



УДК 621.436:656.6.001.24

© *А. В. Абузов, К. В. Рудица, 2008*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АЭРОСТАТНО-КАНАТНОЙ СИСТЕМЫ

Абузов А. В. – асп. кафедры «Технология и оборудование лесопромышленного производства»; *Рудица К. В.* – студ. спец. ЛД (ТОГУ)

В статье рассказывается о проведенных испытаниях аэростатно-канатной системы (АКС) МТА-500. Приводятся результаты исследований по натяжению канатов, изучению подъемной силы аэростата. Даются характеристики новой аэростатной лебедки ЛНЗ-151М. Затрагивается вопрос о целесообразности добычи газа водорода в таёжных условиях.

The paper deals with the test results of a balloon logging system МТА-500. The investigations results on rope tensions and the balloon elevating force are given. A new balloon winch LNZ-151M is characterized. The expediency of hydrogen extraction in forests is discussed.

Цель исследования:

- сравнение эффективности работы двухлинейной и трехлинейной систем управления с определением продолжительности монтажного цикла и общего рабочего времени;
- исследование аэродинамических качеств оболочки аэростата в условиях приземной зоны по наклону вертикальной оси аэростата в зависимости от силы ветра;
- исследование изменения температуры рабочего газа в зависимости от температуры окружающего воздуха;
- исследование подъемной силы аэростата в зависимости от температуры окружающего воздуха и высоты над уровнем моря;
- исследование натяжения канатов в трехлинейной системе управления;
- отработка приемов монтажа системы, перемещения аэростата, подъем и посадка, наведения на рабочую точку;

- возможность и трудоемкость проведения работ по добыче и хранению газа в лесных условиях [1].

Описание объектов, используемых в эксперименте:

1) Аэростат МТА-500

Характеристики аэростатного носителя:

- тип – оболочка луковичного типа;
- объем – 500 м³;
- высота – 10 м;
- диаметр – 8,5 м;
- подъемная сила – 450 кг;
- максимальная полезная нагрузка – 300 кг;
- вид ткани – оболочка из виниловой ткани.

2) Канато-блочная система.

- двух- и трехлинейная система управления;
- расстояние между лебедками – min ~200 м, max ~ 400 м;
- стальной канат двойной свивки Д = 6,5 мм, ГОСТ-3069-80, тип ЛК-О, вес 162 г/пог. м, разрывное усилие 3230 кг;
- синтетический канат AMSTEEL (duneema SK-60), Д=6 мм, разрывное усилие 3357 кг, вес 24 г/пог.м.

3) Аэростатная лебедка ЛНЗ-151М.

Аэростатная лебедка ЛНЗ-151М является модернизированной лебедкой класса ЛНЗ-151 (рис. 1). Модернизация была проведена на Хабаровском заводе имени А. М. Горького «ХАБСУДМАШ».

ЛНЗ-151М имеет следующие технические характеристики:

- 1) Максимальная мощность двигателя ТД-27 – 66 кВт;
- 2) Рабочая нагрузка – 1200 кгс;
- 3) Максимальная расчетная нагрузка лебедки – 3500 кгс;
- 4) Максимальная расчетная нагрузка на шпиль – 3000 кгс;
- 5) Скорость движения каната – 0,6–6,6 м/с;
- 6) Канатоемкость барабана при Д = 6 мм – 5200 м;
при Д = 6,5 мм – 4430 м;
при Д = 9,6 мм – 2000 м;

Расход топлива – 0,150 г на выбирание 1000 м каната;

Масса лебедки (без каната и горючего) – 3100 кг;

Габариты лебедки, мм:

- длина – 3750;
- ширина – 1790;
- высота – 1400.

