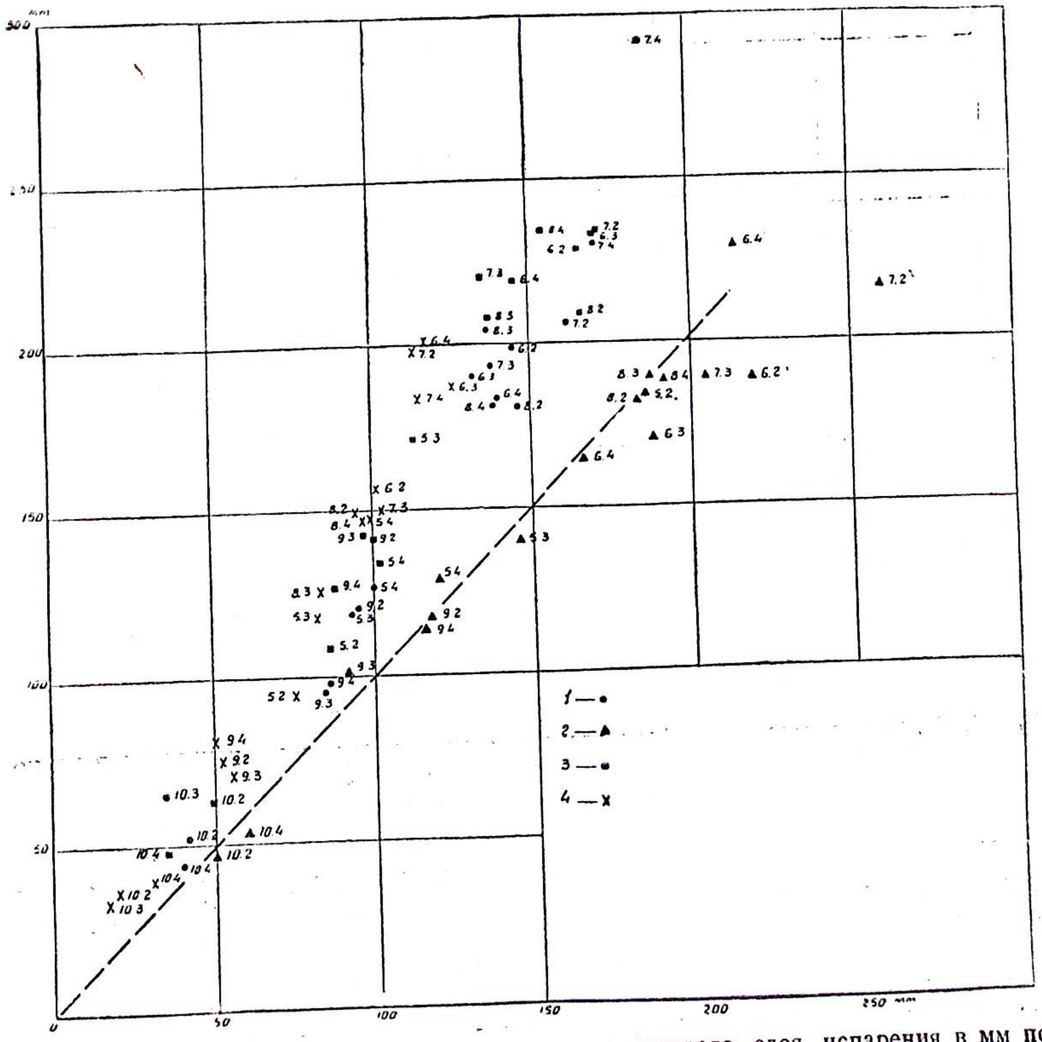


Рис. 6. График сопоставления фактического ежемесячного слоя испарения в мм по испарителям с вычисленным по формуле Тихомирова И. К.

1 — ст. Куйбышев, 2 — ст. Чкалов, 3 — ст. Ершов, 4 — ст. Вязовые.
Первая цифра у значка указывает месяц, вторая — год: 1952 — 2, 1953 — 3 и 1954 — 4.
По ординате фактическое испарение, по испарителю, по абсциссе—вычисленное по формуле.

размер этих потерь невозможно. Б. В. Поляков [13] указывает, что примерное представление о распределении испарения с водной поверхности по территории европейской части СССР можно составить на основании карты изолиний слоя годового испарения.

Для определения испарения с водной поверхности за отдельные дни и сезоны было предложено много эмпирических формул, наиболее распространенными из которых являются формулы: И. К. Тихомирова [13], С. П. Руденко [14], Б. Д. Зайкова [6], Б. В. Полякова [13], В. И. Мокляка [12], В. К. Давыдова [4]. Они устанавливают зависимость испарения от различных метеорологических элементов (дефицит влажности, температура воды и воздуха, упругость паров, скорость ветра и т. д.), наблюдения над которыми проводятся в многочисленных пунктах, а поэтому многим казалось, что величина испарения по формулам будет определена наиболее точно с учетом местных условий.

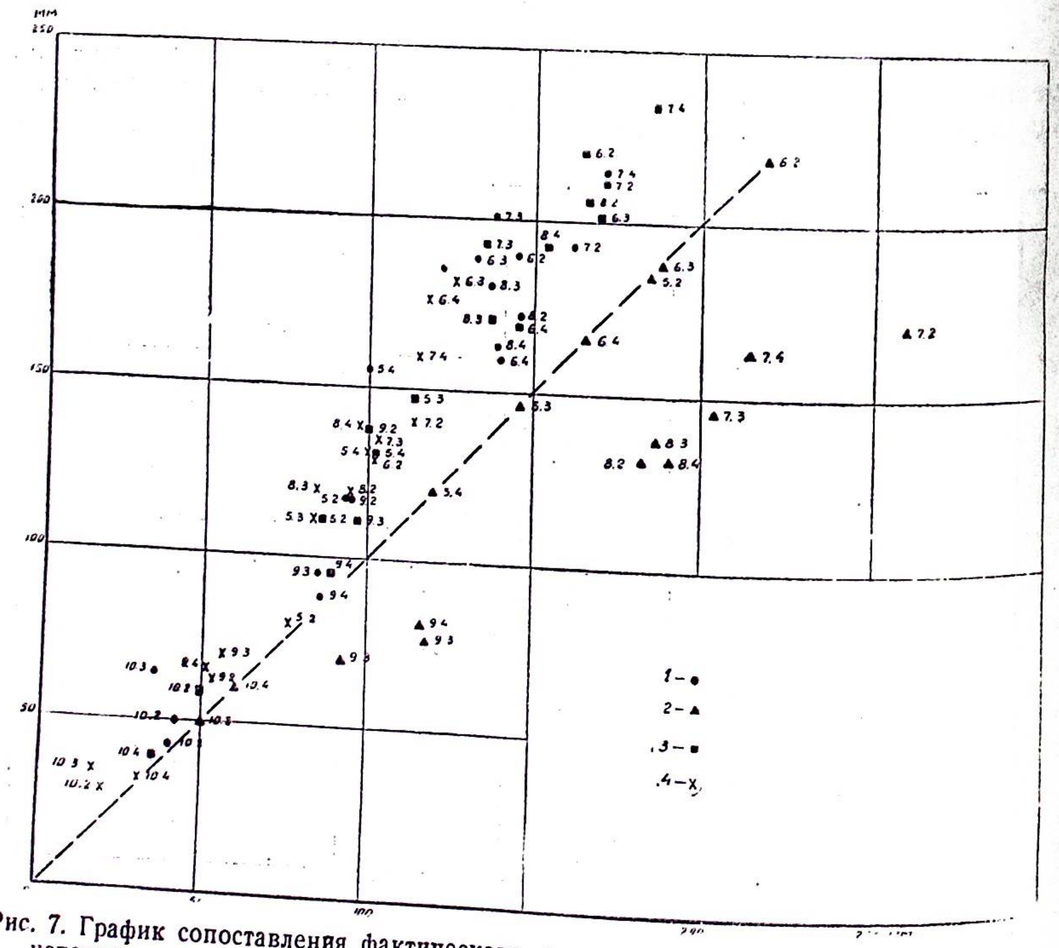


Рис. 7. График сопоставления фактического ежемесячного слоя испарения в мм по испарителям с вычисленным по формуле Зайкова Б. Д. Условные обозначения те же, что на рис. 6.

Указанные соображения и большое количество формул поставили перед нами задачу по выяснению преимущества каждой из них. Для выбора формулы наиболее пригодной для условий Домашкинского водохранилища мы сопоставили фактическое испарение по испарительным бассейнам (станций: Вязовые, Куйбышев, Чкалов, Ершов) с вычисленной по формулам для этих пунктов величиной испарения (рис. 6—10). Для сопоставления взяты месяцы с мая по октябрь за 1952—1954 гг., для которых по всем станциям имеются параллельные наблюдения.

Результаты проведенного сопоставления показывают, что ни одна из формул не имеет преимущества для практических расчетов вообще и, в частности, для определения испарения на Домашкинском водохранилище. Расхождения между вычисленным испарением и фактически наблюдавшимся находятся в пределах от —60 до +80%, а для некоторых станций, например Чкалов, дают систематическое

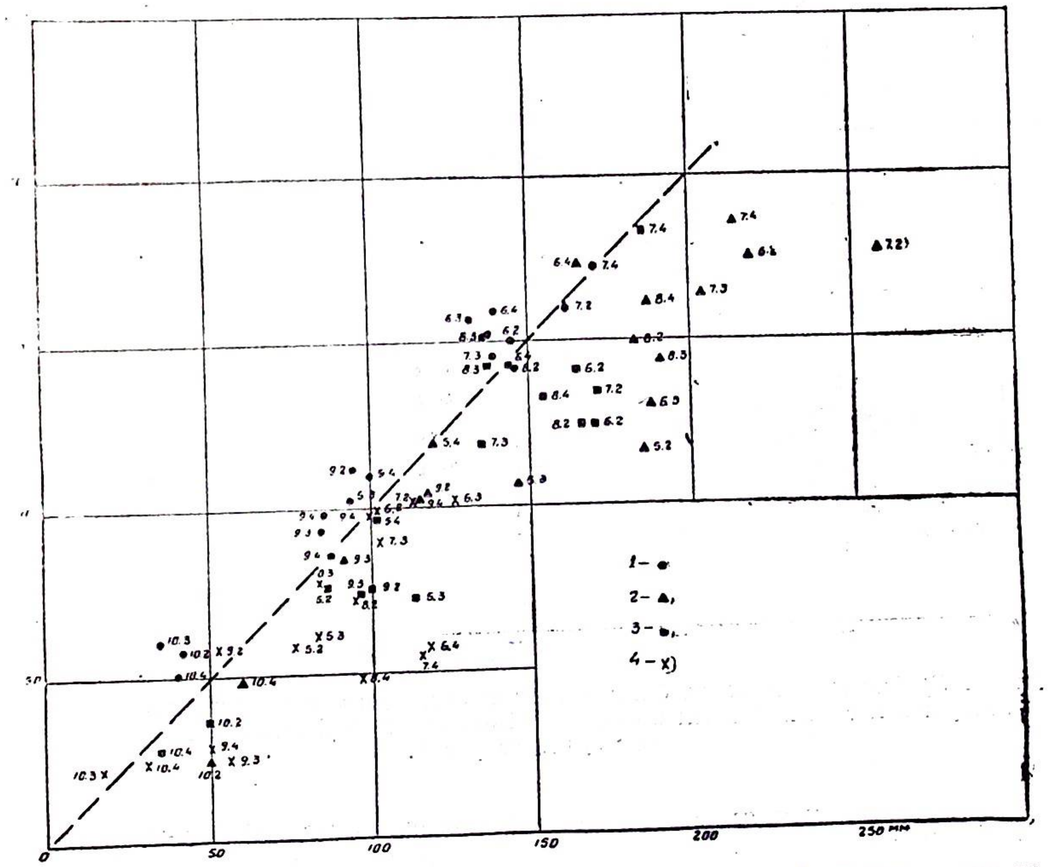


Рис. 8. График сопоставления фактического ежемесячного слоя испарения в мм по испарителям с вычисленным по формуле Мокляка В. И. Условные обозначения те же, что на рис. 6.

