



ОКБМ  
АФРИКАНТОВ  
РОСАТОМ

# ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ УСЛОВИЙ ОБЛУЧЕНИЯ ТВЭЛОВ С МОКС ТОПЛИВОМ И АКСИАЛЬНОЙ ПРОСЛОЙКОЙ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТВЭЛОВ РЕАКТОРА БН-1200М

Научно-техническая конференция  
«Нейтронно-физические проблемы атомной энергетики  
(Нейтроника – 2024)»  
28-31 мая 2024 года, г. Обнинск

**Кирилова Елизавета, инженер-конструктор**  
АО «ОКБМ Африкантов», Нижний Новгород



Переход к двухкомпонентной энергетической системе на основе замкнутого ядерного топливного цикла.

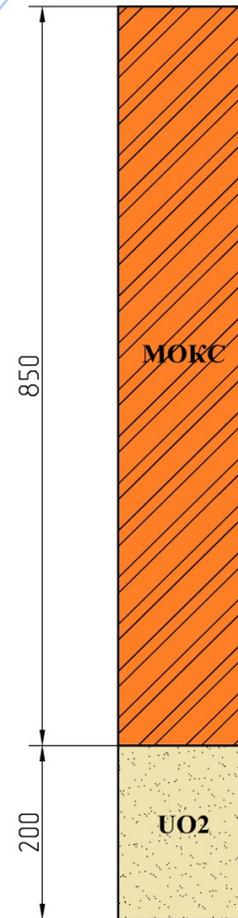
Строительство коммерческого энергоблока с реакторной установкой БН-1200М.

Один из возможных вариантов активной зоны - на МОКС топливе с аксиальной воспроизводящей прослойкой.

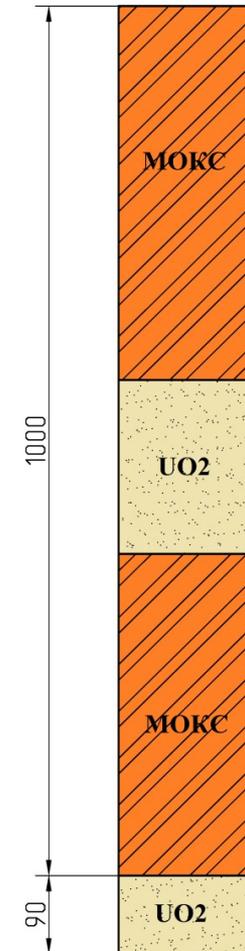
Для экспериментального обоснования работоспособности твэлов ТВС реактора БН-1200М необходимо провести комплекс работ по проведению реакторных испытаний и послереакторных исследований.

# Эффективность введения аксиальной прослойки (1)

- При введении аксиальной прослойки (вставка из диоксида обедненного урана в районе центральной плоскости активной зоны) общая длина топливного столба увеличивается с 85 до 100 см.



Гомогенный  
топливный столб



Гетерогенный  
топливный столб

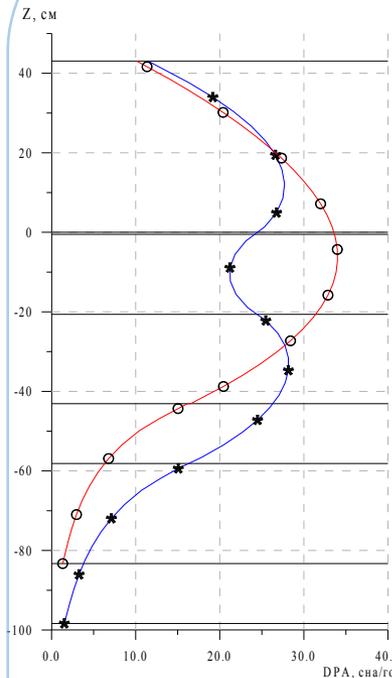
# Эффективность введения аксиальной прослойки (2)