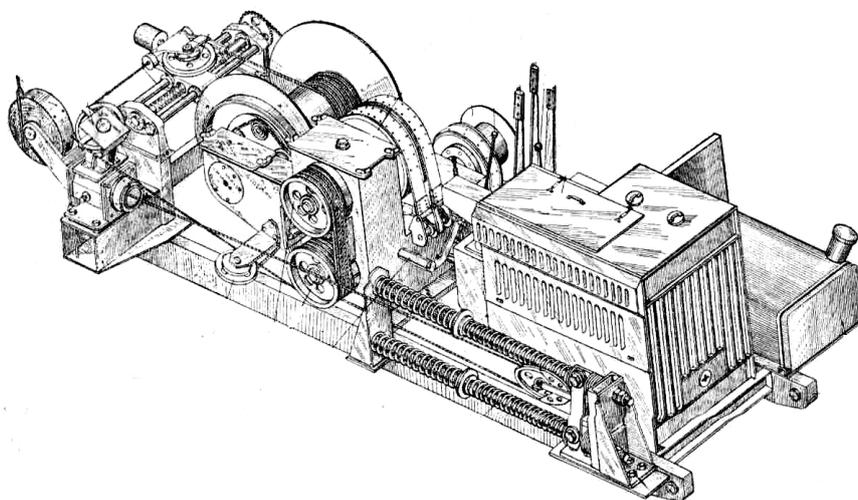


Рис. 1. Аэростатная лебедка ЛНЗ-151

Сравнение эффективности работы двухлинейной и трехлинейной систем управления

Для определения эффективности использования двухлинейной и трехлинейной системы управления АКС необходимо было провести натурные испытания рабочей модели, которые соответствовали бы реальным эксплуатационным условиям, при которых планируется использовать полномасштабную АКС.

Для этого были выбраны следующие условия: максимальное расстояние обрабатываемого участка – 400 м, минимальное расстояние – 200 м, присутствие водороздела (ручей шириной от 5 до 8 м, пологий рельеф, резко переходящий в крутой склон (у реки), до 30°, присутствие болотистой местности вдоль левой части участка.

Эксплуатация двухлинейной системы велась по двум схемам.

Схема А. Лебедки находятся по разным сторонам участка напротив друг друга. Данная схема подразумевает наличие двух подъездных дорог по обе стороны участка.

В данном случае перемещение аэростата (воздушной линии) возможно выполнять выбиранием каната одной из лебедок в необходимую для этого сторону. Однако этот вариант предусматривает, что на пути перемещения каната нет высоких деревьев. Существует один вариант преодоления этого ограничения: необходимо, чтобы аэростат во время перемещения на смежную пашку находился вертикально над движущейся лебедкой (рис. 2).

Схема Б. Обе лебедки находятся на одной стороне участка. В этом случае канат одной из лебедок проходит по земле через весь участок, в конце которого через концевой блок воздушным путем подводится к грузовой подвеске аэростата и крепится на ней (рис. 3).

После обработки пасеки канат с блоком необходимо перемещать на следующую пасеку. Существуют два варианта схемы Б:

а) предварительно устанавливаются на каждой пасеке по блоку, и канат проходит одновременно через все блоки (рис. 4);

б) при обработке очередной пасеки происходит новый монтаж системы.

