

ное различие концентрации компонентов диметила кадмия. Это позволяет в расчетах с потерей рабочего вещества использовать более простую модель с 11 компонентами.

Соответствующий расчет при коэффициенте потери рабочего вещества $y = 5 \cdot 10^{-5}$ показывает небольшую разницу в концентрации компонентов с вариантами без потерь (см. табл. 1). Вместе с тем имеются существенные различия выходящих потоков каскадов. При потоке питания 15,538 мг/с суммарные потери рабочего вещества составляют 0,499 мг/с при уменьшении на 16,6% потока отвала с обогащенным ^{116}Cd — с 1,143 до 0,953 мг/с.

В табл. 2 приведены расчеты потоков каскадов при разных параметрах n , f , F , коэффициенте $y = 5 \cdot 10^{-5}$ и 11 значениях разделяемой массы. Концентрация массы 146 составляет 0,648% в отборе и 95% в отвале каскадов. Минимальные потери и максимальный поток отвала имеет каскад с наименьшим числом ступеней $n = 54$ и наибольшим потоком питания каскада 15,538 мг/с. При таких параметрах поток питания ступеней достигает минимума 171,2 мг/с, что приводит к уменьшению потери рабочего вещества и наибольшим коэффициентам разделения 1,7—1,72 для массы 142.

Таблица 2. Потоки каскадов при разделении диметила кадмия с потерей рабочего вещества, мг/с

n	f	F	P	W	T
60	36	15,538	13,999	0,888	0,651
55	32	15,538	14,086	0,953	0,499
54	31	15,538	14,107	0,969	0,462
54	31	13,952	12,61	0,824	0,518

Заключение. Разработанный метод позволяет минимизировать потери рабочего вещества в каскадах газовых центрифуг путем определения оптимального числа ступеней и потока питания при заданной концентрации целевого компонента во внешних потоках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Orlov A.A., Ushakov A.A., Sovach V.P., Mymrina D.F. Modeling of nonstationary processes during separation of multicomponent isotopes mixtures. — Sep. Sci. Techn., 2018, v. 53, № 5, p. 796—806.
2. Шубин А.Н., Скорынин Г.М., Пульников И.И. и др. Особенности получения изотопов кадмия высокого обогащения. — В сб.: VI Всерос. научн. конф. «Физико-химические процессы при селекции атомов и молекул». Звенигород, 2001, с. 55—57.
3. Борисевич В.Д., Литвин Ю.В., Сулаберидзе Г.А. Расчетно-теоретические исследования при обогащении изотопов кадмия на газовых центрифугах. — Теор. основы хим. технологии, 2007, т. 41, № 6, с. 655—661. // Borisevich V.D., Litvin Yu.V., Sulaberidze G.A. Calculational Study of the Enrichment of Cadmium Isotopes in Gas Centrifuges. — Theor. Found. Chem. Engng, 2007, v. 41, № 6, p. 851—858.
4. Холпанов Л.П., Се Цюаньсинь, Сулаберидзе Г.А., Борисевич В.Д. Расчет прямоугольного каскада с потерями рабочего вещества на ступенях и в коммуникациях при разделении многокомпонентных изотопных смесей. — Атомная энергия, 2008, т. 104, вып. 1, с. 17—23. // Kholpanov L.P., Se Tsyuan'sin', Sulaberidze G.A., Borisevich V.D. Calculation of a Square Cascade with Losses of the Working Material in the Steps and Pipelines During Separation of Multicomponent Isotopic Mixtures. — Atomic Energy, 2008, v. 104, № 1, p. 23—32.
5. Азизов Т.Э., Смирнов А.Ю., Сулаберидзе Г.А. Оптимизация прямоугольного каскада центрифуг для разделения многокомпонентных смесей изотопов. — Там же, 2020, т. 128, вып. 5, с. 270—275. // Azizov T.E., Smirnov A.Yu., Sulaberidze G.A. Optimization of a square cascade of centrifuges for separation of multicomponent mixtures of stable isotopes. — Ibid., 2020, v. 128, № 5, p. 291—296.
6. Sulaberidze G.A., Smirnov A.Yu., Borisevich V.D. e.a. Classification of model cascades for separation of multicomponent isotope mixtures. — Sep. Sci. Techn., 2021, v. 56, № 6, p. 1060—1070.
7. Аттеков А.В., Галкин С.В., Зарубин В.С. Методы оптимизации. М.: Изд-во МГТУ, 2003.