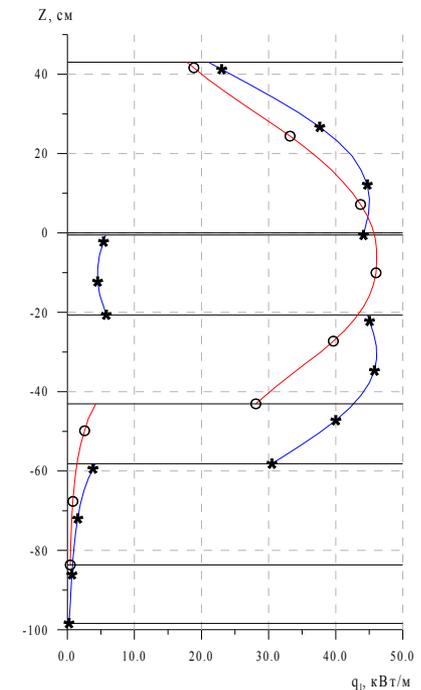
ОКБМ  
АФРИКАНТОВ  
РОСАТОМ

Такая компоновка позволяет улучшить физические и эксплуатационные характеристики активной зоны реактора за счет:

- повышения коэффициента воспроизводства, что обеспечивает также снижение темпа потери реактивности на выгорание;
- существенного снижения максимума нейтронного потока и скорости набора повреждающей дозы, что обеспечивает возможность соответствующего увеличения кампании и выгорания топлива ТВС.



Скорость набора повреждающей дозы



Линейная тепловая нагрузка

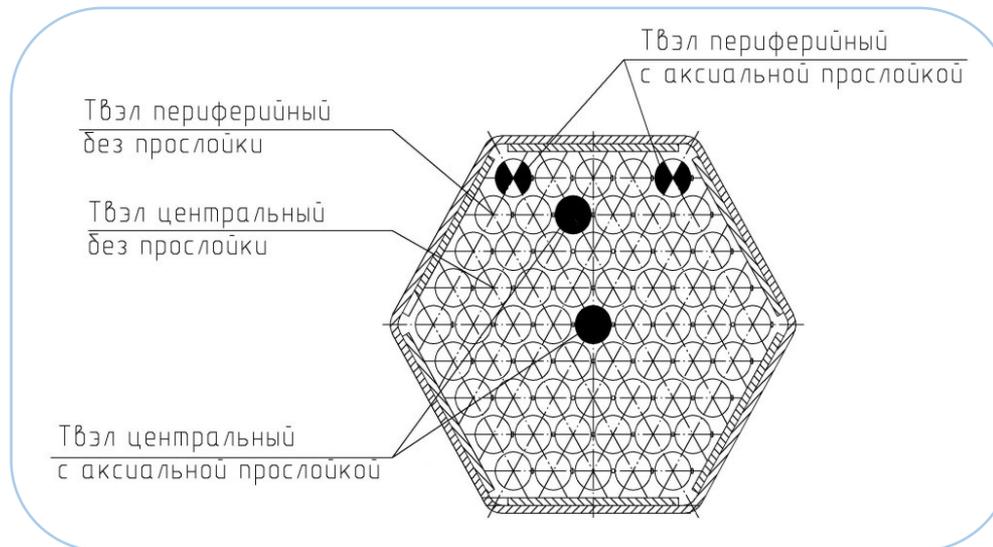
— \* — с аксиальной прослойкой  
— ○ — традиционная (гомогенная)



- Уникальное сочетание параметров облучения в активной зоне реактора БН-600
- Значительный опыт реакторных испытаний экспериментальных сборок различного типа:
  - комбинированные, опытные и материаловедческие сборки с новыми конструкционными материалами;
  - ЭТВС с МОКС и СНУП топливом;
  - экспериментальные облучательные устройства для наработки изотопов;
- Успешно проведены реакторные испытания КЭТВС-2 с твэлами типа БН-1200 с комбинированным твэльным пучком, в котором среди твэлов с гомогенным топливным столбом, содержащим МОКС топливо, размещались четыре твэла со СНУП топливом.