преуменьшение или преувеличение величины испарения. Объясняется это прежде всего тем, что формулы были выведены на основании ограниченного количества фактических наблюдений и стремились дать осредненные результаты, освобожденные от влияния разнообразных местных факторов (близость водоемов, наличие ветровой тени при некоторых направлениях ветров и т. д.), почему и не дают удовлетворительных результатов для отдельного пункта.

Ошибки в определении испарения происходят и потому, что формулы и испарительные бассейны дают величину испарения чистой воды, а, например, на Домашкинском водохранилище в августе 1955 года прозрачность не превышала 20 см, чем создавались различные по сравнению с испарителем условия прогревания воды и ее испарения.

Другим источником ошибок при вычислении испарения по формулам является несоответствие между режимом ветра на метеорологической станции и на водохранилище, что объясняется, прежде всего, местными особенностями рельефа. Например, 4 августа 1955 г. на Домашкинском водохранилище было зафиксировано следующее

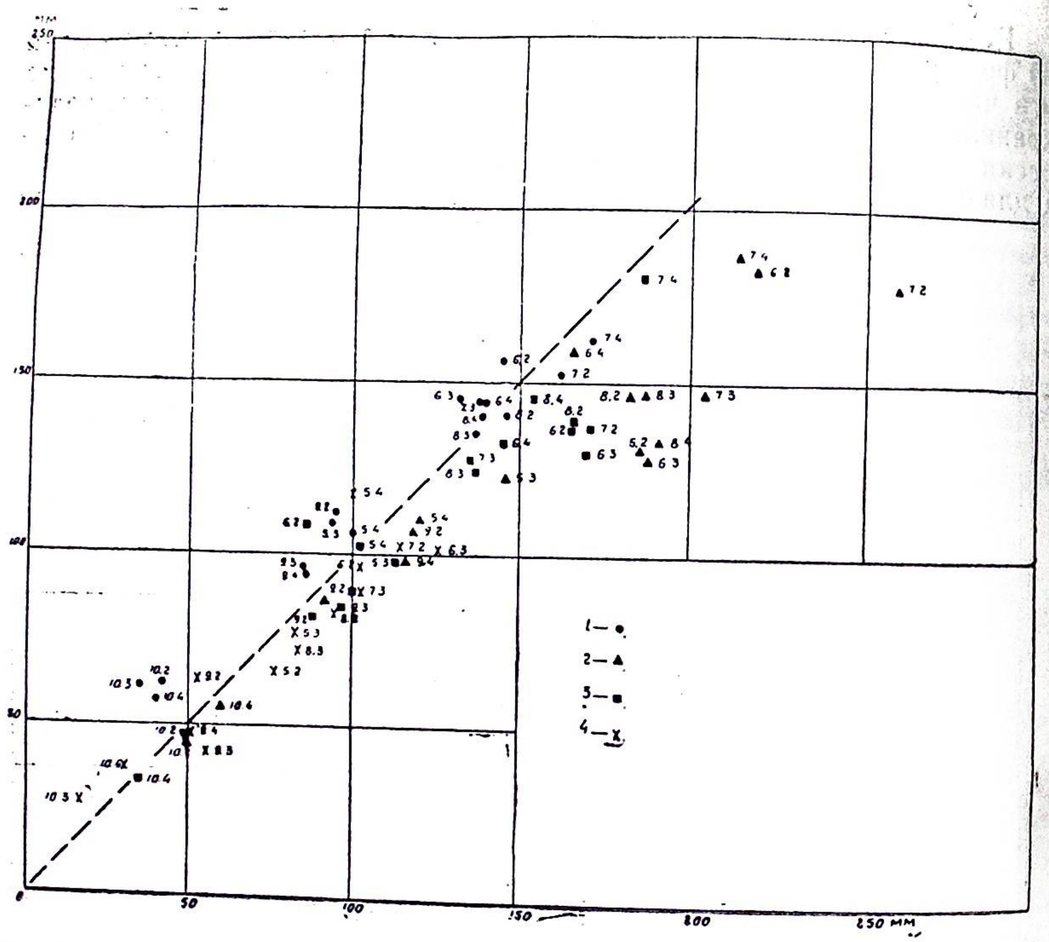


Рис. 9. График сопоставления фактического ежемесячного слоя испарения в мм по испарителям с вычисленным по формуле Полякова Б. В. Условные обозначения те же, что на рис. 6.

распределение ветра: на гребне плотины скорость 4,0 м/сек, направление С; у уреза — 0,6 м/сек, направление непрерывно меняющееся, вследствие неустойчивых завихрений; 200 м от уреза — 2,0 м/сек, направление СВ, то же 400 м — 2,8 м/сек — СВ; то же 600 м — 3,5 м/сек — С; то же 800 м (урез противоположного берега) — 4,5 м/сек — С. На метстанции в 7 км от водохранилища была зафиксирована скорость 3,0 м/сек.

Некоторую роль играет и увеличение испаряющей поверхности при волнении, что иногда ошибочно недоучитывают [6], полагая, что горизонтальный снос и турбулентное перемешивание водяных паров ветром в атмосфере происходит не с фактической водной поверхности, а с ее проекции. Следует считаться и с механическим отрывом частиц воды ветром с гребней волн.

Произведенные нами исследования показывают, что вычисленное испарение может не соответствовать действительному размеру потерь на испарение с водохранилища, так как не ограничивается водной поверхностью, а происходит также:

а) с окружающих частей ложа, покрытых илом темного цвета, который сильно прогревается и непрерывно увлажняется по капилярам из водохранилища и из призмы растекания фильтрационных вод;

б) транспирацией наземной травяной растительностью, которая покрывает просохшие участки ложа и в зависимости от характера и глубины корневой системы может забирать влагу из различных горизонтов, также непрерывно пополняющихся из водохранилища;

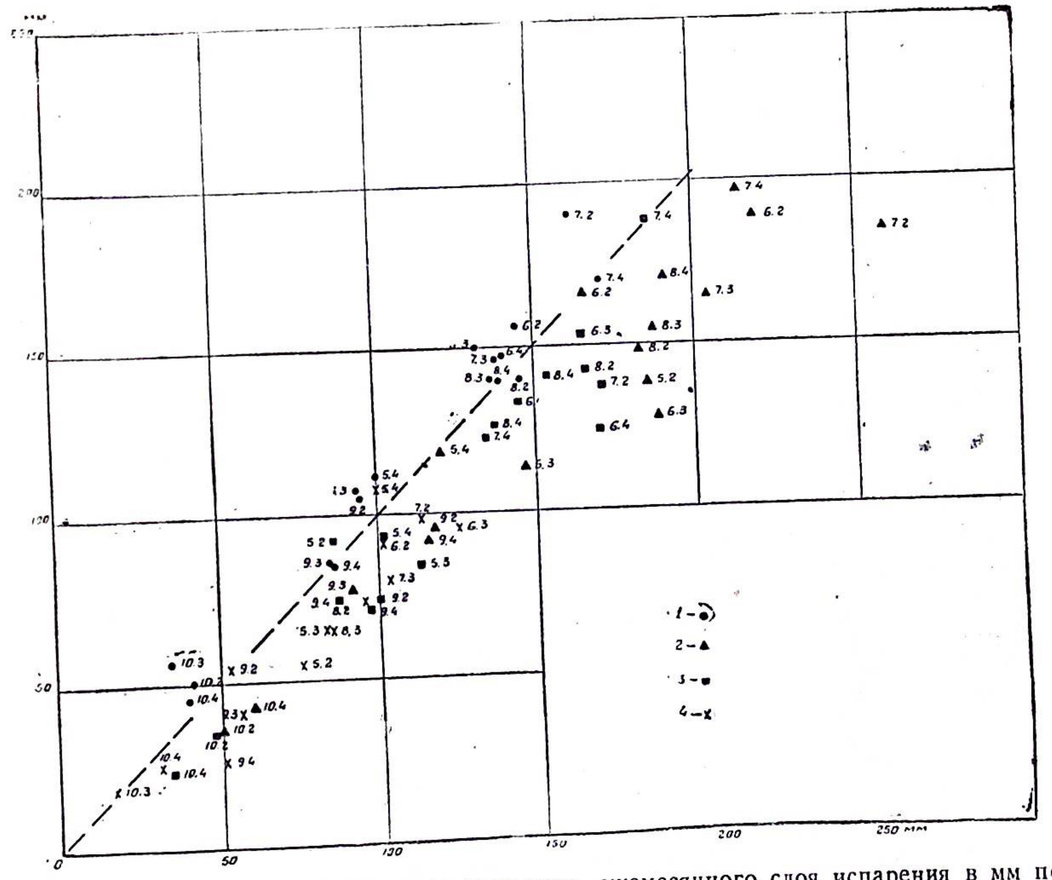


Рис. 10. График сопоставления фактического ежемесячного слоя испарения в мм по испарителям с вычисленным по формуле Давыдова В. К. Условные обозначения те же, что на рис. 6.

График сопоставления с формулой Руденко С. И. не приводится, так как дает результаты близкие к формуле Полякова Б. В. См. рис. 9.

в) транспирацией водной растительностью, испаряющая способность которой по исследованиям В. И. Кузнецова [9] в 3—6 раз выше, чем испарение с водной поверхности. В условиях сухой степи указанный размер транспирации может возрасти в связи с увеличением транспирационного коэффициента растений при избыточном увлажнении.

В связи с этим испарение Домашкинского водохранилища определено по водному балансу (таблица 9).

Правильность определения потерь на испарение по водному балансу проверена путем построения графической связи ежегодных объемов этих потерь с фактическим суммарным испарением по ст. Куйбышев за июнь — август месяцы (рис. 11), для которых имеются наиболее продолжительные наблюдения. Аналогичная зависимость между испарением по водному балансу и объемом испарения, исчисленному для водохранилища по наблюдениям ст. Куйбышев, дала тоже удовлетворительные результаты, несмотря на то, что различные виды потерь на испарение и транспирацию могут изменяться не одновременно.

