

Сетевое приложение к статье СТОИМОСТЬ ИЗВЛЕЧЕНИЯ УРАНА ИЗ МОРСКОЙ ВОДЫ СИСТЕМОЙ АДсорбЕНТА ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ ОПЛЕТОК

Эрих Шнайдер и Даршан Сачде

В данном приложении содержатся структурные схемы процесса и подробности методологии и расчетов оценки стоимости извлечения урана из морской воды с использованием амидоксимовых адсорбентов, как это было предложено Японским агентством по атомной энергии (JAEA).

Перечень рисунков:

- Рисунок А.1. Структурная схема процесса – Формование волокна из расплава и облучение
- Рисунок А.2. Структурная схема процесса – Пересадка и намотка
- Рисунок А.3. Структурная схема процесса – Извлечение из адсорбента
- Рисунок А.4. Структурная схема процесса – Осаждение
- Рисунок А.5. Структурная схема процесса – Очистка (очистительный завод Fernald)
- Рисунок В.1. Стоимость электронного пучка в зависимости от мощности пучка, с данными поставщиков
- Рисунок D.1. Зависимость адсорбции от времени и температуры

Перечень таблиц:

- Таблица А.1. Таблица оборудования и потоков для формования волокна из расплава и облучения
- Таблица А.2. Таблица оборудования и потоков для пересадки и намотки
- Таблица А.3. Таблица оборудования и потоков для структурной схемы процесса извлечения из адсорбента
- Таблица А.4. Таблица оборудования и потоков для структурной схемы процесса осаждения
- Таблица А.5. Таблица оборудования и потоков для структурной схемы процесса очистки
- Таблица В.1. Модифицированная система кодов счетов (COA) для оценки капитальных затрат
- Таблица В.2. Модифицированная система кодов счетов (COA) для оценки ежегодных финансовых затрат и затрат на операции и обслуживания
- Таблица В.3. Обзор методов оценки затрат, используемых для заполнения системы кодов счетов (COA)
- Таблица В.4. Методы оценки капитальных затрат
- Таблица В.5. Коэффициенты для оценки фиксированных капитальных инвестиций по стоимости поставленного оборудования и корректировка по источнику⁴
- Таблица В.6. Средние национальные ставки заработной платы для выбранных профессий в долларах США 2010 года
- Таблица В.7. Цены химикатов и их стандартные отклонения по историческим данным
- Таблица В.8. Цены коммунальных услуг в долларах США 2010 года
- Таблица В.9. Сводка методов оценки ежегодных эксплуатационных затрат
- Таблица В.10. Переменные, включенные в анализ Монте Карло со средними значениями и стандартными отклонениями
- Таблица В.11. Справочные данные по стоимости и производительности линии формирования волокна из расплава
- Таблица В.12. Проектные характеристики электронного пучка и базового варианта конструкции поставщика
- Таблица В.13. Требования к системе ленточного конвейера – участок пересадки
- Таблица В.14. Данные по размерам реактора пересадки
- Таблица В.15. Требования к рабочей силе на кораблях в зависимости от водоизмещения
- Таблица В.16. Требования к системе ленточного конвейера – участок извлечения из адсорбента
- Таблица С.1. Коды счетов – участок производства адсорбента
- Таблица С.2. Коды счетов – участок постановки на якорь и развертывания
- Таблица С.3. Коды счетов – участок извлечения из адсорбента и очистки
- Таблица D.1. Данные полевых испытаний по адсорбции урана
- Таблица D.2. Параметры регрессии для модели адсорбции, зависящей от времени и температуры