# Конструкция КЭТВС-МАК

- В настоящее время отсутствует опыт облучения твэлов с аксиальной воспроизводящей прослойкой.
- Для обоснования работоспособности таких твэлов принято проведение испытаний в ограниченном количестве в составе пучка твэл комбинированной ЭТВС в реакторе БН-600. (Комбинированная экспериментальная сборка с МОКС топливом и аксиальной прослойкой)
- 61 твэл типоразмера  $\varnothing 9,2 \times 0,55$  из стали ЭК164-ИД х.д.:
  - 57 твэлов без аксиальной прослойки
  - 4 твэла с аксиальной прослойкой



# Целевые параметры облучения КЭТВС-МАК



ОКБМ  
АФРИКАНТОВ  
РОСАТОМ

- КЭТВС-МАК-1 – облучение в большем нейтронном потоке в центральной части активной зоны (в ЗМО) с целью ускоренного получения экспериментальных данных по поведению слоев топливных композиций на границе топлива и воспроизводящей прослойки.
- КЭТВС-МАК-2 и КЭТВС-МАК-3 – облучение в меньшем нейтронном потоке на периферии активной зоны (в ЗБО) в условиях аналогичных условиям облучения твэла БН-1200М.

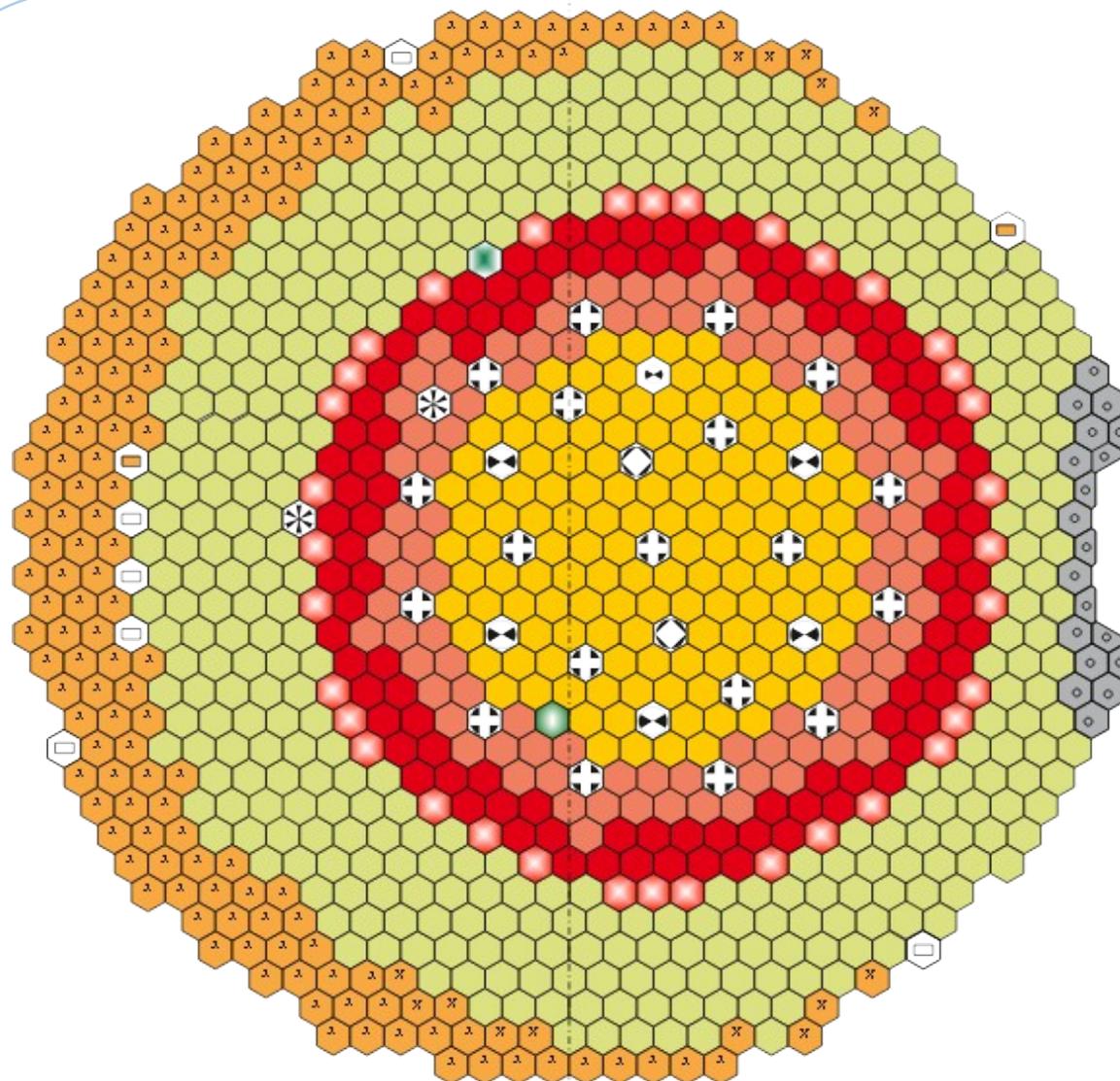
## Основные параметры эксплуатации КЭТВС-МАК и ТВС БН-1200М