Такое сопоставление позволило установить, в порядке первого приближения, что определение испарения по водному балансу для сухих лет, дает величину на 30% большую, чем при исчислении по наблюдениям испарителей, отнесенным к площади водного зеркала. Для влажных лет потери по водному балансу почти на 50% ниже.

Таблица 9

Величина потерь на испарение с Домашкинского водохранилища

Год	Суммарные потери из водохранилища по водному балансу тыс. м³	Потери на фильтрацию тыс. м³	Потери на испарение по разности суммарных потерь и фильтрации		Слой испарения по ст. Куйбышев за VI—VIII месяцы мм	Объем испарения по испарителю, отнесенный к водной поверхности водохранилищ тыс. м³
			тыс. м³	% от общих потерь		
1937	1258	216	1042	83	—	—
1938	2180	301	1879	86	513	—
1939	1787	369	1418	80	415	—
1940	2775	620	2155	78	431	1822
1941	4508	2698	1810	40	—	—
1942	4018	1360	2658	66	—	—
1943	1686	626	1060	63	345	1339
1944	1097	435	662	60	328	1261
1945	965	495	470	49	455	1235
1946	3256	778	2478	76	406	1768
1947	1963	911	1052	54	395	1834
1948	2737	495	2242	82	445	1461
1949	2411	649	1762	73	448	1935
1950	1520	894	626	41	367	2062
1951	3502	918	2584	74	473	2460
1952	2103	259	1844	88	452	1499
1953	2838	1034	1804	64	407	2089
1954	3216	869	2347	73	405	1699

Подобное несоответствие в потерях на испарение для разных лет объясняется тем, что в засушливые годы увеличиваются потери на испарение с поверхности грунта и особенно транспирацией наземной растительностью, которая может углублять корневую систему при медленном понижении горизонта воды. В годы влажные эти потери сокращаются, вследствие достаточного увлажнения атмосферными осадками. Часть осадков поверхностным и внутрипочвенным стоком поступает в водохранилище, снижая потери на испарение.

Произведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Необходимо организовать определение действительного испарения по водному балансу с водохранилищ, расположенных в различных географических ландшафтах, для уточнения водохозяйственного проектирования.

2. Для уточнения величины испарения с водохранилищ следует учитывать характер растительности на площади, окружающей водное зеркало.

3. Рекомендуемая в настоящее время величина редукционных коэффициентов для перехода от испарителя к водохранилищу, а также для различных по размеру водохранилищ [1] подлежит существенному уточнению на основании материалов фактических наблюдений.

4. Необходимо организовать изучение режима мутности водохранилищ для уточнения теплового режима и размера потерь на испарение.

5. Для уточнения влияния местных особенностей на режим ветра необходимо приступить к проведению ветровых съемок в пределах водохранилищ.

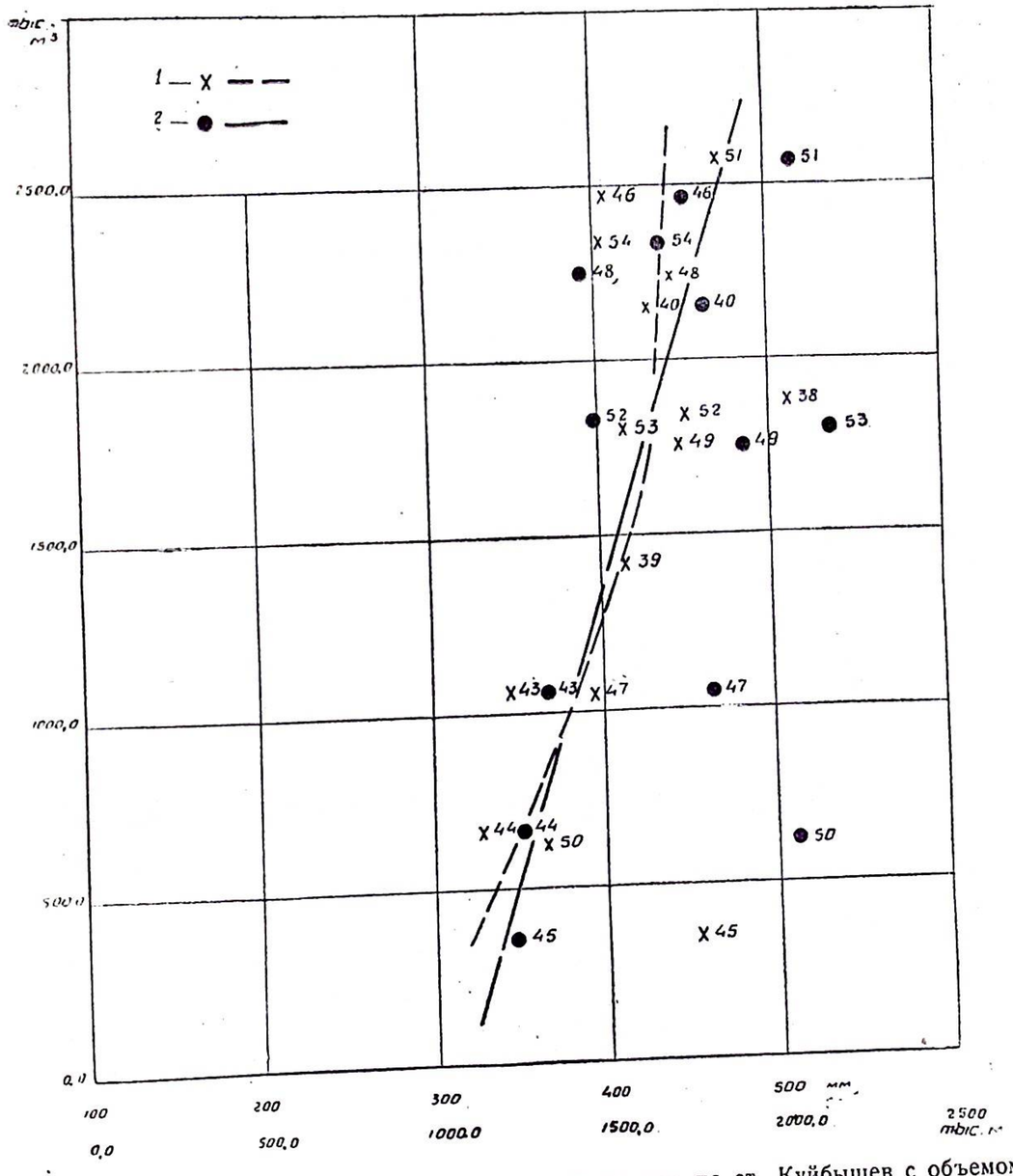


Рис. 11. График сопоставления фактического испарения по ст. Куйбышев с объемом потерь на испарение с водной поверхности и окружающего грунта и транспирацией растительностью из ложа Домашкинского водохранилища, вычисленным по водному балансу.

По ординате отложен объем потерь на испарение с водохранилища (тыс. м³); вычисленный по водному балансу.

По абсциссам 1 — суммарный слой испарения по ст. Куйбышев за июнь—август месяцы; 2 — объем испарения для Домашкинского водохранилища за май—октябрь месяцы, исчисленный по испарителю ст. Куйбышев и фактической среднемесячной площади водного зеркала.

Возможность использования наблюдений по испарителю ст. Куйбышев для определения испарения с Домашкинского водохранилища, расположенного у ст. Бузулук ж. д., подтверждается синхронностью режима ветра и дефицита влажности на этих станциях.

В заключение считаем необходимым высказать пожелание о том, чтобы Гидрометеорологическая служба Советского Союза проявила инициативу и взяла на себя руководство и контроль за проведением гидрометрических наблюдений на всех больших и малых водохранилищах, используя для этого аппарат водохозяйственных организаций. Это поможет систематизировать очень ценные данные по стоку, фильтрации и испарению. Они часто бесследно исчезают, так как

Министерство водного хозяйства не проявляет должного интереса к важным материалам.

Пользуемся случаем выразить благодарность главному инженеру Управления Бузулукских оросительных систем В. М. Бочкареву за большую помощь при проведении работ по изучению водохранилища.

Сотрудников кафедры систематики растений Казанского государственного университета профессора В. И. Баранова и лаборанта Л. Н. Михайлову благодарим за большое участие в кропотливой работе по определению видового состава растительности по собранному нами гербарию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Браславский А. П. и Викулина З. А. Нормы испарения с поверхности водохранилищ. Гидрометеоиздат, 1954.
2. Временная инструкция на гидрологические расчеты при проектировании водохозяйственных мероприятий на малых водосборах в Поволжье. Изд. Саратовского филиала Гипроводхоза Мин. водного хоз-ва, Саратов, 1956.
3. Грибанов И. П. и Пашенков Я. М. Водоемы и их использование для орошения. Сельхозгиз, 1954.
4. Давыдов В. К. Испарение с водной поверхности в европейской части СССР. Гидрометеоиздат, 1944.
5. Жданов Б. А. Эффективность противофильтрационных работ на прудах Воронежской области. „Гидротехника и Мелиорация", № 3, 1953.
6. Зайков Б. Д. Испарение с водной поверхности прудов и малых водохранилищ на территории СССР. Труды Гос. гидрологич. ин-та, вып. 21, 1949.
7. Костин И. С. Сезонное регулирование водохранилищ и подвижная система орошения. „Гидротехника и мелиорация", № 3, 1953.
8. Кузник И. А. Потери на фильтрацию из водохранилищ Заволжья. „Гидротехническое строительство", № 10, 1947.
9. Кузнецов В. И. Влияние водной растительности на испарение. Труды Гос. гидрологич. ин-та, вып. 46 (100), 1954.
10. Лавров Г. А. Объект орошения на р. Домашке. Нижневолгопроект, вып. VI, 1936.
11. Михалченков С. С. Заиление прудов и водохранилищ. „Гидротехника и Мелиорация", № 1, 1940.
12. Никитин В. В. и Мещеряков А. А. Водная и прибрежная растительность Мургабских водохранилищ. Сб. Пустыни СССР и их освоение, т. II, АН СССР, 1954.
13. Поляков Б. В. Гидрологический анализ и расчеты. Гидрометеоиздат, 1946.
14. Руденко С. И. Испарение с водной поверхности и потери на испарение с больших водохранилищ. Труды Гос. гидрологич. ин-та, вып. 3, 1948.
15. Силин-Бекчурин А. И. Специальная гидрогеология. Госгеолиздат, 1951.

ИЗВЕСТИЯ КАЗАНСКОГО ФИЛИАЛА АКАДЕМИИ НАУК СССР
СЕРИЯ ЭНЕРГЕТИКИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

1957

Вып. 1

С. И. Пашкеева

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ КРИТЕРИЯ НАЧАЛА СНЕГОТАЯНИЯ

При изучении условий формирования стока половодья большое значение имеет правильность выбора даты начала снеготаяния. Однако среди исследователей нет единого мнения по вопросу о роли различных источников тепла в процессе снеготаяния, а следовательно и в отношении выбора критерия начала снеготаяния.