Приложение А. Структурные схемы процесса

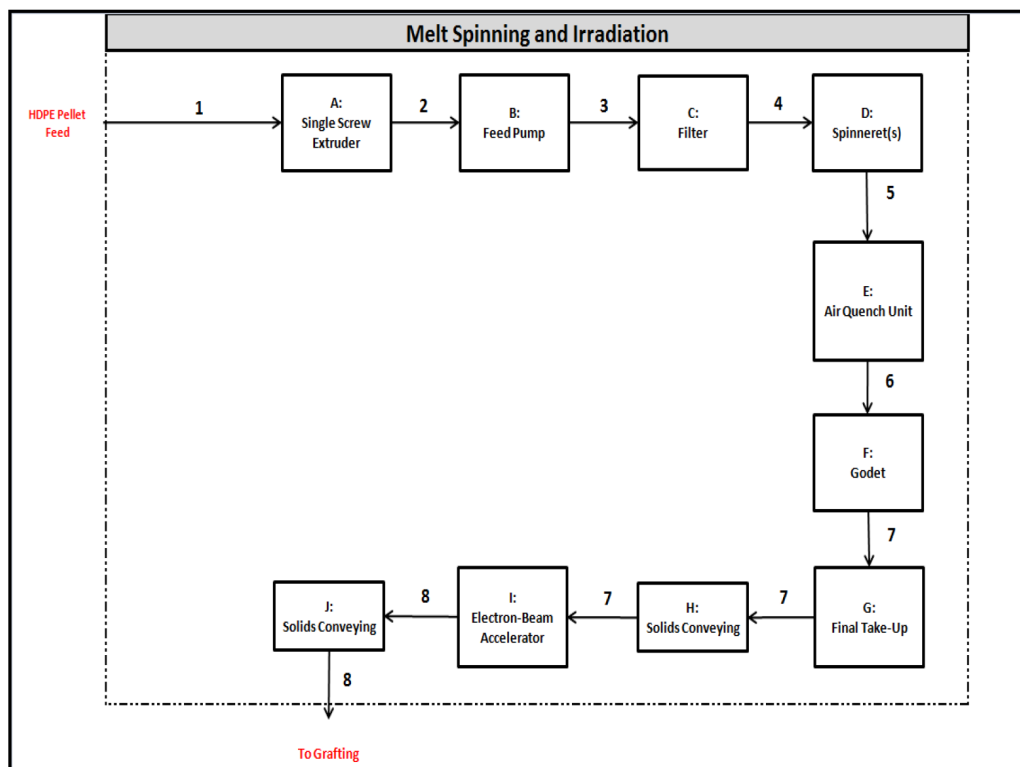


Рисунок А.1. Структурная схема процесса – Формование волокна из расплава и облучение
Перевод названий оборудования и потоков приведен в таблице А.1.

Таблица А.1. Таблица оборудования и потоков для формования волокна из расплава и облучения.

Оборудование		
ID	Тип оборудования	Описание
A	Экструдер с одним винтом	Расплавление и перемешивание полиэтилена высокой плотности (HDPE) для последующих этапов формования
B	Подающий насос	Измерение и распределение расплавленного полиэтилена
C	Фильтр	Удаление примесей и оставшихся твердых частиц из расплава
D	Многоканальный мундштук (фильера)	Устанавливается в разветвленном трубопроводе для получения части потока из экструдера; вытягивает волокна из расплава через отверстия в головке фильеры
E	Блок воздушной закалки	Охлаждает волокна и кристаллизует их
F	Ролик	Работает совместно с натяжным устройством для вытягивания волокна заданной длины и его наматывания для дальнейшей обработки
G	Конечное натяжное устройство	Окончательное наматывание волокна
H	Ленточный конвейер	Перемещает катушки с волокном с линии выдавливания на ускорители электронного пучка
I	Ускоритель электронного пучка	Облучает ствольный полимер HDPE для генерации свободных радикалов для полимеризации
J	Ленточный конвейер	Перемещает облученные волокна на катушках на участок пересадки
Потоки		
ID	Компоненты	Описание
1	Гранулы HDPE	Насыпные гранулы HDPE
2	Расплав HDPE	Расплав HDPE при температуре от 170 °C до 190 °C
3	Расплав HDPE под давлением	Расплав HDPE под высоким давлением для формования
4	Расплав HDPE под давлением	Расплав HDPE с удаленными примесями и твердыми частицами
5	Расплав HDPE	Индивидуальные потоки расплава HDPE, сформированные фильерой
6	Кристаллизованные волокна HDPE	Охлажденные волокна, сформированные выдавливанием и охлаждением
7	Волокна HDPE	Волокна, доведенные до окончательного диаметра и длины
8	Облученные волокна	Волокна со свободными радикалами от облучения электронным пучком
Общее количество основных этапов процесса*		4
* Основные этапы процесса: экструзия (A), формование (B–D), охлаждение и намотка (E–G) и облучение (I).		