Наименование параметра	КЭТВС-МАК-1	КЭТВС-МАК-2	КЭТВС-МАК-3	ТВС БН-1200М
Длительность облучения, МК (эфф. сут)	4 (592)	8 (1184)	9 (1344)	4 (1320)
Максимальная линейная нагрузка, кВт/м	49			49
Максимальное выгорание топлива, % т.а.	7,3	12,7	14,2	14,0
Максимальная повреждающая доза, сна	81	106	120	120
Максимальная температура оболочки твэл °С	700			700

# Картограмма размещения КЭТВС-МАК в активной зоне реактора БН-600



ОКБМ  
АФРИКАНТОВ  
РОСАТОМ



-  - КЭТВС-МАК-1
-  - КЭТВС-МАК-2,-3
-  - ТВС ЗМО
-  - ТВС ЗСО
-  - ТВС ЗБО
-  - ТВС ЗБО-П
-  - ТВС боковой зоны воспроизводства

# График проведения реакторных испытаний трех КЭТВС-МАК в реакторе БН-600

Год	2025		2026		2027		2028		2029		2030		2031		
Номер МК	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101		
<b>КЭТВС-МАК-1</b>	4 МК (592 эфф. сут) ~ 7,3 % т.а., ~81 сна				ВРХ	ПРИ									
<b>КЭТВС-МАК-2</b>		8 МК (1184 эфф. сут) ~ 12,7 % т.а., ~ 106 сна								ВРХ	ПРИ				
<b>КЭТВС-МАК-3</b>		9 МК (1344 эфф. сут) ~ 14,2 % т.а., ~ 120 сна									ВРХ	ПРИ			

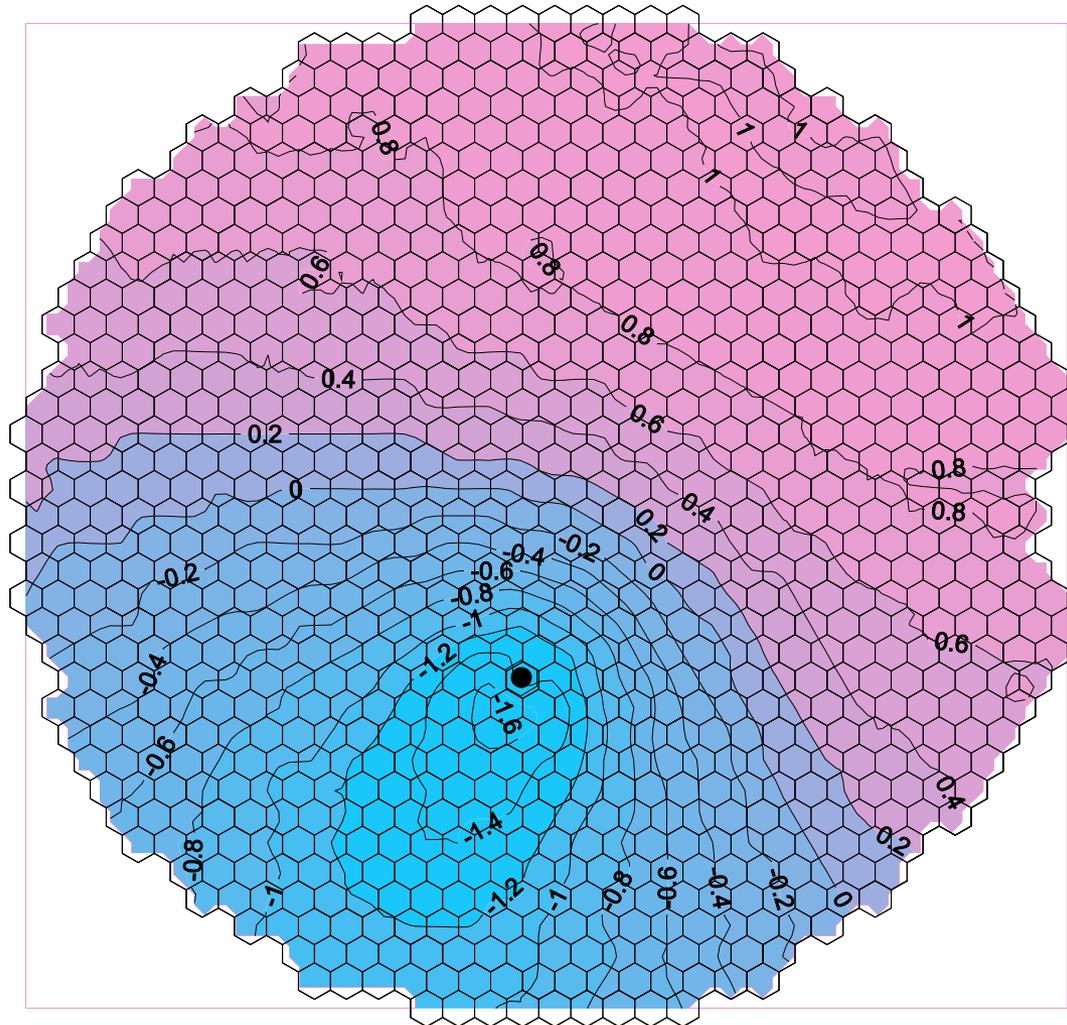
# Влияние установки КЭТВС-МАК на окружающие сборки