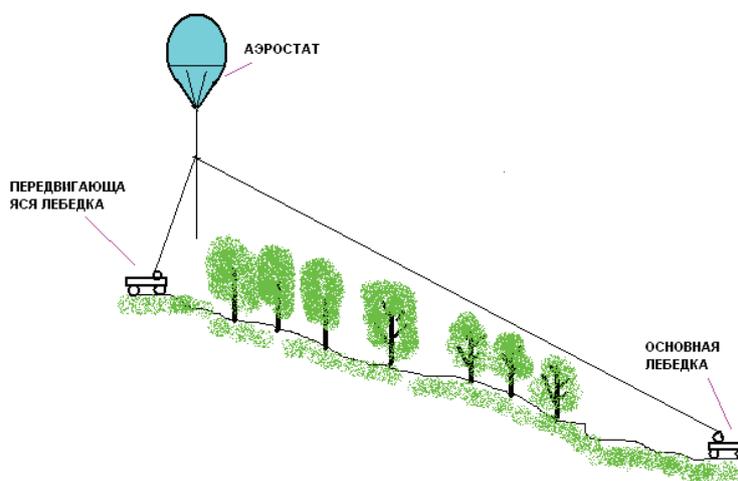


Рис. 2. Система с использованием передвигающейся лебедки

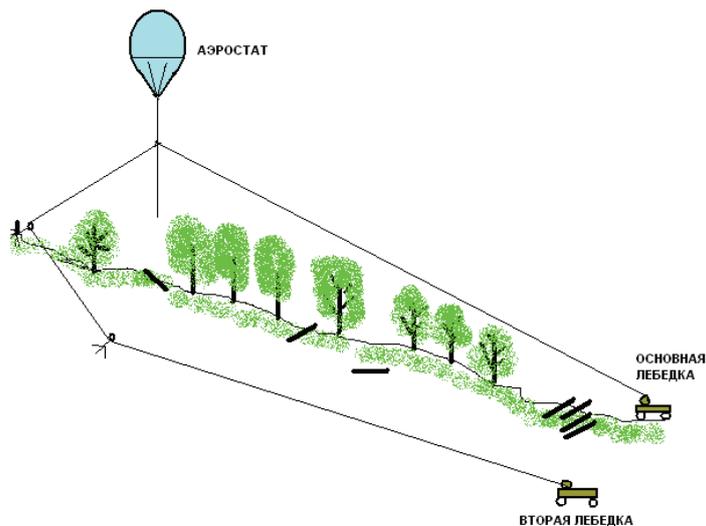




Рис. 3. Система с использованием постоянного демонтажа канатов

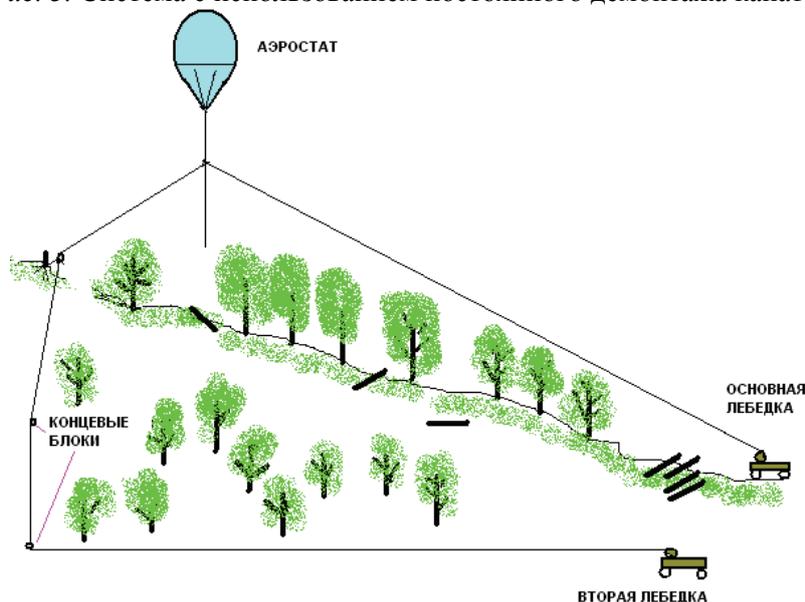


Рис. 4. Система с использованием концевых блоков

При проведении экспериментов был выбран вариант «б» как наиболее трудоемкий, т. к. вариант «а» предусматривает минимальное количество помех при смещении аэростата к очередному блоку.

Монтажный цикл двухлинейной системы составил, с:

- установка аэростата на якорь – 300–600;
- размотка монтажного каната, закрепление блока – 900–1500;
- размотка рабочего каната 2-й лебедки с помощью монтажного каната – 240–420;
- пропускание рабочего каната через концевой блок – 180;
- закрепление рабочего каната к грузовой подвеске аэростата – 90;
- смотка монтажного каната – 90–150;
- смотка рабочего каната 2-й лебедки – 40–150;

Итого общее время за период испытаний составило – 1920–3210.

Хронометражные данные по эксплуатации двухлинейных и трехлинейной систем сведены в табл. 1–3 [2]. В табл. 1 скорость перемещения в порожнем состоянии 1,5–2 м/с, скорость перемещения в грузовом состоянии 2–3 м/с (Система № 1); в табл. 2 скорость перемещения в порожнем состоянии 1,5–2 м/с, скорость перемещения в грузовом состоянии 2–3 м/с. (Система № 2); в табл. 3 скорость перемещения в порожнем состоянии 1,5–2 м/с, скорость перемещения в грузовом состоянии 2–3 м/с (Система № 3).



