

1.2. Прогнозирование

Для выполнения услуги «Прогнозирование движения спутника» пользователь должен подготовить файл исходных данных («TLE_ini.txt»), содержащий набор TLE на предшествующем интервале времени

Пример такого файла представлен ниже.

```
1 35865U 09049A 09263.18836766 .00000176 00000-0 10000-3 0 50
2 35865 098.8007 313.3591 0003564 077.3801 282.7795 14.21824067 353
1 35865U 09049A 09263.68096973 +.00000176 +00000-0 +10000-3 0 00075
2 35865 098.8007 313.8501 0003584 074.1254 286.0304 14.21824264000428
1 35865U 09049A 09264.66617459 .00000176 00000-0 10000-3 0 61
2 35865 098.8010 314.8326 0003553 071.4378 288.7185 14.21824773 567
1 35865U 09049A 09265.58100732 +.00000176 +00000-0 +10000-3 0 00097
2 35865 098.8005 315.7444 0003490 068.8840 291.2717 14.21825238000697
1 35865U 09049A 09266.00323756 .00000176 00000-0 10000-3 0 76
2 35865 098.8004 316.1656 0003476 067.7453 292.4070 14.21825238 750
1 35865U 09049A 09266.77732717 +.00000176 +00000-0 +10000-3 0 00105
2 35865 098.8003 316.9374 0003459 066.1413 294.0126 14.21825459000861
1 35865U 09049A 09267.76253122 .00000176 00000-0 10000-3 0 80
2 35865 098.8003 317.9196 0003392 063.6114 296.5400 14.21825734 1005
1 35865U 09049A 09268.74773547 +.00000176 +00000-0 +10000-3 0 00111
2 35865 098.8001 318.9020 0003361 059.7753 300.3748 14.21826020001144
.....
.....
```

В данном случае файл содержит 8 наборов TLE. Последний по времени набор TLE относится к моменту начала прогнозирования. Пользователь должен понимать, к какому календарному моменту времени эти данные относятся. Естественно, что число наборов TLE должно быть не менее 1. Как правило, число наборов TLE не должно быть более 40.

В самом простом режиме в качестве начальных условий (НУ) используется последний набор TLE и применяется модель движения SGP4 . Именно этот режим реализован на данном этапе создания сайта. В дальнейшем планируется добавить **режим с уточнением начальных условий** на основе использования предшествующих TLE в качестве НУ и применения численной модели движения.

Прогноз выполняется на будущие моменты времени при интервалах прогнозирования не более месяца. Данные об этом интервале состоят из трех задаваемых пользователем величин - данных о начале и конце интервала прогнозирования, а также о шаге по времени (или по номеру витка).

- | | |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Начало прогноза: дата месяц год hh mm ss (мировое время)
или номер витка, отсчитываемый от последнего набора TLE |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

2.	Конец интервала: дата месяц год hh mm ss (мировое время) или номер витка, отсчитываемый от последнего набора TLE
3.	Шаг: или по времени (мин), или в витках

На данном этапе создания сайта, перечисленные исходные данные включаются в текст письма пользователя.

Для представления результатов прогнозирования предусмотрены две формы:

- компоненты 6-ти мерного вектора состояния в геоцентрической инерциальной системе координат («RV»);
- набор элементов орбиты ("EL").

На данном этапе для вывода результатов прогноза применяется первая форма («RV»). Ниже в таблице представлен пример результатов прогноза в этой форме. Пояснения выделены курсивом.

Таблица 1. Содержание выходного файла "RVoutput.dat"

<i>№</i>	<i>Время</i>	<i>x km</i>	<i>y km</i>	<i>z km</i>	<i>Vx km/sec</i>	<i>Vy km/sec</i>	<i>Vz km/sec</i>
0	14946.94175175	-7158.1895	1490.9296	0.0212	-1.50433621	-6.06500788	3.82053864
1	14946.94869619	-6753.1431	-2195.9768	2157.6940	2.78145515	-5.85651001	3.15927290
2	14946.95564064	-4035.3032	-5137.7216	3578.7051	6.00665199	-3.66698463	1.44157331
3	14946.96258508	45.9664	-6340.9499	3785.8792	7.20196399	-0.21094418	-0.78091742
4	14946.96952953	4100.7455	-5346.3772	2678.8501	5.88695183	3.45867544	-2.81445117
5	14946.97647397	6643.4346	-2406.5563	597.3226	2.27091241	6.04975021	-3.90904816
6	14946.98341841	6594.5798	1455.2221	-1707.5889	-2.47009870	6.37812444	-3.50296394
7	14946.99036286	3852.8736	4712.6193	-3307.4013	-6.34982683	4.08298202	-1.63286181
8	14946.99730730	-488.6314	6016.6511	-3532.6734	-7.59859829	0.12742749	0.89665102
9	14947.00425175	-4646.9437	4890.9270	-2326.0359	-5.80655352	-3.71362960	2.96736202
10	14947.01119619	-7043.6527	1886.7480	-220.7666	-1.96821823	-5.95482540	3.81530287
.....							
.....							

Это компоненты 6-ти мерного вектора состояния (*RV*) в геоцентрической инерциальной системе координат. *Время* представляется в форме модифицированной Юлианской даты, начало отсчета которой относится к 00час 00мин 00 сек 1 января 1958 г.

На основе массива исходных TLE выполняется также оценка точности результатов. Используя каждый из наборов TLE в качестве НУ, программа выполняет прогноз на «будущие» TLE и вычисляет временные погрешности прогнозирования. Оценки временных погрешностей усредняются: в функции интервала прогнозирования рассчитываются математическое ожидание (*M*), среднеквадратическое отклонения (*СКО*) и среднеквадратическое значение (*RMS*). Пример этих результатов приведен ниже в таблице 2. Пояснения выделены курсивом. Здесь *N* – интервал прогноза в витках, *n* – число реализаций. Размерность оценок погрешностей – секунды.

Таблица 2. Погрешности при использовании модели SGP4

<i>N</i>	<i>RMS</i>	<i>M</i>	<i>CKO</i>	<i>n</i>
0	0.07	-0.017	0.063	38
10	0.13	-0.031	0.127	37
20	0.22	-0.041	0.211	36
30	0.32	-0.047	0.321	35
40	0.47	-0.045	0.465	34
50	0.64	-0.026	0.641	33
60	0.83	0.008	0.835	32
70	1.07	0.059	1.073	31
80	1.37	0.122	1.363	30
90	1.69	0.228	1.670	29

На следующем этапе развития сайта планируется выполнение прогнозов в более сложном режиме – на основе обработки предшествующих TLE с использованием модифицированного метода наименьших квадратов (максимального правдоподобия) и численной модели движения. Этот режим возможен при задании на входе нескольких наборов TLE на интервале времени порядка недели. Такое требование связано с ограничением мерного интервала, на котором выполняется уточнение начальных условий. При малом числе наборов TLE (менее 4) уточнение НУ не может быть выполнено. В таком режиме обеспечивается повышение точности прогнозирования.