Поступило в Редакцию 12.03.25

Принято к опубликованию 19.06.25

УДК 621.039.342

РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОФИЛИРОВАНИЯ КАСКАДА ГАЗОВЫХ ЦЕНТРИФУГ ПО ПОТОКУ ПИТАНИЯ СТУПЕНЕЙ

Палкин В.А. (Уральский федеральный ун-т, г. Екатеринбург)
e-mail: profp2004@mail.ru

При разделении многокомпонентной смеси гексафторида урана потоки питания ступеней каскада можно оптимизировать с учетом зависимости коэффициентов разделения газовых центрифуг от параметров потоков [1]. При концентрировании стабиль-

ных изотопов обычно рассчитывают прямоугольный или прямоугольно-секционированный каскад с одинаковыми коэффициентами разделения ступеней, потоки питания которых одинаковы в пределах секций и соответствуют числу газовых центрифуг

[2—6]. Вместе с тем профилирование потока питания ступеней может быть более эффективным.

Целью настоящей работы является рассмотрение способов профилирования каскадов с одинаковым числом газовых центрифуг в ступенях и заданной концентрацией целевого компонента в выходящих потоках. Расчеты выполнены на основе алгоритмов, учитывающих зависимость коэффициентов разделения газовых центрифуг от потока питания и коэффициента деления потока. Рассмотрены варианты профилирования потока питания ступеней в вычислительном эксперименте по обогащению гексафторида регенерированного урана и концентрированию ^{70}Ge при разделении тетрафторида германия. В каждом варианте находили максимальный поток питания каскада, при котором достигается заданная концентрация целевого компонента в выходящих потоках. Эффективность профилирования потока питания ступеней оценивали по показателям, связанным с раздельной способностью газовых центрифуг.

Особенности расчета параметров каскада. На рисунке показана схема ординарного каскада газовых центрифуг из n ступеней с внешними потоками F , P , W — питание, отбор и отвал (легкая и тяжелая фракция) соответственно, концентрацией j -го компонента в этих потоках C_j^F , C_j^P , C_j^W . На схеме также обозначены аналогичные параметры ступеней — L_i , L_i' , L_i'' и $C_{j,i}$, $C_{j,i}'$, $C_{j,i}''$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$. Внешние и внутренние параметры каскада связаны уравнениями баланса и массопереноса, характеристиками разделения и граничными условиями.

Коэффициенты разделения ступеней $q_{j,i}$ зависят от потока питания $l_i = L_i/N_i$ газовых центрифуг и коэффициента деления потока $\theta_i = L_i'/L_i$, где N_i — число газовых центрифуг i -й ступени. В расчете задается зависимость коэффициентов $q_{j,i}$ от l_i и θ_i , число ступеней n , точка подачи питания f , внешний поток F и концентрация компонентов питания C_j^F , $j = \overline{1, m}$, концентрация целевого компонента в отборе C_r^P и отвале C_r^W каскада. В расчете определяются потоки питания ступеней L_i , обеспечивающие согласование выбранных параметров с уравнениями каскада. Вследствие зависимости коэффициентов разделения газовых центрифуг от параметров питания решение

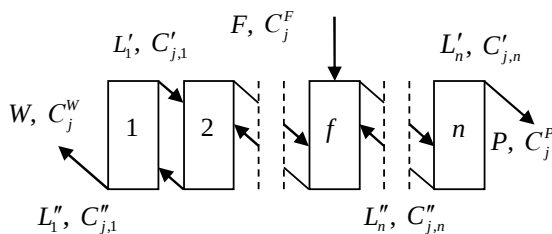


Схема трехпоточного симметричного каскада: 1, 2, f , n — номер ступени

возможно при разном потоке F . Его наибольшее значение соответствует оптимизации каскада.

Оптимальные потоки питания ступеней определяются по методике [1] путем минимизации суммы квадратов отклонений рассчитываемых и заданных чисел газовых центрифуг в ступенях. При этом варьируемыми переменными являются коэффициенты разделения и концентрация целевого компонента в отвале ступеней. Эта особенность ограничивает применение метода каскадами с небольшим числом ступеней, характерным для наработки низкообогащенного урана. Другим подходом является расчет каскада по срезам парциальных потоков компонентов с их варьированием для минимизации отклонения рассчитываемой и заданной концентрации целевого компонента в отборе каскада [7]. Данный подход позволяет рассчитывать длинные каскады для разделения стабильных изотопов. Он был использован в работе [8] для сравнения с вариантом одинаковых потоков питания ступеней каскада. Особенностью метода является сложность выбора начальных приближений параметров.

