

Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»
Акционерное общество
«Высокотехнологический научно-исследовательский институт
неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара»
(АО «ВНИИНМ»)

Инструкция пользователя
ПС СТАРТ-4А

Москва, 2023 г.

Содержание

1. Работа с программой.....	3
1.1. Системные требования.	3
1.2. Входные данные	3
1.3. Запуск программы	7
1.4. Выходные данные.....	8

1. Работа с программой.

1.1. Системные требования.

Программа СТАРТ-4А является кроссплатформенной, и может использоваться как под управлением операционной системы MS Windows (32-х и 64-х битной), так и под Linux (32-х и 64-х битной).

В системе должны быть установлены динамически загружаемые (разделяемые) библиотеки среды исполнения Intel Fortran той версии, которой производилась компиляция программы.

Для работы программы рекомендуется обеспечить доступность минимум 256 Мб оперативной памяти, не занятой службами операционной системы и параллельно выполняемыми программами.

1.2. Входные данные

Исходные данные для расчёта передаются программе в одном файле формата ST3.

Файл ST3 является специальным образом форматированным текстовым файлом. Файл включает строки комментариев (описание полей данных) и строки содержащие числовые данные. Каждая строка данных содержит от 1 до 10 полей с числами. Каждое поле имеет ширину 8 символов, 7 символов занимает число, в конце поля помещается 1 разделительный символ. Массивы числовых значений с количеством элементов более 10 занимают несколько последовательных строк, все строки таких массивов кроме последней содержат по 10 значений. Строки данных и комментариев располагаются в файле в строго определённой последовательности.

В таблице 1 приведён пример заполнения файла данных.

Таблица 1: Пример файла ST3

Номер строки	Идентификатор строки	Содержимое файла														
1	C1	V1000														
2	C2	react	1	ntime	35	nsec	12	gaz 0/1	1/2	l/g	typerod	до 80 символов СТРОКЕ			—>	
3	D1	1	35	12	1	1	11									
4	C3	tendh	tends	2	C	Gd	3	plbot	4	pltop	5	blbot	6	bltop	7	<-мм
5	D2	96000.	0.	.05	1.	203.	0.	0.								
6	C4	timeh	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
7	D3	4.	72.	408.	480.	480.	480.	480.	480.	480.	480.	480.				
8		39.	1.	0.												
9	C5	times	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
10	D4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
11		1603.12	0.00	0.00												
12	C6	steps	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
13	D5	360.I	25920.I	146880.I	172800.I	172800.I	172800.I	172800.I	172800.I	172800.I	172800.I	172800.I				
14		14200.I	360.I	0.000I												
15	C7	Q1 kW/m	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
16	D6	0.01	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70				
17		13.86	13.62	0.01												