- Установка КЭТВС-МАК-1 вместо штатной урановой ТВС ЗМО снижает нейтронный поток, снижение энерговыделения: в ТВС ЗМО ~ 1 %, в ТВС ЗСО до 1 %.  
Повреждающая доза на конструкционные материалы в соседних ТВС около КЭТВС-МАК-1 снижается: в ТВС ЗМО на 3 - 4 %, в ТВС ЗСО на 5 - 9 %.
- Установка КЭТВС-МАК-2,-3 вместо штатной урановой ТВС ЗБО снижает нейтронный поток, снижение энерговыделения: в ТВС ЗБО ~ 0,5 %, в ТВС БЗВ первого ряда 1 - 4 %.  
Снижение повреждающей дозы около КЭТВС-МАК-2,-3 незначительное: для ТВС ЗБО 1 - 2 %, для ТВС БЗВ первого ряда 2 - 4 %.
- Локальное увеличение тепловой нагрузки на твэл в удаленных ТВС составляет не более 1 %, что не приведёт к превышению максимальных проектных значений энерговыделения.

# Влияние установки КЭТВС-МАК-1 на поле нейтронного потока



ОКБМ  
АФРИКАНТОВ  
РОСАТОМ



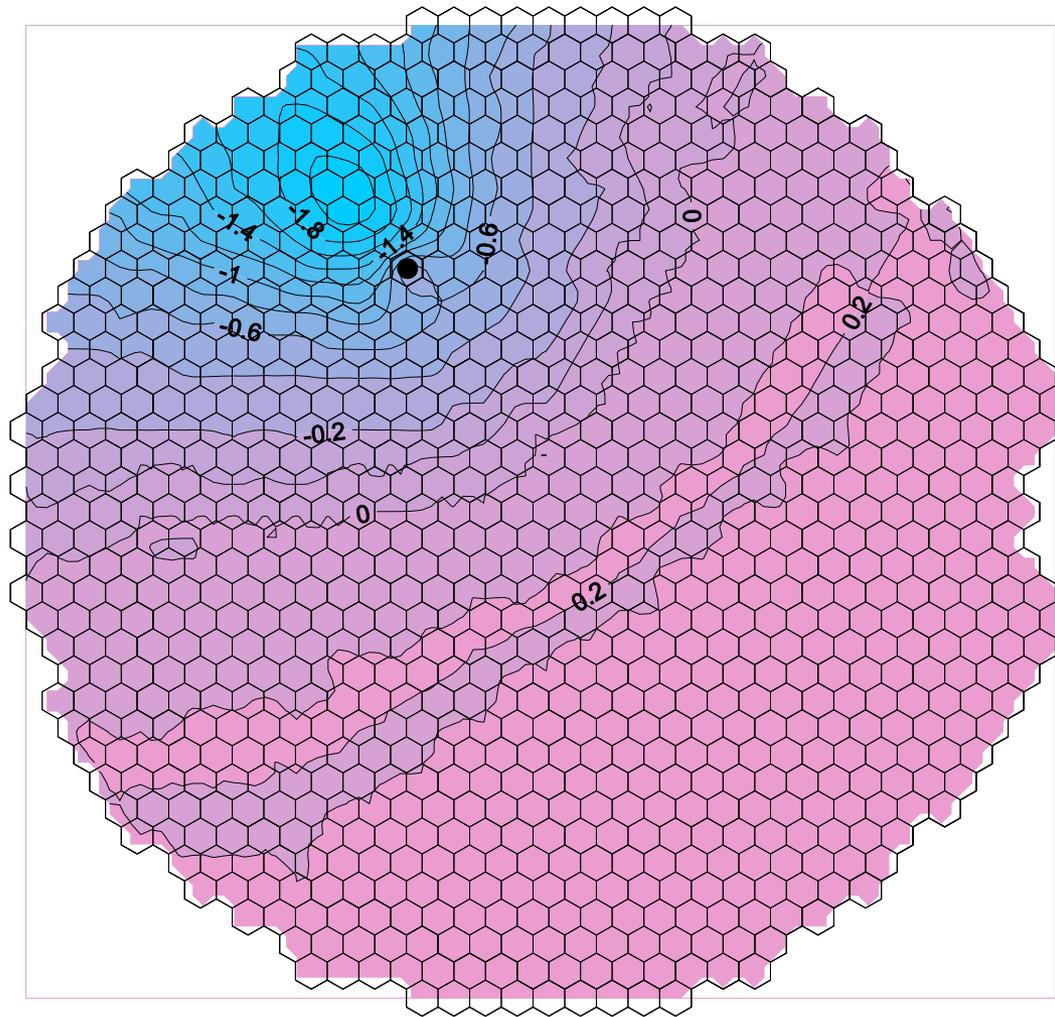
КЭТВС-МАК-1

Возмущение плотности нейтронного потока  
при установке КЭТВС-МАК-1 в ЗМО, % отн.

# Влияние установки КЭТВС-МАК-2,3 на поле нейтронного потока



ОКБМ  
АФРИКАНТОВ  
РОСАТОМ



КЭТВС-МАК-2,3

Возмущение плотности нейтронного потока  
при установке КЭТВС-МАК-2,3 в ЗБО, % отн.

# Влияние на нейтронный баланс активной зоны БН-600



ОКБМ  
АФРИКАНТОВ  
РОСАТОМ