Согласно теории Воейкова А. И. [3] таяние снега в средних широтах происходит, главным образом, за счет тепла, приносимого массами воздуха с температурой выше 0°. Роль солнечной радиации считается ничтожной, так как она почти полностью отражается от поверхности снега. Этой точки зрения придерживаются Великанов М. А. [2], Попов Е. Г. [15], Небольсин С. И. [12] и другие, рекомендуя за начало снеготаяния принимать первый день перехода через 0° среднесуточной температуры воздуха, которая, как указывает Комаров В. Д. [9], „характеризует начало достаточно интенсивного снеготаяния и точно соответствует началу притока талых вод в реки".

Савинов С. И. [17], Кабанов Н. Г. [7], Карпов А. Н. [8], Нестеров В. Г. [13] и другие считают, что ролью лучистой энергии солнца в процессе снеготаяния не следует пренебрегать, так как она, при условии ясной, безоблачной погоды для средних и низких широт, может иногда быть единственным источником тепла, уничтожающим снежный покров. Согласно мнению этих исследователей при определенных условиях в качестве критерия начала снеготаяния следует принимать дату перехода через 0° максимальной температуры воздуха.

Макарова Т. Т. [10], Змиева Е. С. [5] и другие рекомендуют условно считать начало снеготаяния от даты наступления максимальных снегозапасов, а Идзон П. Ф. [6] — от даты установления максимальной высоты снежного покрова.

Воскресенский К. П. [4] и Мокляк В. И. [11] предлагают за начало снеготаяния принимать дату начала весеннего подъема уровня воды в реках. Эта точка зрения существенно отличается от предшествующих, так как исходит не из причин, обусловливающих явление, а из констатации факта его наступления.

При решении вопроса о выборе критерия начала снеготаяния для территории Среднего Поволжья были использованы ежедневные данные наблюдений по 25 метеорологическим станциям. Для каждого года 20-летнего ряда наблюдений строились совмещенные графики изменения максимальных и среднесуточных температур воздуха, высоты снежного покрова, количества осадков и колебаний горизонтов на ближайших гидрометрических створах, а также хроноло-

В качестве примера можно привести оттепель в ранне-весенний период, отмеченную на ст. Раевка в 1944 году. Радиационная оттепель продолжалась с 3 по 9 марта с суммой положительных температур 4,6°. По данным снегосъемки на 28/II средняя высота снежного покрова составляла 25 см (максимальная — 38 см) при плотности снега 0,24 и запасах воды в снеге 60 мм. На 10/III средняя высота снежного покрова составила 20 см (максимальная — 31 см), плотность снега — 0,33, запасы воды — 66 мм. Увеличение запасов воды в снеге произошло вследствие выпадения осадков за период между снегосъемками. Аналогичный случай наблюдался на ст. Серноводск в 1950 году (рис. 1), когда в результате радиационной оттепели общей продолжительностью 7 дней с суммой положительных максимальных температур воздуха 10° произошло уменьшение высоты снежного покрова, не сопровождавшееся притоком воды в реки.

б) При длительных радиационных оттепелях или даже не столь длительных, но с возрастающим положительным ходом максимальных температур воздуха, могут создаться условия, когда, в результате накопления достаточного количества тепла, происходит нарушение соотношения между максимальной влагоемкостью и плотностью снега и наступает водоотдача из снега, сопровождающаяся притоком воды в реки. Примером служит радиационная оттепель в апреле 1949 г., зарегистрированная на ст. Ново-Сергиевка при полном отсутствии атмосферных осадков. Оттепель продолжалась с 1/IV по 10/IV с суммой положительных максимальных температур воздуха 44,0°.

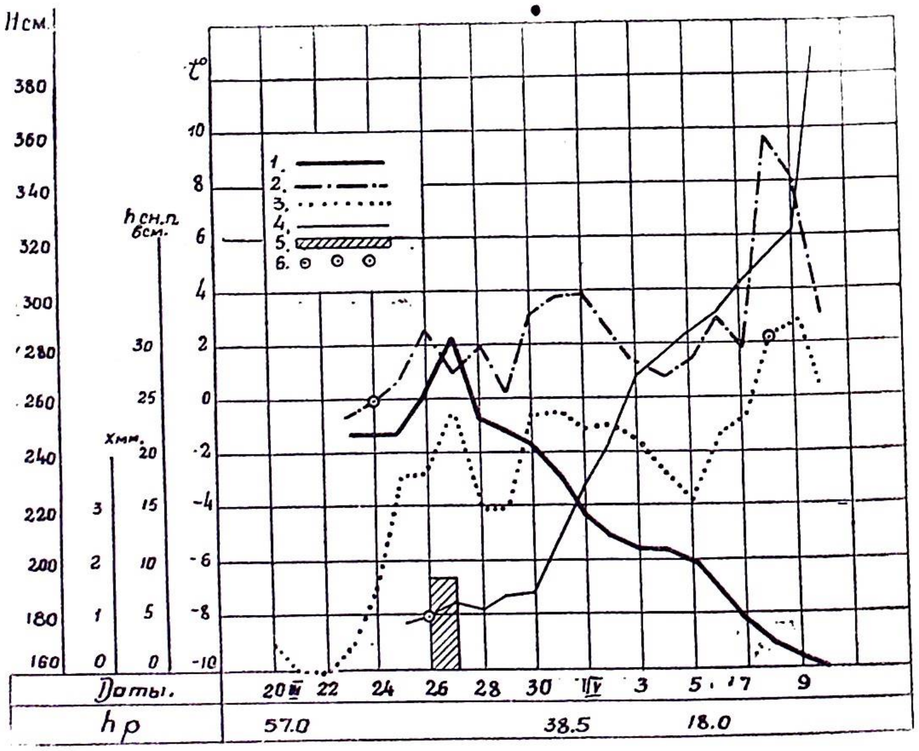


Рис. 2. Совмещенный график ежедневного хода метеоэлементов в период снеготаяния по ст. Анненково за 1949 г. и горизонтов воды по водпосту Вырыпаевка на р. Свияге.

Условные обозначения те же, что на рис. 1.

По данным снегосъемки на 1/IV средняя высота снежного покрова составляла 35 см (максимальная — 48 см) при плотности снега 0,33 и запасах воды — 115,5 мм. На 10/IV — средняя высота снежного

покрова уменьшилась до 18 см (максимальная — 36 см), плотность увеличилась до 0,38, запасы воды составили 68,4 мм. Подъем воды в реке начался 2/IV. Таким образом, в данном случае только под влиянием солнечной радиации запасы воды в снеге уменьшились на 47,1 мм. Аналогичный пример наблюдался на станции Анненково в 1949 году (рис. 2), когда после устойчивого перехода максимальной температуры воздуха через 0° интенсивное нарастание сумм тепла (24°) обеспечило быструю водоотдачу из снега в сток. Запасы воды в снеге за период с 24/III по 5/IV уменьшились на 39 мм, а интенсивный приток воды в реки вызвал подъем горизонтов более чем на 1 метр. Подобные случаи наблюдались на станциях: Казань в 1934 и 1953 гг.; Раевка — в 1943 и 1950 гг.; Бугульма — в 1934 и 1942 гг.; Анненково, Ульяновск, Бузулук — в 1950 г.; Тетюши — в 1949 г. и др.

в) В отдельные годы солнечная радиация может являться единственным источником тепла, обусловливающим весеннее снеготаяние (таблица 1 и рис. 3). В таблице 1, помимо перечня станций с указанием лет, когда снеготаяние полностью было обусловлено лучистой энергией солнца, приведены данные о максимальной высоте снежного покрова для каждого конкретного года и ее среднем многолетнем значении.

Из сопоставления 3 и 4 граф таблицы 1 следует, что радиационный тип таяния охватывает годы с самой разнообразной высотой снежного покрова, изменяющейся от 15 до 60 см. Последнее обстоятельство находится в явном противоречии с воззрениями отдельных авторов [15], отрицающих возможность полного схода снежного покрова и создания заметного стока под влиянием только лучистой энергии солнца при значительной мощности снежного покрова.

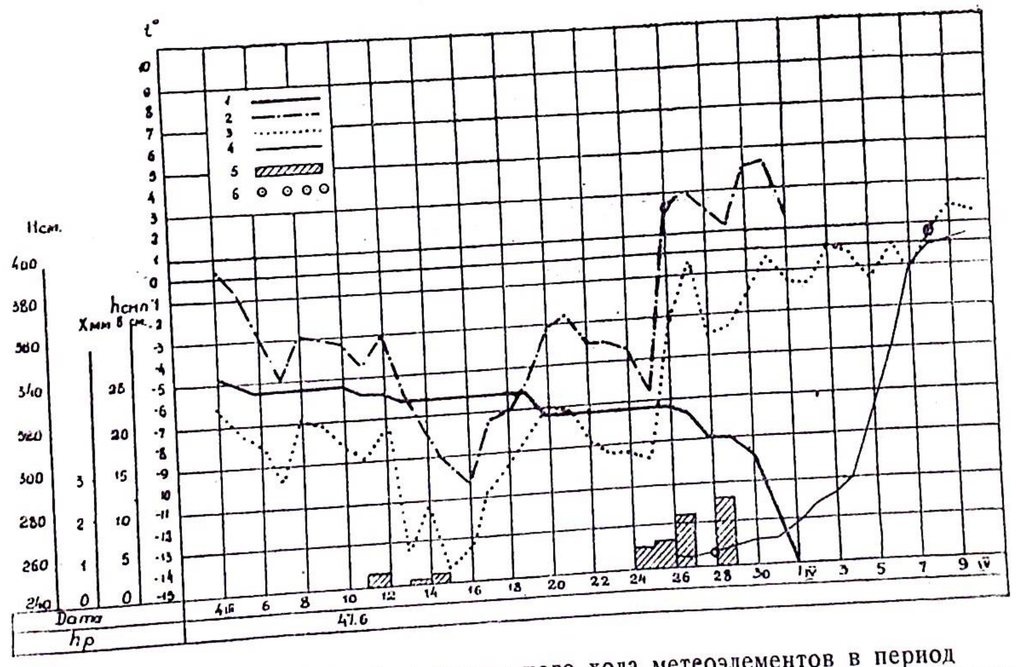


Рис. 3. Совмещенный график ежедневного хода метеоэлементов в период снеготаяния по ст. Серноводск за 1949 г. и горизонтов воды по водпосту Сургут на р. Сок.

Условные обозначения те же, что на рис. 1.

Из рассмотрения графика снеготаяния (рис. 3) за 1949 год по ст. Серноводск следует, что лучистая энергия солнца обусловила

лет сход снежного покрова предшествует переходу через 0° среднесуточной температуры воздуха. Эти годы заведомо могут быть отнесены к радиационному типу таяния (таблицы 1 и 3).