Альтернативным более простым методом, предлагаемым в настоящей статье, является определение потоков питания ступеней в виде

$$L_i = L_0 + T i^\alpha / f^\alpha, \quad i = \overline{1, f};$$

$$L_i = L_0 + T(n - i + 1)^\beta / (n - f + 1)^\beta, \quad i = \overline{f, n}.$$

Расчет выполняется последовательно по ступеням, начиная с отвала каскада по направлению к отбору. Алгоритм расчета аналогичен [8], но с использованием потоков без закрутки на конечных ступенях:

$$L_1'' = W; \quad L_i' = L_i - L_i'', \quad i = \overline{1, n-1};$$

$$L_j'' = L_{j-1}' - \tau_j, \quad j = \overline{2, n}; \quad L_n' = P$$

и варьированием параметров $C_{j,1}''$ ($j \neq r$), L_0 , T , α , β для согласования выбранных параметров с уравнениями каскада и граничными условиями.

Определение характеристик разделения газовых центрифуг. Компоненты изотопных смесей в расчетных примерах нумеровали в порядке возрастания массового числа. Зависимость $q_{3,i} = q_{3,i}(l_i, \theta_i)$ коэффициента разделения $^{235}\text{UF}_6$ относительно $^{238}\text{UF}_6$ и $^{73}\text{GeF}_4$ относительно $^{76}\text{GeF}_4$ принимали в виде

$$q_{3,i} = \exp(a_0 + a_1 \theta_i - a_2 \theta_i^2 - a_3 \ln l_i),$$

где $a_0 = 1,5$, $a_1 = 1,5$, $a_2 = 1,5$, $a_3 = 0,3$ при потоке питания газовой центрифуги в мг/с. Коэффициенты разделения других компонентов определяли, исходя из $q_{3,i}$ и соответствующей разности массовых чисел

$$q_{j,i} = q_{3,i}^{\Delta M_{jm} / \Delta M_{3m}}.$$

Оценку показателей эффективности каскадов проводили с потенциалом разделения [8]

$$V(C_1, C_2, \dots, C_m) = \left(\frac{\Delta M_{rm}}{\Delta M_{rb}} \right)^2 (C_r - C_b) \ln \frac{C_r}{C_b} + \sum_{k=1, k \neq r, b}^m \left(\frac{\Delta M_{rm}}{\Delta M_{rk}} \right)^2 C_k \ln \frac{C_k}{C_r},$$

где C_j — концентрация j -го изотопа в рассматриваемом потоке ($j = 1, 2, \dots, m$); r, b — индексы, определяющие пару компонентов, на которую приходятся наибольшие затраты работы разделения. В расчетах обогащения регенерированного урана использовали $r = 3, b = 5, m = 5$, разделения тетрафторида германия — $r = 1, b = 2, m = 5$.

Расчет каскадов для обогащения регенерированного урана. Число газовых центрифуг в ступенях принимали $N_i = 1$ тыс. На питании задавали концентрацию изотопов регенерированного урана из отработавшего топлива ВВЭР [9], %: ^{232}U $1,5 \cdot 10^{-7}$, ^{234}U $1,6 \cdot 10^{-2}$, ^{235}U 0,85, ^{236}U 0,35, ^{238}U 98,78.

В табл. 1 приведены расчеты трех вариантов каскадов с профилированным потоком питания ступеней. Поток питания каскадов является максимально возможным для заданных параметров. Число ступеней $n = 8$, точка подачи питания $f = 4$. Каскады рас-

считаны при концентрации ^{235}U в отборе 4,4%, отвале 0,25%. Коэффициент использования разделительной мощности $K_{и.м.}$ каскадов составляет 83—85%. Наибольший коэффициент определяется потоком питания 25,88 г/с для каскада, рассчитанного методом [1]. В табл. 2 приведены параметры его ступеней. Профиль потока питания имеет характерную форму с минимумом на концевых ступенях и максимумом в точке подачи питания. Это приводит к высокому коэффициенту полезного действия $\eta = 97,4\%$, который учитывает смешивание потоков с разной концентрацией компонентов. Коэффициент технологического режима, отвечающий за отклонение параметров газовых центрифуг от лучших значений, составляет $\eta_p = 87,4\%$.