Таблица 1

**Хронометражные данные при использовании
двухлинейной системы с постоянным демонтажом**

Номер бревна	Номер пасеки	Удаленность от основной лебедки, м	Объем бревна, м ³	Время порожнего хода, с	Время наведения и зацепа, с	Время груженого хода, с	Время опускания и отцепки, с	Время монтажа, с	Общее время, с
1	1	354	0,3	214	58	173	53	3210	3708
2	1	336	0,25	165	58	144	53	-	420
3	2	300	0,15	198	57	137	52	3150	3594
4	2	262	0,35	141	55	135	53	-	384
5	3	162	0,40	88	56	66	51	2602	2863
6	4	312	0,2	180	53	138	50	3144	3565
7	5	256	0,2	121	53	101	50	2762	3087
8	6	114	0,25	70	57	47	52	1970	2196
9	6	284	0,25	147	51	97	48	-	343
10	7	186	0,32	104	47	85	45	2420	2701
11	8	260	0,25	153	47	85	44	2633	2962
12	10	248	0,3	130	49	86	40	2620	2925
13	10	140	0,3	74	49	58	43	-	224
14	11	210	0,27	116	48	80	40	2497	2781
15	12	168	0,15	111	51	66	48	2454	2730
16	13	222	0,2	118	52	86	46	2503	2805
17	15	194	0,2	95	45	75	40	2403	2658
18	17	100	0,35	63	46	42	41	1920	2112
19	17	142	0,25	72	50	55	42	-	219
20	17	210	0,15	103	51	70	40	-	304

Итого общее рабочее время, затраченное на обработку данного участка, составило 42581 с или 11,8 ч.



Таблица 2

**Хронометражные данные при использовании
двухлинейной системы с переездом лебедки**

Номер бревна	Номер пасеки	Удаленность от основной лебедки, м	Объем бревна, м ³	Время порожнего хода, с	Время наведения и зацепа, с	Время груженого хода, с	Время опускания и отцепки, с	Время переезда, сек	Время перемещения аэростата по вертикали, с	Общее время, с
1	1	354	0,3	215	57	171	52	-	-	495
2	1	336	0,25	166	59	144	51	-	-	420
3	2	300	0,15	197	55	136	51	25	223	687
4	2	262	0,35	143	53	132	53	-	-	381
5	3	162	0,40	88	51	67	50	30	197	483
6	4	312	0,2	181	54	140	51	28	205	659
7	5	256	0,2	120	55	101	48	31	215	570
8	6	114	0,25	72	49	46	45	33	221	466
9	6	284	0,25	149	50	96	47	-	-	342
10	7	186	0,32	101	48	84	44	32	224	533
11	8	260	0,25	151	47	86	45	27	219	575
12	10	248	0,3	133	47	84	44	49	215	572
13	10	140	0,3	75	44	57	47	-	-	223
14	11	210	0,27	114	43	83	43	30	218	531
15	12	168	0,15	110	44	65	42	30	215	506
16	13	222	0,2	119	45	87	43	30	210	534
17	15	194	0,2	95	44	77	42	52	211	521
18	17	100	0,35	65	43	41	43	49	183	424
19	17	142	0,25	71	40	56	40	-	-	207
20	17	210	0,15	101	40	71	40	-	-	252

Итого общее рабочее время, затраченное на обработку данного участка, составило 9381 с или 2,6 ч.



Таблица 3

**Хронометражные данные при использовании
трехлинейной системы (рис. 5)**

Номер бревна	Номер пасеки	Удаленность от основной лебедки, м	Объем бревна, м ³	Время порожнего хода, с	Время наведения и зацепа, с	Время грузового хода, с	Время опускания и отцепки, с	Время перемены на следующую пасеку, с	Общее время, с
1	1	354	0,3	236	67	177	53	10	533
2	1	336	0,25	168	63	168	51	-	450
3	2	300	0,15	200	56	136	53	10	455
4	2	262	0,35	145	58	131	53	-	387
5	3	162	0,40	90	51	65	50	10	266
6	4	312	0,2	183	54	141	51	10	439
7	5	256	0,2	128	56	102	49	10	345
8	6	114	0,25	76	45	46	46	10	223
9	6	284	0,25	158	50	95	47	-	350
10	7	186	0,32	103	47	85	43	10	288
11	8	260	0,25	153	49	87	45	10	344
12	10	248	0,3	138	48	83	45	18	332
13	10	140	0,3	78	44	56	46	-	224
14	11	210	0,27	117	47	84	43	10	301
15	12	168	0,15	112	45	67	43	10	277
16	13	222	0,2	123	49	89	44	9	314
17	15	194	0,2	97	49	78	44	17	285
18	17	100	0,35	67	45	40	43	17	212
19	17	142	0,25	79	43	57	40	-	219
20	17	210	0,15	105	42	70	41	-	258

Итого общее рабочее время, затраченное на обработку данного участка, составило 6502 с или 1,8 ч.