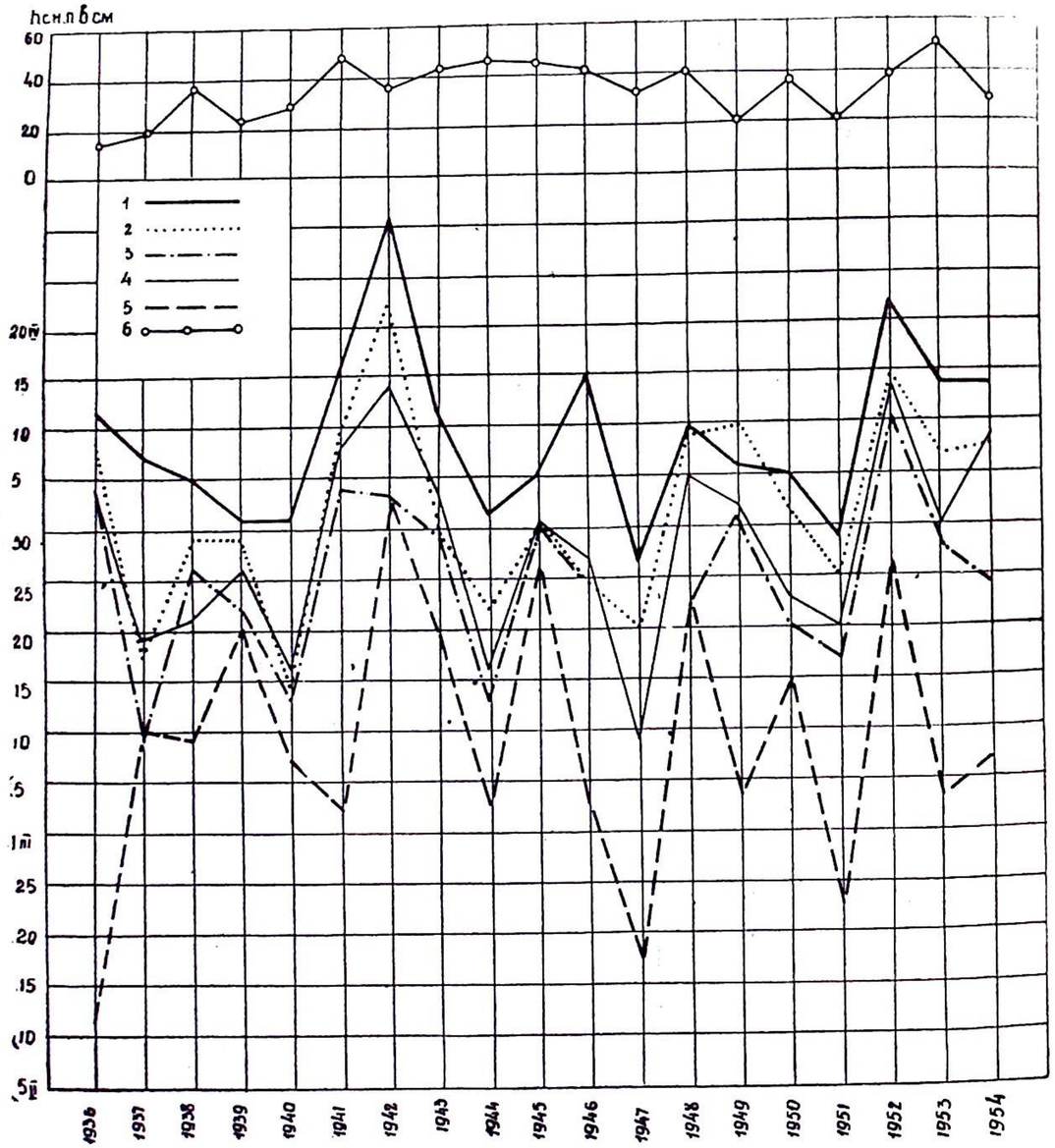


Рис. 5. Хронологический график изменчивости характерных дат снеготаяния и начала подъема воды в реках по ст. и водпосту Ново-Сергиевка на р. Самаре.

Условные обозначения 1—4 те же, что на рис. 4.
5 — дата установления максимальной высоты снежного покрова; 6 — максимальная высота снежного покрова по рейке (см).

Из сопоставления характерных дат снеготаяния и стока следует, что начало притока воды в реки обусловливается главным образом тепловыми факторами, а поэтому не может наблюдаться при господстве холодных погод в период от даты установления максимальной высоты снежного покрова до перехода через 0° максимальной температуры воздуха.

Приток воды в реки, особенно для южной части рассматриваемой территории, в большинстве случаев начинается до перехода среднесуточной температуры воздуха через 0°, т. е. в период положительного хода максимальных температур воздуха. Так, на ст. Ново-Сер-

Таблица 2

Наименование станций	Период наблюдений	Продолжительность периода	Расхождения в днях					Совпад. даты
			>20	>15	>10	>5	до 5	
Ново-Сергиевка .	1936—1954	19	1	2	3	7	4	2
Отрада . . .	1936—1954	18	—	1	5	7	5	—
Анненково . . .	1934—1950	17	1	1	5	1	5	4
Абдуллино . . .	1933—1953	21	3	2	3	6	3	4
Йошкар-Ола . . .	1935—1953	19	—	3	2	7	5	2

гиевка из 19 лет наблюдений 14 приходится на солярный и солярно-адвективный тип таяния (таблица 3). На станциях, расположенных в центре района (Анненково, Отрада, Абдуллино) и на севере (Иошкар-Ола), число случаев, падающих на этот тип таяния, составляет соответственно от 70 до 50% общей продолжительности ряда наблюдений. Совместное участие обоих источников тепла в снеготаянии при этом не одинаково. Как уже отмечалось выше, к моменту перехода

Таблица 3

Наименование станций	Период наблюдений	Продолжительность периода	Типы таяния		
			солярный	солярно-адвективный	адвективный
Ново-Сергиевка .	1936—1954	19	1	13	5
Отрада	1936—1954	18	3	5	10
Анненково . . .	1934—1950	17	1	8	8
Абдуллино . . .	1933—1953	21	5	7	9
Йошкар-Ола . .	1935—1953	19	—	9	10

через 0° среднесуточной температуры воздуха, общая величина снегозапасов может сильно уменьшиться за счет предшествовавшего радиационного типа таяния (рис. 2). Таким образом, для значительной части территории одинаково важными в процессе снеготаяния будут и солнечная радиация и теплообмен с атмосферой.

Первый этап произведенных исследований по вопросу о выборе критерия начала снеготаяния позволяет сделать следующие выводы.

1. При характеристике периода весеннего снеготаяния нельзя пользоваться каким-либо одним критерием начала снеготаяния для всех случаев развертывания весны.

2. Выбор критерия начала снеготаяния, даже для одного географического района, нужно производить исходя из конкретных условий развертывания весны каждого года в отдельности. Недифференцированный подход к решению этого вопроса ведет к затушевыванию физической сущности процесса снеготаяния, обусловливаемого преобладанием того или иного источника тепла, а также к искусственному удлинению или сокращению продолжительности периода снеготаяния.

3. Даты установления максимальной высоты снежного покрова и максимальных снегозапасов не могут быть надежными критериями начала снеготаяния, так как изменение максимальной высоты снежного покрова и, соответственно, снегозапасов при наличии холодных погод происходит только в результате механических перемещений и уплотнений снега и не сопровождается водоотдачей в сток.

4. Для значительной части исследуемой территории Среднего Поволжья процесс снеготаяния обусловливается в равной степени лучистой энергией солнца и теплообменом с атмосферой, но в южных районах территории радиационный тип таяния существенно преобладает над адвективным.

5. Дата начала притока воды в реки является важным показателем, позволяющим корректировать наши выводы о роли различных источников тепла в процессе снеготаяния.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бова Н. В. Снеговой покров Нижнего Поволжья. „Соц. зерн. хоз-во", № 4, 1938.
2. Великанов М. А. Гидрология суши. Гидрометеоиздат, 1948.
3. Воейков А. И. Снежный покров, его влияние на почву, климат и погоду и способы исследования. Избр. соч., т. II, 1949.
4. Воскресенский К. П. Сток рек и временных водотоков на территории лесостепной и степной зон европейской части СССР. Тр. ГГИ, вып. 29 (83), 1951.
5. Змиева Е. С. Методика прогноза притока воды к водохранилищу Куйбышевской ГЭС в весенний период. Канд. диссертация, Москва, 1953.
6. Идзон П. Ф. Средние многолетние потери талого стока и их распределение по ЕТС. Тр. ЦИП, вып. 6 (33), 1947.
7. Кабанов Н. Г. и Войцман К. С. Влияние погоды весны на таяние снега и размеры стока. „Соц. зерновое хоз-во", № 5, 1940.
8. Карпов А. Н. О механизме снеготаяния. „Метеорология и гидрология", № 11, 1936.
9. Комаров В. Д. Исследования весеннего стока в бассейне р. Оки. Тр. ЦИП. вып. 4, 1947.
10. Макарова Т. Т. Разработка методики прогноза весеннего стока р. Камы для створов Молотов и Сокольи Горы. Канд. диссертация, Москва, 1953.
11. Мокляк В. И. Расчеты весенних максимальных расходов воды. Тр. Киевской научно-исследовательской гидрологической обсерватории УГМС УССР, вып. 3 (4), 1949.
12. Небольсин С. И. Элементарный поверхностный сток, 1934.
13. Нестеров В. Г. К вопросу о влиянии леса на снеговой покров. „Метеорология и гидрология" № 3, 1940.
14. Познышев О. С. Испарение с поверхности почв в Заволжье. Проблемы соц. почвоведения, сб. 7, М.—Л., 1939.
15. Попов Е. Г. Тепловой баланс и интенсивность снеготаяния. Тр. ЦИП. вып. 9 (36), 1948.
16. Попов Е. Г. Анализ формирования стока равнинных рек. Гидрометеоиздат, 1956.
17. Савинов С. И. О таянии снега. „Метеорологический Вестник", № 4, 5, 1907.

ИЗВЕСТИЯ КАЗАНСКОГО ФИЛИАЛА АКАДЕМИИ НАУК СССР
СЕРИЯ ЭНЕРГЕТИКИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА
Вып. 1 *1957*

В. М. Широков

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА В БАССЕЙНЕ р. СОК

Бассейн р. Сок расположен в Куйбышевском Заволжье, на западных склонах Бугульминско-Белебеевской возвышенности. Отсюда река течет к Волге и впадает в нее у Жигулевских ворот.

Бассейн р. Сок входит в две крупные ландшафтные провинции лесостепи — Низкое и Высокое Заволжье [2]. В области Низкого Заволжья расположен бассейн р. Кондурчи и нижнее течение реки Сок. Здесь преобладает скульптурно-аккумулятивный рельеф с мягкими формами водоразделов, пологими склонами речных долин и общим слабым расчленением местности. Наиболее распространенным типом почв являются выщелоченные черноземы на тяжелых суглинках и глинах. Леса занимают 8% площади и приурочены к оподзоленным черноземам песчаного и супесчаного механического состава. На дневную поверхность выходят отложения третичных и четвертичных песков и суглинков, мощным чехлом прикрывающие коренные породы. В тектоническом отношении эта область относится к юго-восточному крылу Мелекесско-Радаевской впадины [1].