Номер строки	Идентификатор строки	Содержимое файла													
18	C8	regim	2	3	<<1- up; 2- down; 3- stead.>>	-	8	9	10						
19	D7	1	3	3	3	3	3	3	3	3					
20		3	2	3											
21	C9	Fn/sms	x10*13	3	4	5	6	7	8	9	10				
22	D8	0.1	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0				
23		25.0	25.0	0.1											
24	C10	pcool	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
25	D9	0.01	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60				
26		1.60	1.60	0.01											
27	C11	pgase	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
28	D10	0.20	0.65	0.65	0.66	0.66	0.66	0.67	0.67	0.67	0.68				
29		0.85	0.85	0.45											
30	C12	tcin, K	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
31	D11	293.0	553.0	553.0	553.0	553.0	553.0	553.0	553.0	553.0	553.0				
32		553.0	553.0	293.0											
33	C13	tcout, K	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
34	D12	293.0	603.0	603.0	603.0	603.0	603.0	603.0	603.0	603.0	603.0				
35		603.0	603.0	293.0											
36	C14	qgas	1	steh	2	ndish	3	shldr	3	hchmf	5	angch	6	pelh	7
37	D13	6	2.001	0.125	1.65	0.3	25.0	10.0							
38	C15	time gas	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
39	D14	0.	7000.	14000.	21000.	28000.	50000.								
40	C16	Xe+Kr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
41	D15	.01	0.05	0.10	0.18	0.26	0.55								
42	C17	Section 1													
43	C18	Ql*coeff	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
44	D16	1.000	0.109	0.110	0.112	0.114	0.121	0.128	0.136	0.144	0.153				
45		0.340	0.338	1.000											
46	C19	temp. K	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
47	D17	293.000	613.000	613.000	613.000	613.000	613.000	613.000	613.000	613.000	613.000				
48		613.000	613.000	293.000											
49	C20	rfin	rfin	densf	poros	rofuel	roeff	grain							
50	D18	0.60	3.785	1.2	0.5	10.55	9.707	2.5e-2							
51	C21	rclout	rclin	Sb=40.	S02=40.	seclen									
52	D19	4.550	3.895	40.	40.	76.67									
53	C22	block													
54	D20	1													
55	C23	time block	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
56	D21	1													
57	C24	level block	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
58	D22	.5													
59	C25	keffsna	RIDG	-FLU	-TLC	-TLE	-ECOEF	-CRF	-SFU						
60	D23	4.7	1.	0.	1300.	3000.	1.00	1.	0.911						
61	C26	NSOL	-KONC	-IFIL	-LV1	5	<ifil in=1,out=0)								
62	D24	15	1	0	3										
63	C27	RAO	-RAT	-CREL	-BET	4									
64	D25	.0008	.0018	.2	.5										
65	C28	ACR/BIN	CTR	<< NTIP=1/NTIP=2 >>	5	HINT->6	7	8	9	10					
66	D26	0.	1.25	19225.		0.	0.1	0.6	0.	0.					
67	C29	Section 2													

В таблице приведён пример данных только для одного сечения. В полном файле данных элементы с C17 по D26 повторяются для каждого сечения. Строки комментариев отмечены идентификаторами, начинающимися с символа C, идентификаторы строк данных начинаются с символа D. Столбцы таблицы «Номер строки» и «Идентификатор строки» не являются частью содержимого файла и введены для удобства описания.

Строка данных D1 содержит 6 целочисленных полей:

1. Условный тип реактора (не используется);

2. Число опорных точек в истории облучения (значение NT);
3. Число осевых слоев разбиения топливного столба (число сечений);
4. Метод расчёта газовой выделенности, при значении равном 0 расчёт газовой выделенности не проводится;
5. Тип элемента: 1 — ТВЭЛ, 2 — ТВЭГ;
6. Условный тип ТВЭЛА.

При значении 0 поля 4 строки D1, расчет газовой выделенности не проводится. Давление газа под оболочкой ТВЭЛА считается входным параметром из массива D10. При значении 1 поля 4 строки D1, модуль газовой выделенности становится активным. Начальное давление газа под оболочкой ТВЭЛА принимается равным в качестве первого значения давления из массива D10. При дальнейшем расчете массив D10 не используется, текущее значение давления газа под оболочкой рассчитывается в модуле газовой выделенности.

Строка данных D2 содержит 7 действительных чисел:

1. Максимальная длительность кампании (часы);
2. Максимальная длительность кампании (секунды);
3. Содержание Gd_2O_3 в таблетках в относительных единицах;
4. Длина нижнего газосборника ТВЭЛА (мм);
5. Длину верхнего газосборника ТВЭЛА (мм);
6. Длина нижней обеднённой зоны (мм);
7. Длина верхней обеднённой зоны (мм).

Действительный массив D3 содержит длительность этапов в часах. Количество элементов в нём равно NT, последний элемент является фиктивным.

Действительный массив D4 содержит длительность этапов в секундах (количество секунд прибавляется к количеству часов в массиве D3). Количество элементов в нём равно NT, последний элемент является фиктивным.

Действительный массив D5 содержит временной шаг для каждого этапа в секундах. Количество элементов в нём равно NT, последний элемент является фиктивным.

В действительном массиве D6 представлена средняя линейная нагрузка ТВЭЛА в активной зоне реактора в опорных точках кампании (кВт/м). Количество элементов в массиве равно NT.

Целочисленный массив D7 содержит условный номер типа режима: 1 — подъём, 2 — спуск, 3 — стационар. Количество элементов в массиве равно NT.