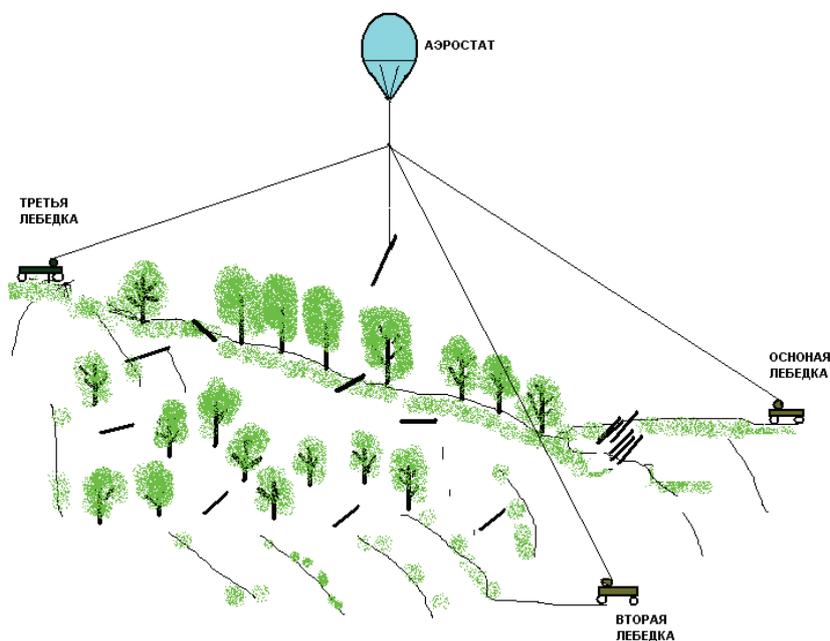


Рис. 5. Трехлинейная система трелевки

Выводы: на графике (рис. 6) хорошо видно, что наименьшее время, затраченное на полный цикл обработки участка, относится к системе № 3 (трехлинейная система) – 1,8 ч и к системе № 2 (двухлинейная с переездом лебедки) – 2,6 ч. Но если учесть, что в реальных практических условиях для постоянного переезда лебедки необходима объездная дорога, а ее строительство влечет за собой дополнительные временные и денежные затраты, то преимущество в эксплуатации остается за трехлинейной системой управления [3].

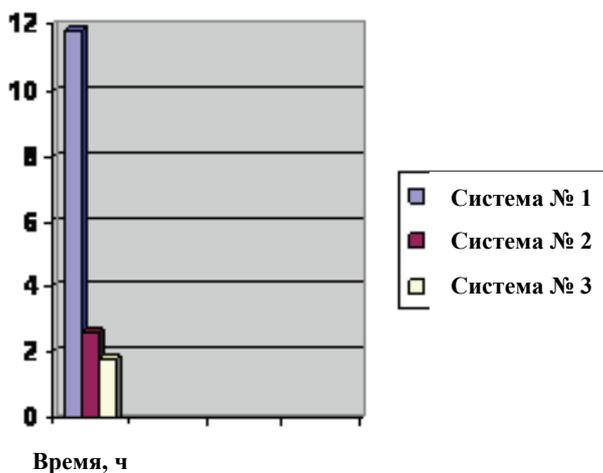


Рис. 6. График сравнения общего времени обработки участка тремя видами АКС

Исследование подъемной силы аэростата МТА-500 в зависимости от ряда факторов

При использовании аэростатной трелевки главным элементом является сам аэростатный носитель, наполненный газом, который, в свою очередь, оказывает влияние на общую работу аэростатно-канатной системы в целом, т. к. на прямую зависит от температуры окружающего воздуха и высоты нахождения аэростата над уровнем моря.

В отличие от прошлых аэростатных носителей сигарообразного или змейкового типа, где подъемная сила зависела от статической и динамической подъемных сил, в нашем случае основное значение играет статическая подъемная сила, которая и была исследована [4].

Описание схемы исследования подъемной силы

Аэростат 1 через подвеску 4 и вертлюг 5 крепится к динамометру 3, который закреплен на наземном якоре 7. Также к вертлюгу крепятся канаты 6 трех аэростатных лебедок ЛНЗ-151М 2, которые расставлены по углам равностороннего треугольника на расстоянии 50 м друг от друга.