Большую часть бассейна р. Сок занимает Высокое Заволжье. Рельеф этой области имеет скульптурно-эрозионный характер. Водоразделы рек узкогрядовые, местами холмистые. Реки текут в глубоких, часто асимметричных долинах. Почвы в основном обыкновенные черноземы, только на водоразделах встречаются серые лесные почвы. Леса занимают 12% этой части бассейна. Преобладающая часть области слагается отложениями казанского и татарского ярусов пермской системы, которые выведены на дневную поверхность многочисленными тектоническими поднятиями. Литологически эти отложения представлены мергелями, доломитами и песчаниками с прослоями глины.

Характеристика водоносности рек бассейна по данным гидрометрических станций приведена в таблице (см. стр. 184).

Эти данные показывают, что вниз по течению реки Сок между станциями Сургут и Гундоровка отмечается снижение меженных расходов и слоя весеннего стока. Это обстоятельство давно привлекало внимание гидрологов, однако не находило объяснения, так как не уделялось должного внимания выяснению условий формирования стока под влиянием местных физико-географических факторов.

Наблюдения на гидрометрических станциях в бассейне р. Сок имеют малую продолжительность и недостаточны для надежного определения средних многолетних величин меженного и весеннего стока. Поэтому эта величина определена путем сопоставления на кривых обеспеченности модуля и слоя стока, полученных в бассейне

Название гидрометрической станции	Название реки	Период наблюдений	Расстояние от устья в км	Площадь бассейна в км²	Средние многолетние данные			
					меженный расход в м³/сек	модуль меженного расхода в л/сек с 1 км²	объем весеннего стока в мил. м³	слой весеннего стока в мм
Сургут	Сок	1947—1954	183	4730	6,00	1,27	317	67
Гундоровка	Сок	1944—1954	93	5960	4,77	0,80	322	54
Украинка	Кондурча	1935—1942 1947 1954	40	3950	0,87	0,22	221	56

р. Сок с аналогичными данными соседних рек, имеющих длительные периоды наблюдений и сходные физико-географические условия. Относительно хорошая согласованность хронологического изменения величин стока показывает, что явление стока для Куйбышевского Заволжья имеет синхронный характер. В результате для части бассейна р. Сок, которая расположена между станциями Сургут и Гундоровка, получен слой весеннего стока в 9 мм и отрицательное подземное питание в межень.

Такое необычное распределение стока по длине реки отмечается по материалам не только средних многолетних наблюдений, но почти ежегодно.

Летом 1954 г. Отдел энергетики и водного хозяйства Казанского филиала Академии наук СССР при участии автора провел гидрометрическую съемку для выяснения условий формирования стока в бассейне р. Сок. Работы по съемке проводились в период летней устойчивой межени при неизменных условиях погоды. Они заключались в измерении расходов воды в большом количестве пунктов по длине рек и в устьях всех притоков [3].

Материалы гидрометрической съемки позволили построить графики изменения расходов по длине рек, которые показали, что меженный сток от истоков к устьям изменяется очень неравномерно. Например, на р. Кондурче (рис. 1) речной сток в межень формируется только за счет притоков, а русло основной реки не имеет приточности (горизонтальная линия расхода между притоками). Такое неравномерное распределение приточности объясняется тем, что истоки реки и притоки высшего порядка своим неглубоким врезом вскрывают верхние водоносные горизонты коренных отложений и получают подземное питание. Основная река и ряд ее притоков имеют большую глубину вреза, но прорезают безводные геологические отложения, а поэтому на этих участках подземное питание отсутствует.

В тектоническом отношении среднее течение р. Кондурчи расположено на юго-восточном склоне Мелекесской впадины. Здесь большие мощности песчаных и суглинистых отложений третичного и четвертичного возраста являются практически безводными. В песчаных толщах водоносные горизонты, вскрываемые реками, представлены только верховодкой, которая быстро истощается, и подземное питание прекращается. Главные водоносные горизонты расположены в основании песчаных толщ на контакте с коренными отложениями. Они находятся много ниже русел рек и не участвуют в их питании. Текущие здесь реки и ручьи Красная, Тростянка, Гранный, Студеный, Тукшум и Кобельма полностью пересыхают в межень.

Только в нижнем течении расход реки Кондурчи резко возрастает (почти в 3 раза) за счет перехвата ее глубоко врезанным руслом водоносных горизонтов, расположенных у подошвы третичных отложений и напорных вод, поступающих с Елхово-Сергиевских поднятий.

На реке Сок расходы воды возрастают от истоков до устья реки Сургут довольно равномерно, но начиная с этого пункта снижаются и только после впадения реки Кондурчи расходы воды вновь возрастают за счет поступления в русло подземных вод, гидравлически с рекой связанных.

Для среднего многолетнего расхода августа месяца между станциями Сургут и Гундоровка, которые расположены в этой зоне отрицательного питания, потери стока составляют 0,47 л/сек с 1 км².

Наибольшее грунтовое питание наблюдается в верховьях бассейна р. Сок. Это объясняется тем, что расположенные здесь тектонические поднятия Байтуганской и Шунгутской дислокаций вывели на дневную поверхность древние казанские отложения, которые создают интенсивную разгрузку подземных вод, в том числе и из напорных водоносных горизонтов. Часто верховья расположенных здесь рек имеют максимальное грунтовое питание, а по мере движения к устью количество поступающей воды уменьшается, так как река не вскрывает новые водоносные горизонты. Примером подобного распределения подземного питания по длине реки является Большой Суруш. В его верхнем течении (выше 20-го километра) модуль подземного питания достигает 1,0, а в нижнем течении снижается до 0,2 л/сек с 1 км². Наоборот, р. Игарка, берущая начало на том же Шалашниковском поднятии, в верховьях имеет модуль около 1,0, а в низовьях он возрастает до 2,0 л/сек с 1 км², несмотря на снижение глубины эрозионного вреза долины. Таким образом, в этом вопросе нельзя искать стандартных объяснений даже для соседних рек, так как подземное питание их может сильно изменяться под влиянием местных особенностей геологического строения.

Снижение меженных расходов воды в среднем течении р. Сок вызвано рядом причин. Одной из них могут быть потери на испарение с водной поверхности реки и на транспирацию растительностью с поймы. Как известно, эти потери могут составлять значительную величину [3]. В среднем течении р. Сок для этого имеются благоприятные условия, так как русло реки сильно зарастает, скорость течения незначительная, а мельничные плотины подпирают горизонт воды до уровня бровки поймы. Наличие потерь стока и в зимний период, когда русло покрыто льдом, указывает на возможность и других причин этих потерь. Эта часть бассейна сложена трещиноватыми карбонатными породами, которые не имеют водоносных горизонтов, расположенных выше местных базисов эрозии, поэтому отсутствует подземное питание. Трещиноватость пород, а также карстовые формы в долине реки могут явиться поглотителями вод речного стока. Этот вид потерь может быть постоянным, так как рассматриваемая часть бассейна лежит на моноклинальном склоне, имеющем падение в южном направлении, куда и происходит постоянный отток грунтовых вод в бассейн р. Самары, где отмечаются напорные воды в казанских отложениях. Высокое подземное питание в устьевом участке р. Сок объясняется тем, что глубокий врез русла перехватывает напорные грунтовые воды, поступающие с крутого северного склона Жигулевской дислокации (Красно-Глинское, Водинское и Чубовское поднятия).

Для более детального представления об условиях поступления подземных вод в гидрографическую сеть составлена карта подземного питания (рис. 2). Она построена путем расчленения стока по мельчайшим частным бассейнам. На карте видно, что в бассейне реки

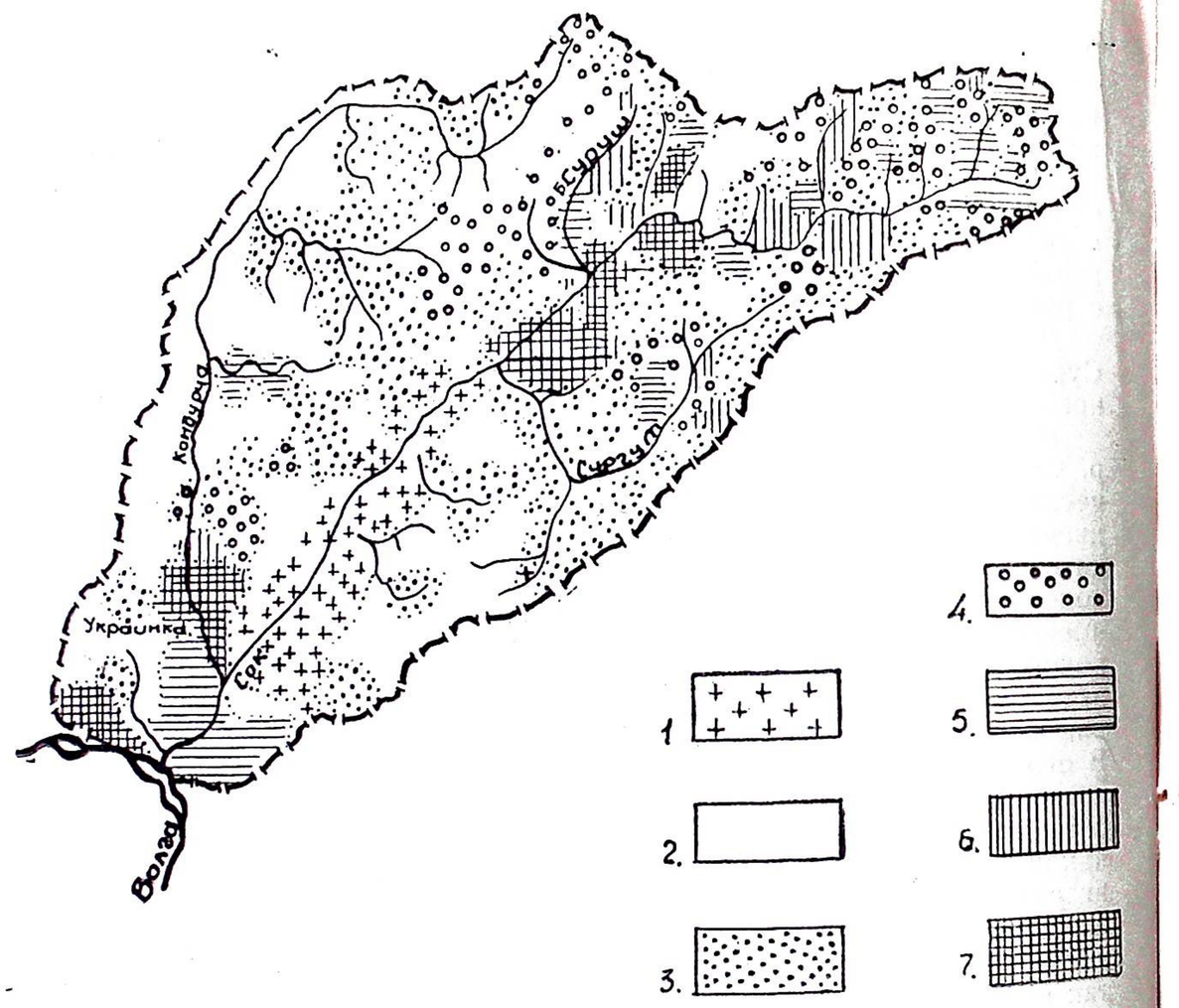


Рис. 2. Карта подземного питания в бассейне р. Сок.