В действительном массиве D8 содержится средний нейтронный поток (энергия $>0,1$ МэВ) в ТВЭЛЕ в опорных точках кампании $n/cm^2 \cdot s$. Количество элементов в массиве равно NT.

В действительном массиве D9 содержится давление теплоносителя в опорных точках кампании (МПа). Количество элементов в массиве равно NT.

В действительном массиве D10 содержится давление газа внутри ТВЭЛА в опорных точках

компании (МПа). Количество элементов в массиве равно NT.

В действительном массиве D11 содержится температура на входе в ТВС в опорных точках компании (К). Количество элементов в массиве равно NT.

В действительном массиве D12 содержится температура на выходе из ТВС в опорных точках компании (К). Количество элементов в массиве равно NT.

Строка D13 содержит 1 целое число, которое определяет число точек в которых задаётся содержание Хе+Кг — значение NX.

В действительном массиве D14 содержатся точки времени (в часах) в которых задаётся содержание Хе+Кг. Значение последнего элемента не может быть меньше времени компании. Количество элементов в массиве равно NX.

В действительном массиве D15 представлено содержание Хе+Кг (в относительных единицах) в газовой смеси в моменты времени, заданных в массиве D14. Количество элементов в массиве равно NX.

Следующие далее параметры задаются отдельно для каждого осевого слоя (сечения).

В действительном массиве D16 содержатся коэффициенты энерговыделения по высоте твэла (в относительных единицах). Количество элементов в массиве равно NT.

В действительном массиве D17 содержится наружная температура оболочки твэла (К). Количество элементов в массиве равно NT.

Строка данных D18 содержит 7 действительных чисел:

1. Внутренний радиус топливных таблеток (мм);
2. Наружный радиус топливных таблеток (мм);
3. Объемное доспекание (%);
4. Открытая пористость (%);
5. Плотность топлива (г/см^3);
6. Эффективная плотность (г/см^3);
7. Размер зерна (мм).

Строка данных D19 содержит 5 действительных чисел:

1. Наружный радиус оболочки (мм);
2. Внутренний радиус оболочки (мм);
3. Предел прочности материала оболочки (кг/мм^2);
4. Предел текучести материала оболочки (кг/мм^2);
5. Длина осевого слоя (сечения) (мм).

Строка D20 содержит 1 целое число, которое определяет количество элементов в массивах D21 и D22 — значение NB. Это число должно быть равно 1.

Количество элементов в целочисленном массиве D21 равно NB. Эти значения не используются.

Количество элементов в действительном массиве D22 равно NB. Эти значения не используются.

Строка данных D23 содержит 8 действительных чисел:

1. Коэффициент перевода потока (10^{22} н/см²) в повреждающую дозу (сна) (не используется);
2. Коэффициент для термического расширения оболочки в окружном и радиальном направлении (анизотропия свойств);
3. Не используется;
4. Служебный параметр;
5. Не используется;
6. Служебный параметр;
7. Служебный параметр;
8. Коэффициент корректировки выгорания.

Строка данных D24 содержит 4 целых числа:

1. Служебный параметр;
2. Служебный параметр;
3. Не используется;
4. Служебный параметр.

Строка данных D25 содержит 4 действительных числа:

1. Шероховатость оболочки (мм);
2. Шероховатость топлива (мм);
3. Коэффициент уменьшения зазора за счёт растрескивания топлива;
4. Служебный параметр.

Строка данных D26 содержит 10 действительных чисел. Первое число задаёт начальную длину трещины в оболочке (мм). Числа со 2-го по 10-е не используются в текущей версии программы.

1.3. Запуск программы

Запуск осуществляется из командной строки командой **start4.exe** В качестве параметра программе передаётся имя ST3-файла с исходными данными. Если имя файла не указано, будет использован файл с именем «data.st3», находящийся в текущем каталоге. В процессе работы программа выводит текстовые сообщения, отображающие ход расчёта. Формат сообщений представлен на рисунке 1.

```
[vadim@ws-0000712 start-manual-data]$ ./startw data.st3
00:00:01 [ 12] 4734:1440.03 / 8721:0284.96 ( 54%)
00:00:02 [ 24] 7576:2210.08 / 8721:0284.96 ( 86%)
00:00:03 [ 34] 8721:0284.96 / 8721:0284.96 (100%)
[vadim@ws-0000712 start-manual-data]$ █
```

Рисунок 1 - Текстовые сообщения

Далее в приложениях приводятся входные данные и результаты расчётов.