Лебедки ЛНЗ-151М служат в данном случае для удержания аэростата в момент отцепки и замены подвески с динамометра, а также для сдвигания аэростата на необходимую высоту.

Первое измерение было выполнено в 7 ч 20 мин утра, при температуре 12,4 °С. Аэростат находился непосредственно на якоре (через динамометр) при отметке 56 м над уровнем моря.

Далее, отцепив от вертлюга динамометр, присоединяют к нему подвеску длиной 50 м и крепят к ней динамометр. После этого сдают лебедками удерживающие канаты до тех пор, пока подвеска не становится достаточно натянутой (это проверяется по расслабленным удерживающим канатам) (рис. 7).

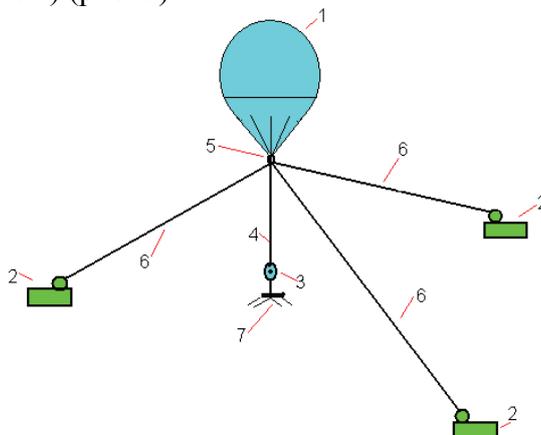


Рис. 7. Схема при замера подъемной силы аэростата



Сняв показания с динамометра, притягиваем аэростат обратно на якорь и добавляем 100 м подвески, цикл повторяем. И так далее до 300 м.

Обработка результатов подъемной силы аэростата велась с учетом веса сдаваемых канатов, соответственно, чтобы получить чистую подъемную силу аэростата, вес канатов отнимался.

Длина выпущенных канатов отображалась на приборной доске лебедок, что упрощало вычисления. Результаты замеров приведены в табл. 4.

Таблица 4

Хронометражные данные при замере подъемной силы аэростата

Время замера, ч	Температура окружающего воздуха, гр.	Высота над уровнем моря, м			
		56	100	200	300
7-00	12,4	502	491	485	479
10-00	14,3	493	487	481	475
12-00	16,0	489	483	477	472
14-00	18,5	486	480	474	468
16-00	20,3	483	477	471	365

Выводы: в течение времени (с 7–16 ч) температура окружающего воздуха изменялась с 12,4 до 20,3 °С, диапазон подъема аэростата составил с 54 до 300 м над уровнем моря, при этом подъемная сила аэростата в совокупности изменилась на 6,7 % от первоначального значения 502 кг в сторону уменьшения. Соответственно увеличение температуры и высоты работы аэростата в течение рабочего дня ведет к уменьшению его подъемной силы, а также рейсовой нагрузки.

Экспериментальные работы по определению нагрузок в тяговых канатах

Основная цель данного эксперимента – определить распределение нагрузок между тремя тяговыми канатами в зависимости от вида рельефа (впадина или склон) и длины грузовой подвески. На участке были выбраны два места: впадина и склон и непосредственные точки, куда должна была опускаться грузовая подвеска [3].

Длина грузовой подвески варьировалась следующим образом: 25, 50, 75, 100 м.

Для определения натяжения в общей сложности использовалось 6 динамометров. Три электронных дистанционных динамометра ЭВ-ДС-5 крепятся между каждым из тяговых канатов и соединительным кольцом грузовой подвески. Крепление динамометров происходило в тот момент, когда аэростат находился на якоре. Данные динамометры снимали показания в верхней точке соединения канатов с подвеской.

Три других механических динамометра находились непосредственно на пульте управления каждой лебедки и снимали показания в нижней точке каната у измерительного блока лебедки. Шкала механических динамометров отградуирована в килограммах (от 0 до 3000). На шкале установлена вторая контрольная стрелка, которая фиксирует наибольшее отклонение основной стрелки при изменяющихся натяжениях каната.