- Установка в активную зону БН-600 КЭТВС-МАК-1 ( $Z_{Pu} = 11,0 \%$ ) вместо штатной ТВС ЗМО приводит к уменьшению запаса реактивности реактора на  $\sim 0,05 \%$   $\Delta K/K$ .
- Установка КЭТВС МАК-2,-3 ( $Z_{Pu} = 20,3 \%$ ) вместо штатной ТВС ЗБО приводит к незначительному уменьшению запаса реактивности реактора на  $\sim 0,015 \%$   $\Delta K/K$ .
- Установка КЭТВС-МАК не оказывает влияния на эффективность стержней СУЗ и эффекты реактивности.

# Заключение

- В КЭТВС-МАК впервые будут облучены твэлы с гетерогенным топливным столбом с аксиальной воспроизводящей прослойкой.
- Реакторные испытания КЭТВС-МАК в БН-600 проводятся с целью получения экспериментального подтверждения работоспособности твэлов с МОКС топливом и аксиальной воспроизводящей прослойкой для активной зоны реактора БН-1200М.
- Установка КЭТВС-МАК намечена на 2025-2026 гг.
- Установка КЭТВС-МАК не приводит к существенным изменениям нейтронно-физических характеристик активной зоны реактора БН-600 и параметров эксплуатации штатных ТВС.

# Спасибо за внимание

**Кирилова Елизавета,**  
инженер-конструктор  
АО «ОКБМ Африкантов»

Тел.: 8 (831) 243 99 99 (доб. 28-43),  
Моб. тел.: +7 (920) 299 1505  
E-mail: [kirilova\\_es@okbm.nnov.ru](mailto:kirilova_es@okbm.nnov.ru)