1.4. Выходные данные

В процессе работы программы создаются текстовые файлы с результатами расчётов, которые состоят из столбцов действительных чисел, разделённых символом табуляции. Имена файлов имеют формат «res-NN.txt», где NN — номер осевого слоя (сечения) твэла. Также создаются файлы profile.txt, содержащий в себе информацию о диаметре, напряжениях и деформациях по осевым слоям (сечениям твэла), и volumes.txt, содержащий данные об объеме, температуре и давлении в твэле. Первая строка файла содержит текстовые заголовки столбцов.

В таблице 2 приведено описание столбцов файлов с результатами расчётов.

Таблица 2: Столбцы результата

Заголовок столбца	Описание
res-NN.txt	
B	Время, часы
ZAZOR	Радиальный зазор между топливом и оболочкой, мм
PCONT	Контактное давление, МПа
BUR	Выгорание, МВт·сут/кгU
AS	Коэффициент теплопередачи топливо-оболочка Вт/см ² К
FLU	Флюенс (интегральный поток нейтронов), $\times 10^{22}$ н/см ²
PGAZ	Давление газа, МПа
TOB	Температура внутренней поверхности оболочки, °С
WL	Линейная мощность, кВт/м
TTB	Температура центра топлива, °С
TTH	Температура на внешней поверхности топлива, °С
SOB	Окружные напряжения на внутренней поверхности оболочки, МПа
SXB	Осевые напряжения на внутренней поверхности оболочки, МПа
SEQV	Интенсивность напряжений, МПа
TVOL	Среднеобъёмная температура топлива, °С
LSTACK	Удлинение топливного столба, мм
GR	Газовыделение, %
HOLE	Радиус центрального отверстия, мм
XXE	Содержание Хе+Кг в газовой смеси, %
VGAS	Объем газа под оболочкой твэла, мм ³
LCLAD	Удлинение оболочки, мм
DDIAM	Изменение диаметра твэла, мкм
BURNA	Среднее выгорание, МВт·сут/кгU
FILM	Толщина оксидной пленки, мкм
VOLUME	Свободный объем в твэле, см ³
RESIDU	Остаточные деформации оболочки, отн.ед.

Приложение. Результаты расчёта.

Заголовок столбца	Описание
RFUEL	Радиус топливной таблетки, мм
TCLADOUT	Температура на границе раздела оксид-металл на оболочке твэла, К
REQ	Радиус области равноосных зерен, мм
RCOL	Радиус области столбчатых зерен, мм
DENS	Плотность центральной части топлива г/см ³
profile.txt	
coord	Координата по высоте твэла, мм
buloc	Локальное выгорание, МВт·сут/кгU
ddiam	Изменение диаметра твэла, мкм
film	Толщина оксидной пленки, мкм
Req	Радиус области равноосных зерен, мм
Rcol	Радиус области столбчатых зерен, мм
sz	Аксиальные напряжения, МПа
st	Окружные напряжения, МПа
sr	Радиальные напряжения, МПа
ez	Аксиальные деформации, %
et	Окружные деформации, %
er	Радиальные деформации, %
volumes.txt	
time	Время, часы
pgas	Давление газа, кгс/мм ²
vgas	Объем газа, мм ³
vfree	Свободный объем, мм ³
top	Объем верхнего газосборника, мм ³
bot	Объем нижнего газосборника, мм ³
chamf	Общий объем фасок, мм ³
dish	Общий объем лунок, мм ³
gap	Объем зазора, мм ³
hole	Объем топливного отверстия, мм ³
crel	Объем трещин, мм ³
voids	Объем пор, мм ³
ttop	Температура верхнего газосборника, К
tbot	Температура нижнего газосборника, К
tchamf	Температура в фасках, К
tdish	Температура в лунках, К
tgap	Температура в зазоре, К
thole	Температура в топливном отверстии, К
tcrel	Температура в трещинах, К
tvoids	Температура в порах, К
vtsum	Сумма объемов, деленных на соответствующие температуры, мм ³ /К