Второй каскад рассчитан методом [7] с использованием оптимизационного алгоритма пчелиной колонии [10]. Его поток питания на 2,3% меньше и составляет 25,28 г/с. Третий каскад рассчитан по приведенным формулам с оптимизированными параметрами $L_0 = 5,1$ г/с, $T = 124,7$ г/с, $\alpha = 0,85$, $\beta = 1,5$. Его поток питания составляет 25,71 г/с, что на 0,7% меньше, чем у первого каскада.

Внешние параметры трех каскадов мало отличаются, изменение внутренних по ступеням определяется потоком питания. Для второго и третьего

Т а б л и ц а 1. Внешние параметры каскадов для обогащения регенерированного урана

Поток	UF ₆ , г/с	²³² U, %	²³⁴ U, %	²³⁵ U, %	²³⁶ U, %	²³⁸ U, %
Метод [1], $\eta = 97,39\%$, $\eta_p = 87,37\%$, $K_{и.м.} = 85,09\%$						
<i>F</i>	25,88	$1,5 \cdot 10^{-7}$	0,016	0,85	0,35	98,784
<i>W</i>	22,138	$5,06 \cdot 10^{-9}$	$2,36 \cdot 10^{-3}$	0,25	0,186	99,562
<i>P</i>	3,742	$1,01 \cdot 10^{-6}$	$9,67 \cdot 10^{-2}$	4,4	1,323	94,18
Метод [7], $\eta = 97,73\%$, $\eta_p = 85,08\%$, $K_{и.м.} = 83,15\%$						
<i>F</i>	25,28	20,5	27,4	0,85	0,35	98,784
<i>W</i>	21,624	$4,99 \cdot 10^{-9}$	$2,37 \cdot 10^{-3}$	0,25	0,185	99,563
<i>P</i>	3,656	$1,01 \cdot 10^{-6}$	$9,66 \cdot 10^{-2}$	4,4	1,328	94,175
Метод настоящей статьи, $\eta = 97,56\%$, $\eta_p = 86,64\%$, $K_{и.м.} = 84,53\%$						
<i>F</i>	25,71	20,5	27,4	0,85	0,35	98,784
<i>W</i>	21,993	$5,13 \cdot 10^{-9}$	$2,38 \cdot 10^{-3}$	0,25	0,185	99,563
<i>P</i>	3,717	$1,01 \cdot 10^{-6}$	$9,66 \cdot 10^{-2}$	4,4	1,326	94,177

Т а б л и ц а 2. Внутренние параметры каскада для обогащения регенерированного урана, рассчитанные методом [1]

Ступень	<i>L</i> , г/с	θ	q_3	C_3'' , %	C_3' , %	$C_1', \cdot 10^{-6}\%$	C_2' , %	C_4' , %
1	43,35	0,489	2,104	0,25	0,524	0,022	0,006	0,304
2	77,96	0,444	1,757	0,384	0,672	0,042	0,009	0,353
3	100,17	0,434	1,626	0,507	0,822	0,072	0,012	0,396
4	121,03	0,458	1,543	0,629	0,965	0,117	0,016	0,432
5	94,99	0,456	1,659	0,717	1,181	0,143	0,02	0,512
6	69,92	0,435	1,812	0,877	1,574	0,199	0,027	0,64
7	41,86	0,363	2,068	1,177	2,395	0,363	0,045	0,869
8	15,21	0,246	2,616	1,742	4,4	1,008	0,097	1,323

Т а б л и ц а 3. Внешние параметры каскадов для концентрирования ^{70}Ge

Поток	GeF_4 , мг/с	^{70}Ge , %	^{72}Ge , %	^{73}Ge , %	^{74}Ge , %	^{76}Ge , %
Метод [7], $\eta = 76,07\%$, $\eta_p = 70,72\%$, $K_{\text{и.м.}} = 53,8\%$						
F	37,184	20,5	27,4	7,8	36,5	7,8
W	30,1	2,024	33,615	9,635	45,091	9,636
P	7,084	99	0,995	$4,76 \cdot 10^{-3}$	$3,35 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-8}$
Метод настоящего сообщения, $\eta = 81,27\%$, $\eta_p = 86,81\%$, $K_{\text{и.м.}} = 70,55\%$						
F	45,7	20,5	27,4	7,8	36,5	7,8
W	36,984	2	33,624	9,636	45,102	9,638
P	8,716	99	0,99	$8,51 \cdot 10^{-3}$	$1,42 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-7}$

каскадов характерна его большая неравномерность — пик выше, минимумы меньше. Так, для 4-й ступени третьего каскада он на 8,8 г/с больше, чем у первого каскада, для 8-й — меньше на 1,4 г/с. Это приводит к повышению коэффициента полезного действия при небольшом понижении коэффициента технологического режима и использовании разделительной мощности. Таким образом, предложенный метод профилирования потоков мало отличается от лучшего варианта по эффективности, но проще в реализации.