Работа проводилась в следующем порядке: закрепление необходимой подвески проводилось, когда аэростат находился на якоре, после чего происходил подъем аэростата и перемещение его в точку замера показаний. После подхода к точке движение аэростата прекращали и в течение 30–40 с давали системе устояться. Далее, на самой минимальной скорости 0,41 м/с начинали выбирать аэростат всеми тремя лебедками до тех пор, пока подвеска не коснется земли, в этот момент происходило снятие показаний со всех 6 динамометров. После этого аэростат возвращали обратно на якорь, меняли подвеску и повторяли цикл. Выше описанные операции выполнялись, как для склона, так и для впадины.

Самые большие нагрузки возникали во время работы над впадиной, что привело, в какой-то момент к обрыву одного из канатов, длина подвески при этом была 25 м. Как показали в дальнейшем теоретические расчеты, нагрузка в этой точке с подвеской 25 м превышала разрывное усилие каната в 2 раза.

Экспериментальные замеры проводились вечером, когда погодные условия были идеальными: температура +18 °С, скорость ветра 3,1 м/с. Показания, снятые при идеальных условиях, в дальнейшем достаточно точно могут показать достоверность выбранного расчетного метода по определению натяжений в канатах.

Опытные данные по натяжению канатов и сравнение их теоретическими значениями приведены в табл. 5.



Таблица 5

**Сопоставление теоретических данных натяжения канатов
с опытными результатами (впадина)**

Длина грузовой подвески, м	<u>Опытные результаты натяжений канатов, кг</u>					
	<u>Теоретические расчетные данные натяжений канатов, кг</u>					
	Погрешность, %					
	Канат АО		Канат ВО		Канат СО	
<i>Впадина</i>						
	АО под- веска	АОле- бедка	ВОпод- веска	ВОлебед- ка	СОподве- ска	СОлебед- ка
25	<u>> 3000</u>	<u>>3000</u>	<u>Разрыв</u>	<u>Разрыв</u>	<u>>3000</u>	<u>>3000</u>
	6613	6612	7867	7869	6689	6689
50	<u>903</u>	<u>897</u>	<u>1040</u>	<u>1048</u>	<u>913</u>	<u>915</u>
	<u>957</u>	<u>954</u>	<u>1100</u>	<u>1099</u>	<u>958</u>	<u>956</u>
	6,0	6,4	5,5	4,6	4,7	4,5
75	<u>369</u>	<u>365</u>	<u>393</u>	<u>390</u>	<u>382</u>	<u>379</u>
	<u>393</u>	<u>387</u>	<u>412</u>	<u>409</u>	<u>403</u>	<u>398</u>
	6,5	6,0	4,8	4,8	5,2	4,8
100	<u>260</u>	<u>256</u>	<u>250</u>	<u>244</u>	<u>281</u>	<u>278</u>
	<u>278</u>	<u>269</u>	<u>265</u>	<u>259</u>	<u>298</u>	<u>291</u>
	6,4	4,8	5,6	5,8	5,7	4,5
<i>Склон</i>						
25	<u>465</u>	<u>462</u>	<u>1346</u>	<u>1340</u>	<u>1025</u>	<u>1016</u>
	<u>485</u>	<u>481</u>	<u>1389</u>	<u>1387</u>	<u>1061</u>	<u>1058</u>
	4,1	4,0	3,1	3,4	3,4	4,0
50	<u>260</u>	<u>251</u>	<u>756</u>	<u>750</u>	<u>565</u>	<u>562</u>
	<u>272</u>	<u>266</u>	<u>788</u>	<u>785</u>	<u>592</u>	<u>588</u>
	4,6	5,9	4,1	4,5	4,8	4,6
75	<u>180</u>	<u>175</u>	<u>554</u>	<u>550</u>	<u>400</u>	<u>395</u>
	<u>193</u>	<u>186</u>	<u>577</u>	<u>573</u>	<u>421</u>	<u>415</u>
	5,4	5,9	4,0	4,0	5,0	4,8
100	<u>145</u>	<u>137</u>	<u>452</u>	<u>448</u>	<u>317</u>	<u>311</u>
	<u>153</u>	<u>145</u>	<u>476</u>	<u>471</u>	<u>334</u>	<u>327</u>
	5,5	5,8	5,1	4,9	5,1	4,9



Максимальный показатель погрешности по впадине составил, 6,5 %, по склону –5,9 %.