1 — отрицательное подземное питание; 2 — нулевое подземное питание; 3 — до 0,5 л|сек с 1 кв. км; 4 — до 1 л|сек. с 1 кв. км; 5 — до 2 л|сек с 1 кв. км; 6 — до 3 л|сек. с 1 кв. км; 7 — до 4 л|сек с 1 кв. км.

Сок имеются обширные площади с нулевыми значениями подземного питания и даже с отрицательными его величинами.

Потери талого стока на части бассейна р. Сок между Сургутом и Гундоровкой начинаются на водоразделах, где отмечено значительное проявление карста и трещиноватость горных пород. Косвенным подтверждением потерь весеннего стока является характер русел протекающих здесь рек: Орловка, Черновка, Хорошенькая и др. Несмотря на относительно значительные площади водосборов, русла этих рек слабо проработаны, а в устьевых участках представлены слабо выраженными, заросшими травой и даже распаханными тальвегами. В период половодья, при повышенных горизонтах воды, возрастают русловые потери стока в р. Сок, вследствие трещиноватости и карста, за счет оттока вод в результате увеличения статического напора. Поэтому для закарстованной долины р. Сок слой весеннего стока равен 9 мм, а для всей части этого бассейна (до устья)— 20 мм. В бассейне р. Кондурчи слой стока 60 мм, а в верховьях р. Сок 70—80 мм.

Во всяком случае разнообразие в водоносности бассейна нельзя объяснить неравномерностью в количестве выпадающих осадков. Различия в условиях увлажнения между Низким и Высоким Заволжьем имеются, но они не согласуются с распределением водоносности. В области Низкого Заволжья (р. Кондурча и нижнее течение р. Сок) характерно бóльшее количество осадков холодного периода по сравнению с остальной частью бассейна р. Сок, лежащей в области Высокого Заволжья. Таким образом, различия в водоносности рек можно объяснить не климатическими, а главным образом, остальными физико-географическими условиями, как литология, тектоника, рельеф и почвенный покров, которые формируют сток в бассейне реки Сок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бакиров А. А. Современные представления о геологическом строении кристаллического фундамента Русской платформы. Труды Академии нефтяной промышленности, вып. 1, 1954.

2. Мильков Ф. Н. Лесостепь Русской равнины. Опыт ландшафтной характеристики. АН СССР, 1950.

3. Петров Г. Н. Меженный сток и его изучение (методика исследований на примере малых рек Среднего Поволжья). Труды Казанского филиала АН СССР, серия энергетики и водного хозяйства, вып. 1, 1956.

ИЗВЕСТИЯ КАЗАНСКОГО ФИЛИАЛА АКАДЕМИИ НАУК СССР
СЕРИЯ ЭНЕРГЕТИКИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Вып. 1 *1957*

Г. Н. Петров, Р. А. Сафиуллин

К МЕТОДИКЕ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ ЛЕСА НА МАКСИМАЛЬНЫЕ РАСХОДЫ ПОЛОВОДЬЯ

В инженерной гидрологии считают, что при всех условиях лес замедляет таяние снега, способствует увеличению потерь талого стока на инфильтрацию, снижает слой весеннего стока и уменьшает пик половодья. Эти соображения основаны на наличии физической и ветровой тени в лесу, чем и аргументируется часто наблюдаемое запаздывание схода снежного покрова в лесу по сравнению с полем. Подтверждением служит формально-статистическое сопоставление характеристик стока по залесенным и безлесным речным бассейнам за отдельные годы. При этом не выясняются условия, при которых обеспечиваются экстремальные значения стока на тех и других реках, не учитывается характер леса и его изменение в результате естественных процессов развития и под влиянием хозяйственной деятельности человека.

Влияние леса на уменьшение максимального расхода половодья оценивается неодинаково (таблица 1) и определяется фактом наличия леса [6, 11[, его составом [1, 13], расположением в бассейне [8] или типом залесенных почв [12].

Мнение о запаздывании таяния снега в условиях леса и о его одностороннем влиянии на сток разделяется не всеми исследователями. Наблюдался более ранний сход снега в лесу по сравнению с открытой территорией [4]. Уменьшение весеннего стока с увеличением лесистости отмечается не всегда, а влияние леса на максимум половодья определяется не только процентом залесенности, но также составом леса, площадью бассейна и прочими факторами [9]. Отмечены возможности одновременного схода снежного покрова в лесу и в поле. Утверждают, что наибольшее снижение весеннего стока происходит при лесистости, близкой к 50% и при чередовании залесенных и безлесных участков [3]. Однако низкие модули максимальных расходов можно объяснить недостаточным количеством наблюдений при указанной залесенности или влиянием почвенных и геологических условий. Некоторые отрицают влияние леса на снижение пика половодья, т. к. оно вуалируется совокупностью других физико-географических факторов [7]. Другие считают, что пик половодья снижается только при расположении леса в верховьях рек, так как к моменту схода снега в лесу закончится сток с безлесных участков в низовьи [8].

Таблица 1

Автор формулы	Вид формулы для определения коэффициента уменьшения максимального расхода за счет лесистости в транскрипции авторов	Состав леса или тип почвы	Коэффициент снижения максимального расхода половодья в зависимости от процента лесистости		
			10%	40%	80%
1	2	3	4	5	6
Кочерин Д. И. [11]	$f = 1 - 0{,}3\gamma$	Все леса	0,97	0,88	0,76
Соколовский Д. Л. [11]	$f_1 = 1 - \delta\gamma$	Лиственные	0,97	0,88	0,76
		Хвойные	0,94	0,76	0,52
Огиевский А. В. [8]	$\beta = 1 - 0{,}75\frac{f}{F}$	Все леса	0,92	0,70	0,50
Мокляк В. И. [6]	$\beta = \frac{1}{1 + \frac{f_1}{F}}$	Все леса	0,91	0,74	0,56
Федоров Л. Т. [13]	$f_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + \alpha\beta}}$	Лиственные	0,98	0,91	0,85
		Смешанные	0,97	0,88	0,79
		Хвойные	0,96	0,85	0,75
Соколовский Д. Л. [12]	$S' = 1 - \gamma \lg (1 + f_л)$	Суглинистые почвы	0,73	0,56	0,48
		Песчаные почвы	0,58	0,36	0,24
Алексеев Г. А. [1]	$Л = \frac{1}{1 + \alpha f_л}$	Лиственные	0,91	0,71	0,56
		Смешанные	0,87	0,62	0,45
		Хвойные	0,83	0,56	0,38

Примечания.

В формуле Кочерина Д. И. γ — лесистость в долях от площади бассейна; формула предложена для рек южных районов с площадью водосбора 2000—5000 км².

В формуле Соколовского Д. Л. [11] γ — то же, что и в формуле Кочерина Д. И.; для лиственных лесов лесостепной зоны рекомендуется $\delta = 0{,}30$, для северной хвойной тайги — 0,60.

В формуле Огиевского А. В. f — площадь бассейна, покрытая лесом; F — вся площадь водосбора. Формула применима при лесистости менее 70% и расположении леса в верхней и средней части бассейна; при большей залесенности $\beta = 0{,}5$; при размещении леса в нижней части бассейна $\beta = 1{,}0$.

В формуле Мокляка В. И. буквенные обозначения те же, что и в формуле Огиевского А. В. Местоположение леса не учитывается.

В формуле Федорова Л. Т. β — лесистость в долях от площади бассейна. α — коэффициент для лиственных лесов — 0,50; смешанных — 0,75; елово-пихтовых — 1,0.

В формуле Соколовского Д. Л. [12] $f_л$ — лесистость водосбора в процентах; γ — коэффициент, характеризующий состав насаждений, подстилающие породы, глубину залегания водоупора: для суглинистых почв, покрытых лесом, 0,25 — 0,30 и для песчаных 0,35 — 0,40.

В формуле Алексеева Г. А. $f_л$ — лесистость в долях от площади бассейна; α — коэффициент состава леса: для лиственных — 1,0, смешанных — 1,5 и хвойных — 2,0.

Произведенные нами исследования для территории Среднего Поволжья показали:

1. Начало снеготаяния и в поле, и в лесу совпадает с переходом температур воздуха через нуль градусов: а) максимальных суточных — при радиационном типе весны и б) средних суточных — при адвективном типе весны. В первом случае на поверхности снега образуется ледяная корка и таяние происходит за счет оранжерейного эффекта. Этим объясняется сход снежного покрова в отдельные годы при отрицательных температурах воздуха.

2. В некоторые годы различия сроков схода снежного покрова в лесу и в поле определяются неравномерным его распределением.

Сдувание снега в отрицательные формы рельефа и к препятствиям на открытых местах создает впечатление о более раннем таянии, а в действительности происходит более ранний сход снежного покрова в поле, вследствие незначительной его высоты.

3. Замедленное таяние снега в лесу зависит не только от таксационной структуры насаждений, а в большей степени от синоптических условий весны.

Разница в сроках схода снега в лесу и в поле по наблюдениям на станциях Боровое-Поляна и Бузулук ж. д. составила от 3 (1938 г.) до 16 (1954 г.) дней, а в других местах может увеличиваться до 45—60 дней [5]. Затеняющее действие леса наибольшее влияние оказывает для среднего, чаще наблюдаемого характера весны и может отсутствовать для экстремально редких явлений. Интенсивность снеготаяния для отдельных лет, например, в Бузулукском бору (1952 г. и другие годы) бывает выше в лесу (36 мм/сутки), чем в поле (10 мм/сутки). По синоптическим условиям начало снеготаяния в лесу может наступать раньше, чем в поле. Возможность этого неосновательно исключает В. В. Рахманов [10], хотя при радиационном типе весны и при холодных ветрах таяние может проходить более интенсивно в лесу, вследствие ветровой тени и нагревания воздуха от стволов деревьев, подроста и кустарников.

4. На частично залесенных бассейнах вероятность наступления метеорологических условий, благоприятных для одновременного интенсивного таяния, мала, поэтому коэффициент, учитывающий снижение пика половодья за счет лесистости, должен носить вероятностный характер. На этом основании, для обеспеченности расходов один раз в 100 и более лет, снижение пика половодья не должно иметь места, так как синоптические условия весны такой редкой повторяемости могут обеспечить одновременное и интенсивное таяние снега в лесу и в поле.

5. Двойной пик и срезанный пик половодья одинаково часто наблюдаются на залесенных и на безлесных реках. Такую форму гидрограф приобретает вследствие возврата холодов в весенний период, а в связи с этим изменяется и интенсивность таяния. Деформированный пик половодья под влиянием неодновременного таяния снега в лесу и в поле может наблюдаться не при наибольшем из максимальных расходов воды, а при их средних, наиболее часто наблюдаемых случаях.