Следует отметить, что соответствующий каскад с одинаковым потоком питания ступеней, рассчитанный по методике [8], имеет существенно меньший поток питания 20,52 г/с и низкий коэффициент использования разделительной мощности 67,5%. Это объясняется большим смешиванием потоков с разной концентрацией компонентов на питании ступеней.

Расчет каскадов для концентрирования ^{70}Ge .

Рассматривали каскады с числом газовых центрифуг в ступенях $N_i = 4$. Концентрация компонентов в питании принята природной, %: ^{70}Ge 20,5, ^{72}Ge 27,4, ^{73}Ge 7,8, ^{74}Ge 36,5, ^{76}Ge 7,8.

В табл. 3 приведены расчеты двух каскадов с профилированным потоком питания ступеней и числом ступеней $n = 22$. Точка подачи питания для первого каскада $f = 12$, для второго $f = 11$. Концентрация ^{70}Ge в отборе каскадов равна 99%, отвале — 2%. Поток питания первого каскада, рассчитанного методом [7], составляет 37,18 мг/с, что меньше, чем в аналогичном каскаде с одинаковым потоком питания ступеней 39,95 мг/с [8].

Второй каскад рассчитан методом, рассматриваемым в настоящем сообщении, с параметрами $L_0 = 32,5$ мг/с, $T = 299$ мг/с, $\alpha = 0,85$, $\beta = 1,15$. По показателям эффективности разделения он существенно лучше первого каскада. Поток питания существенно выше и равен 45,7 мг/с. Коэффициент использования разделительной мощности на 17% больше и составляет 70,6%. Относительно низкое значение обусловлено каскадом с одинаковым числом газовых центрифуг в ступенях. Профиль потока питания по ступеням для данного каскада имеет максимум 331,5 мг/с в точке подачи питания и минимумы 71,4 и 33,3 мг/с на

концевых ступенях. Коэффициент деления потока изменяется по ступеням в диапазоне 0,26—0,49, коэффициент разделения ^{73}Ge — 1,73—3,17.

Вывод. Предложенный метод профилирования потока питания ступеней позволяет рассчитать эффективные параметры каскадов газовых центрифуг с переменными коэффициентами разделения и заданной концентрацией целевого компонента в выходящих потоках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Палкин В.А. Оптимальное распределение центрифуг по ступеням каскада для разделения многокомпонентной смеси изотопов. — Атомная энергия, 2017, т. 123, вып. 3, с. 154—159. // Palkin V.A. Optimal Distribution of Centrifuges over Stages in a Cascade for Separating Multicomponent Mixtures of Isotopes. — Atomic Energy, 2018, v. 123, № 3, p. 190—195.
2. Борисевич В.Д., Литвин Ю.В., Сулаберидзе Г.А. Расчетно-теоретические исследования при обогащении изотопов кадмия на газовых центрифугах. — Теор. основы хим. технологии, 2007, т. 41, № 6, с. 655—661. // Borisevich V.D., Litvin Yu.V., Sulaberidze G.A. Calculational Study of the Enrichment of Cadmium Isotopes in Gas Centrifuges. — Theor. Found. Chem. Engng, 2007, v. 41, № 6, p. 851—858.
3. Mansourzadeh F., Safdary J., Khamseh A. e.a. Comparison of optimum tapered cascade and optimal square cascade for separation of xenon isotopes using enhanced TLBO algorithm. — Sep. Sci. Techn., 2018, v. 53, № 13, p. 2074—2087.
4. Mirmohammadi S., Safdary J., Mallah M., Ezazy F. Designing a squared-off cascade for separation of the ^{92}Mo and ^{100}Mo isotopes to high purity. — Инж.-физ. журн., 2024, т. 97, № 4, с. 846—859.
5. Mirmohammadi S.L., Safdary J., Mallah M.H., Ezazy F. Comparison of the performance of the optimized squared-off and match abundance ratio cascades to separate lightest and heaviest molybdenum isotopes to 99,99%. — Там же, 2024, т. 97, № 4, с. 860—873.
6. Азизов Т.Э., Смирнов А.Ю., Сулаберидзе Г.А. Оптимизация прямоугольного каскада центрифуг для разделения многокомпонентных смесей изотопов. — Атомная энергия, 2020, т. 128, вып. 5, с. 270—275. // Azizov T.E., Smirnov A.Yu., Sulaberidze G.A. Optimization