Выводы: сравнение теоретических результатов с результатами экспериментальных исследований по замеру натяжений в канатах трехлинейной аэростатно-канатной системы показывает достаточную точность расчетных формул для практического использования (максимальная погрешность составила 5,0 %).

Экспериментальные работы по возможности выработки газа (водорода) в полевых условиях

В экспериментальных работах по добыче несущего газа водорода было задействовано следующее оборудование:

- самопередвигающаяся водородная установка ВУ-500, производительностью 500 м³/ч. Установка базируется на базе автомобиля ЗиЛ-131, двигатель которого и является приводом барабана растворителя установки. Сырьем для получения водорода на установке ВУ-500 служат едкий натр (каустическая сода), ферросилиций и вода. Получение водорода основано на принципе взаимодействия едкого натра с кремнием, содержащимся в ферросилиции. Химическая реакция может быть выражена следующим уравнением: $2\text{NaOH} + \text{Si} + \text{H}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{SiO}_3 + 2\text{H}_2$;

- водородный компрессор ПКВ-320, производительностью 300 м³/ч и выдающий мощность по давлению 320 атм. Компрессор базируется на прицепе от автомобиля МаЗ;

- мягкие диафрагмированные газгольдеры объемом 250 м³ в количестве 2 штук;

- комплект баллонов высокого давления и большой емкости от полевого газозаправщика ПГЗ-2500. В комплект входят 7 штук 400-литровых баллонов, соединенных между собой магистралями. Разрывное давление баллона 700 атм. Максимальный объем газа в комплекте 800 м³.

До момента, когда газ оказывается в оболочке аэростата, происходит процесс, который можно описать так: после подачи химикатов и воды в установку ВУ-500 происходит реакция, продуктом которой является водород, поступающий по мягким трубопроводам в газгольде-



ры, где происходит остывание газа и освобождение его от влаги. Стоит отметить, что подача воды в установку происходит постоянно, пока идет реакция (в течение часа), это необходимо для очистки водорода от пены и части влаги.

Остывание водорода в газгольдерах должно происходить минимум 1 ч. После этого мягкие трубопроводы подсоединяют к компрессору ПВК-320 и начинается процесс компремирования, который заключается в следующем: с обратной стороны газгольдера, где находится внутренняя мембрана, через короткий мягкий рукав подсоединяют специальный вентилятор. Он нагнетает воздух в воздушный отдел газгольдера. По мере поступления воздуха мембрана продвигается вперед, тем самым выталкивая водород из газгольдера в мягкие трубопроводы, откуда он под небольшим давлением поступает в компрессор, а уже через него в комплект баллонов высокого давления ПГЗ-2500. В баллонах газ может транспортироваться и храниться долгое время [5].

Подача газа из комплекта баллонов ПГЗ-2500 может осуществляться через мягкие трубопроводы или шланги высокого давления.

Также, в зависимости от рабочей ситуации, газ может подаваться в аэростат, минуя компрессор и баллоны, сразу из газгольдера с использованием вентилятора [5].

Выводы:

- добыча газа химическим способом в полевых условиях является весьма сложным и трудоемким процессом и требует дополнительного обученного персонала;
- способ требует постоянного наличия воды (водоема), что само по себе не реально в холодное время года;
- реагенты, используемые для получения водорода, после завершения процесса представляют высокотоксичные кислотные отходы, опасные для любой жизнедеятельности, и оставлять их в лесу нецелесообразно с экологической точки зрения;
- химическую добычу газа необходимо заменить на методы, которые не несут никакой опасности для человека и окружающей среды – это очистка пиролизного газа или использование мобильных электролизеров.



Библиографические ссылки

1. Мамедова К. Р., Абузов А. В. Инструкция по проведению погрузочно-разгрузочных и трелевочных работ с использованием аэростатных носителей. Хабаровск, 2000.
2. Отчет о НИР «Исследование возможностей использования летательных аппаратов на лесозаготовках в горных условиях» / ЦНИИМЭ. Часть 1 и 2. Химки. 1985.
3. Отчет о проведении испытаний трехлинейной системы управления в совокупности с аэростатом МТА-500. Хабаровск, 2002.
4. Отчет об испытаниях аэростата-крана ЭПАК-1. МПНСУ трест ЦентрОтехмонтаж. М., 1977.
5. *Вспомогательное наземное оборудование для запуска аэростатов.* М., 1966.