6. Между модулями максимальных расходов и процентом лесистости отсутствует корреляционная зависимость (таблица 2), что объясняется влиянием почвенно-геологических условий и рельефа местности. Например, на р. Бетьке высокая пересеченность местности и микрорельеф способствуют скоплению снега, чем задерживается его таяние и происходит аккумуляция стока. В бассейне р. Грязнушки эти факторы отсутствуют, таяние и сток на всей территории происходят одновременно. На реке Колтубанке низкие модули расходов объясняются не столько наличием леса, сколько тем, что в этом бассейне распространены слабоподзолистые песчаные почвы, расположенные на мощной толще аллювия. Они являются интенсивными поглотителями талого стока. Барханно-дюнный рельеф создает разновременность таяния снега на склонах и способствует аккумуляции стока в междюнных понижениях. В этом бассейне, даже при отсутствии леса, нельзя ожидать существенного увеличения модулей максимальных расходов. Одинаковое значение модулей на реках Степной Зай, Большая Кокшага, Боровка и других отмечены при различных процентах залесенности и объясняются рядом местных физико-географических факторов, играющих более существенную роль в формировании максимальных расходов, чем лес.

Не следует делать вывода о том, что залесенность бассейна не оказывает влияния на величину максимального расхода. Такое влияние, несомненно, имеет место, но его нельзя оценивать формально, руководствуясь только фактом наличия леса. В каждом отдельном случае необходимо выяснить действительные причины, обусловившие формирование максимального расхода.

Таблица 2

Река	Пункт	Площадь бассейна в км²	Лесистость бассейна %	Модуль максимального расхода 5% обеспеченности в л/сек/км²
Бетька	Еловая Пановка	145	16	430
Грязнушка	Вырыпаевка	117	15	700
Колтубанка	Лес	169	84	250
Улема	Нарманка	184	11	815
Боровка	Якутино	650	1,5	210
Берсут	Урманчеево	448	47	190
Рутка	Арбуч	1400	67	88
Степной Зай	Заинск	2900	14	150
Кондурча	Украинка	4070	7	160
Меша	Обухово	3840	17	180
Свияга	Вырыпаевка	3635	22	200
Казанка	Бол. Дербышки	2320	32	300
Мал. Кокшага	Куяр	2660	27	143
Боровка	Паника	1990	12	220
Бузулук	Байгоровка	1818	0,7	254
Ток	Красноярка	2579	0	300

7. Формирование маскимального расхода половодья может происходить:

а) за счет интенсивного таяния снегозапасов под влиянием вторжения теплого фронта и наступивших положительных среднесуточных температур воздуха. В этом случае значительное количество талых вод будет стекать с поверхности снега по крупным порам между его агрегатами и не создадутся условия для предельного насыщения всей толщи снежного покрова. По мере таяния, под снегом, по уклону поверхности, вода будет поступать в реки относительно малыми количествами, соответствующими интенсивности таяния. Такие условия таяния не обеспечат наибольший максимальный расход, так как неизбежна значительная разница в интенсивности и в сроках схода снежного покрова в лесу и в поле;

б) за счет медленного таяния, что возможно при любом типе весны. Талые воды будут стекать по снежным агрегатам преимущественно пленочным и капиллярным путем и создадут предельное насыщение водой всей толщи снежного покрова. Если после этого выпадут жидкие осадки, даже в небольшом количестве, или резко возрастет интенсивность таяния за счет повышенной радиации или вторжения теплых масс воздуха, то вся толща снега получит избыточное количество влаги, сверх максимально удерживаемого молекулярными силами снежных агрегатов. Равновесие массы снега, насыщенного водой, будет нарушено, что приведет к образованию мощного поверхностного стока, потери которого на инфильтрацию сократятся при наличии переувлажненной почвы (мерзлой и талой) или притертой ледяной корки. В 1947 году на реках Среднего Поволжья с малым процентом лесистости наблюдались подобные условия таяния и высокий пик половодья. На значительно залесенных бассейнах максимальные расходы отмечены в другие годы, что объ-

ясняется различиями в составе, полноте и других таксационных характеристик этих лесов (р. Рутка — п. Арбуч в 1948 году, р. Берсут — п. Урманчеево в 1945, р. Малая Кокшага — п. Куяр в 1952 и т. д.). Следовательно, для этих бассейнов под влиянием местных физико-географических факторов таяние снега происходило при таких метеорологических условиях, которые не явились благоприятными для образования максимального расхода.

8. Обследования лесов показали, что таксационные описания часто неправильно характеризуют их современное состояние, так как имеют давность в пределах от 1 до 30 лет. Они составлены по различным инструкциям и не всегда дают представление о почвах, травяном и моховом покрове, подлеске, подросте, лесной подстилке, полноте, ярусности и других элементах, определяющих гидрологическую роль леса. Необходимы специальные обследования для уточнения характеристик лесов, для выяснения их влияния на снеготаяние, инфильтрацию и сток по частным речным бассейнам, а не по мелким таксационным подразделениям (квартал, выдел, литер, пробная площадка). Обследования должны учесть перспективы изменения леса как в процессе естественного развития, так и в ходе хозяйственной деятельности человека.

9. Для определения роли леса в формировании половодья для каждого географо-климатического района необходимо установить зависимость между сроками схода снежного покрова в лесу и в поле и определяющими их синоптическими условиями весны. На основании такой зависимости и характеристик весен за длительный период прошлого можно установить предельно возможные случаи формирования максимального расхода. Тогда вероятное влияние леса определится не по стоковым характеристикам, а по факторам, их обусловливающим [2]. Поэтому коэффициент, снижающий пик половодья, под влиянием лесистости будет иметь различные значения для расходов разной обеспеченности в зависимости от характеристики леса, вероятности синоптических условий, снегозапасов и т. д.

В бассейнах рек с площадью более 2000—3000 км² в отдельные годы наблюдается неодновременное снеготаяние и движение его фронта, которые вуалируют влияние леса, поэтому лесистость следует учитывать только для бассейнов меньшего размера.

10. Наблюдения на лесогидрологических станциях, а также на стоковых площадках, необходимы для уточнения физической сущности процесса формирования стока. Использовать эти наблюдения для расчетных целей не представляется возможным в силу большого разнообразия и сложного сочетания всех факторов стока даже в пределах малых бассейнов. Другим недостатком для использования этих данных является трудность выбора площадки, репрезентативной для каждого частного бассейна.

Выводы

1. Существующие формулы для учета снижения пика половодья под влиянием лесистости составлены на основании статистической обработки гидрометрических материалов, генетически неоднородных по условиям снеготаяния и прочим факторам формирования стока. Эти формулы в их настоящем виде нельзя рекомендовать для практического применения.

2. Влияние леса на снижение пика половодья не постоянно и зависит от характера развертывания весны, а поэтому должно учитываться коэффициентами, зависящими от вероятности наступления климатических явлений, обусловливающих пик половодья в лесах различной таксационной структуры.

3. Необходима организация специальных обследований лесов с целью выявления их гидрологической роли в каждом частном бассейне для последующего районирования лесов по их влиянию на формирование стока.

4. В качестве предварительных указаний для водохозяйственного проектирования, требующих проверки в различных географо-климатических районах, можно рекомендовать следующее снижение пика половодья за счет лесистости, при площади бассейна от 100 до 2000 км²:

при расходах 1% обеспеченности и менее — снижение пика половодья не предусматривать;

при расходах 5% обеспеченности — применять:

а) формулу Л. Т. Федорова при тяжелых глинистых почвах или сплошном дерновом покрове; б) формулу Г. А. Алексеева при отсутствии дернового покрова на песчаных почвах и барханно-дюнном рельефе.

Следует выяснять возможность снижения пика половодья за счет комплексного влияния почв, рельефа и геологического строения бассейнов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Г. А. Расчет паводочного стока рек СССР. Гидрометеоиздат, Ленинград, 1955.
2. Болдаков Е. В. О пересмотре ГОСТ 3999-48 по определению максимальных расходов воды. Ж. „Гидротехническое строительство“, № 2, 1953.
3. Иванов И. В. О влиянии лесистости бассейна на максимальный расход половодья. Труды Центрального института прогнозов. Вып. 24 (51), 1951.
4. Марин И. О снеготаянии в лесу. Ж. „Метеорологический вестник“, № 4, 1891.
5. Молчанов А. А. Гидрологическая роль сосновых лесов на песчаных почвах. АН СССР, 1952.
6. Мокляк В. И. Расчеты весенних максимальных расходов воды. Труды Киевской н.-и. гидрологической обсерватории УГМС УССР. Вып. 3 (4), 1949.
7. Мурашов С. И. Исследование связи между облесенностью водосборов и половодьем бассейна р. Оки. Труды ВНИИЛХ, вып. 12, 1939.
8. Огиевский А. В. Гидрология суши. Сельхозиздат, 1951.
9. Онуфриенко Л. Г. Весенний поверхностный сток малых рек Украины. Труды Украинского н.-и. гидрометеорологического института, вып. 3, 1955.
10. Рахманов В. В. О некоторых особенностях весеннего снеготаяния в лесу в связи с условиями погоды. Труды Центрального института прогнозов. Вып. 40 (67), 1955.
11. Соколовский Д. Л. Нормы максимального стока весенних паводков рек СССР и методы их расчета. Гидрометеоиздат, 1937.
12. Соколовский Д. Л. Речной сток. Гидрометеоиздат, 1952.
13. Федоров Л. Т. Исследования и расчет максимальных расходов снеговых половодий рек европейской части СССР. Сборник „Проблемы регулирования речного стока“. Вып. 5, АН СССР, 1952.

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел энергетики

Беднов Н. И., Капустин В. А. Показатели электрификации и режим энергопотребления сельскохозяйственных районов 3

Беднов Н. И., Капустин В. А., Скобельцын Ю. В. К вопросу о методике определения перспективного электропотребления и расчетных нагрузок сельскохозяйственных районов 29

Михеева Т. Г. Регулирование графиков нагрузки сельскохозяйственных потребителей и совмещение их с графиками промышленных энергосистем . . 43

Скобельцын Ю. В., Толкачев Д. Ф. Основные параметры и экономические показатели водяного обогрева теплично-парниковых хозяйств при использовании тепловых отходов 71

Осипов И. Б. Централизованное электроснабжение лесоразработок и использование земли в качестве провода в лесных сетях 87

Раздел водного хозяйства

Аверьянова Г. А. Рисунок речной сети как показатель водоносности на примере р. Самары 119

Зиновьева Е. М. К вопросу о районировании слоя среднего весеннего стока на территории Среднего Поволжья 131

Петров Г. Н., Петрова Р. С. Опыт изучения заиления, фильтрации и испарения Домашкинского водохранилища. 147

Пашкеева С. И. К вопросу о выборе критерия начала снеготаяния . . 171

Широков В. М. Особенности формирования стока в бассейне р. Сок. . 181

Петров Г. Н., Сафиуллин Р. А. К методике учета влияния леса на максимальные расходы половодья. 187

Сдано в набор 16|II-1957 г. Подписано к печати 14|VI-1957 г. ПФ 08345.
Формат бумаги 70×108¹/₁₆ Печатн. листов 12,125+вклейки 1,0 п. листов. Кол. знаков 1 листе 68100.
Заказ № 073. Тираж 550.

Типография Татполиграфа Министерства культуры ТАССР.
Казань, ул. Мирославского, д. № 9.