- of a Square Cascade of Centrifuges for Separation of Multi-component Mixtures of Stable Isotopes. — Atomic Energy, 2020, v. 128, № 5, p. 291—296.
7. **Палкин В.А.** Получение изотопомодифицированного молибдена в ординарных и двойных каскадах газовых центрифуг. — Инж.-физ. журн., 2021, т. 94, № 4, с. 855—862.
 8. **Палкин В.А.** Расчет каскада с одинаковым числом газовых центрифуг в ступенях и заданной концентрацией целевого изотопа в выходящих потоках. — Атомная энергия, 2024, т. 137, вып. 5—6, с. 277—281. // **Palkin V.A.** Calculation of a Cascade with the Same Number of Gas Centrifuges in Stages and a Given Concentration of the Target Isotope in Output Streams. — Atomic Energy, 2025, v. 137, № 5—6, p. 315—320.
 9. **Мазин В.И., Водолазских В.В., Журин В.А. и др.** Способ изотопного восстановления регенерированного урана. Пат. РФ № 2497210 от 27.10.2013. — Бюл. «Изобретения. Полезные модели», 2013, № 30, с. 714—715.
 10. **Karaboga D.** An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization. Techn. Rep. TR06. Turkey, Erciyes University, 2005. 10 p.
- Поступило в Редакцию 23.04.25
Принято к опубликованию 27.06.25

Р е ф е р а т ы

УДК 621.039.577-182.3

Безруков А.А., Вешняков К.Б., Брыкалов С.М., Петрунин В.В., Кураченков А.В., Щекнин Д.В. **Атомные энергоисточники на основе плавучих энергоблоков для решения энергетических проблем Дальневосточного федерального округа.** — Атомная энергия, 2025, т. 138, вып. 6, с. 311—319.

Первоочередной задачей развития Дальневосточного федерального округа является решение проблемы дефицита и надежности электрических мощностей за счет масштабного обновления энергетической отрасли.

Включение в состав энергосистем округа надежных и безопасных атомных плавучих энергоблоков на основе освоенных и готовых к реализации установок типа РИТМ-200 повысит надежность и устойчивость энергосистем, энергетическую безопасность региона.

Для атомной отрасли данное решение будет способствовать расширению производства атомной энергии на АЭС и укреплению позиций на энергетическом рынке. Рис. 7, табл. 3, список лит. 11 назв.

Ключевые слова: Дальневосточный федеральный округ, атомная отрасль, энергоснабжение, безопасность, плавучие энергоблоки

UDC 621.039.577-182.3

Bezrukov A.A., Veshniakov K.B., Brykalov S.M., Petrunin V.V., Kurachenkov A.V., Shcheknin D.V. (JSC «Afrikantov OKBM», Nizhny Novgorod). **Sources of Nuclear Energy Mounted on Floating Power Units Aimed at Solving Energy-Related Issues of the**

Far East Federal District. — Atomic Energy, 2025, v. 138, № 6, p. 311—319.

The primary task in developing the Far East federal district is to solve the issues of shortage and reliability of electricity generating capacities through a large-scale renewal of the energy industry.

The reliable and safe floating nuclear power units based on the mature and ready-for-implementation RITM-200-series plants included in the District's energy systems will increase the reliability and stability of the energy systems and the energy security of the region.

For the nuclear industry, this solution will contribute to the expansion of nuclear energy production at nuclear power plants and to the consolidation of our position in the energy market. Fig. 7, tab. 3, ref. 11.

Keywords: the Far East federal district, nuclear industry, power supply, security, floating power units

УДК 519.6

Чуданов В.В., Аксенова А.Е., Макаревич А.А., Леонов А.А. **3D-модель поверхностного натяжения жидкости в коде TwoPhase.** — Атомная энергия, 2025, т. 138, вып. 6, с. 319—323.

В статье описана методика расчета поверхностного натяжения, используемая в коде TwoPhase для прямого численного моделирования теплогидродинамики двухфазной сжимаемой среды, включая двухкомпонентные смеси, с учетом межфазного тепломассообмена и уравнения состояния сгущенного газа или Нобля—Абеля для слабосжимаемой среды. Для расчета двухфазной среды используется