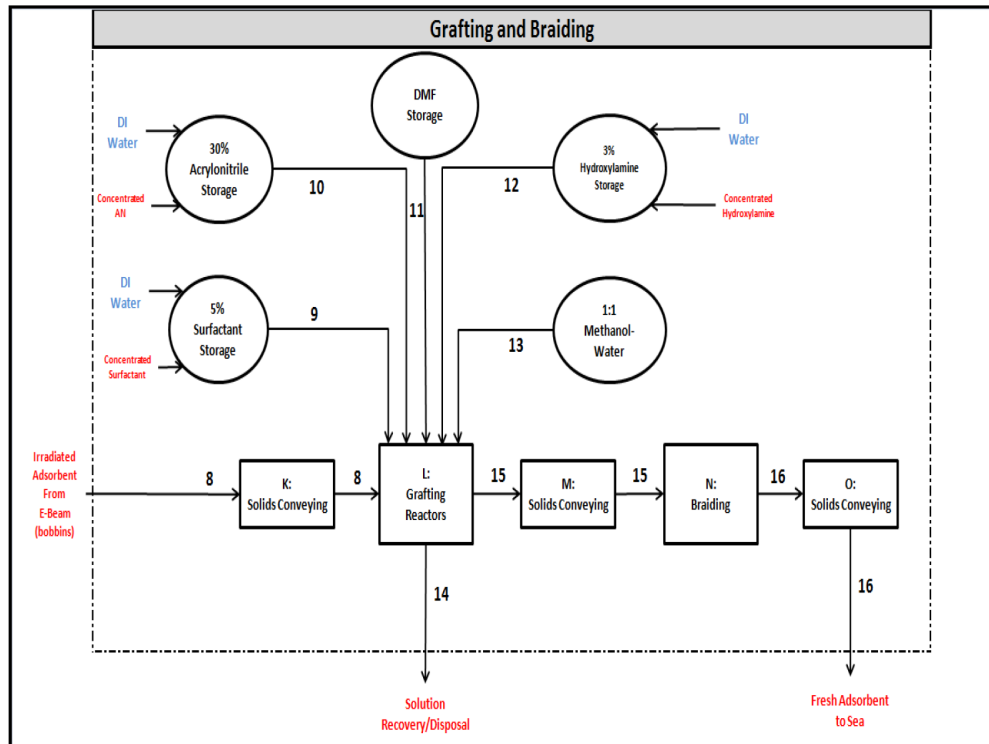


Рисунок А.2. Структурная схема процесса – Пересадка и намотка
Перевод названий оборудования и потоков приведен в таблице А.2.

Таблица А.2. Таблица оборудования и потоков для пересадки и намотки.

Оборудование		
ID	Тип оборудования	Описание
K	Ленточный конвейер	Перемещает облученные пучки волокон на этап химической пересадки
L	Реактор с мешалкой и кожухом	Пересадка групп амидоксима на площадки свободных радикалов на волокнах HDPE
M	Ленточный конвейер	Перемещает амидоксимовые волокна на оплеточные станки для окончательной обработки
N	Оплеточный станок для волокон	Наматывает 4 многоволоконных пучка на полую сердцевину (поплавок)
O	Ленточный конвейер	Перевозит законченный намотанный адсорбент для погрузки и транспортировки в море
-	Резервуары-хранилища	Наливное хранилище химикатов с запасом на 30 дней
Потоки		
ID	Компоненты	Описание
8	Волокна HDPE	50 000 тонн облученного HDPE от электронного пучка
9	5% додецилсульфат натрия	Поверхностно-активный раствор для стабилизации эмульсии во время пересадки
10	30% раствор акрилонитрила	Мономер, который пересаживается на площадки свободных радикалов на полимерном основании
11	Диметилформамид	Промывка растворителем для удаления непрореагировавшего в реакторе мономера
12	3% гидроксилламин	Преобразует цианогруппу пересаженного мономера в группу амидоксима
13	Смесь метанола и воды в соотношении 1:1	Распределяет гидроксилламин во время последнего этапа реакции пересадки
14	Промывочный раствор	Неиспользованные и непрореагировавшие химикаты из реакторов пересадки
15	Волокна амидоксима	Адсорбент из волокон с пересаженным амидоксима
16	Намотанный адсорбент	Окончательный намотанный адсорбент, сформированный из 4 многоволоконных пучков
Общее количество основных этапов процесса*		2
* Основные этапы процесса: пересадка (L) и намотка (N).		

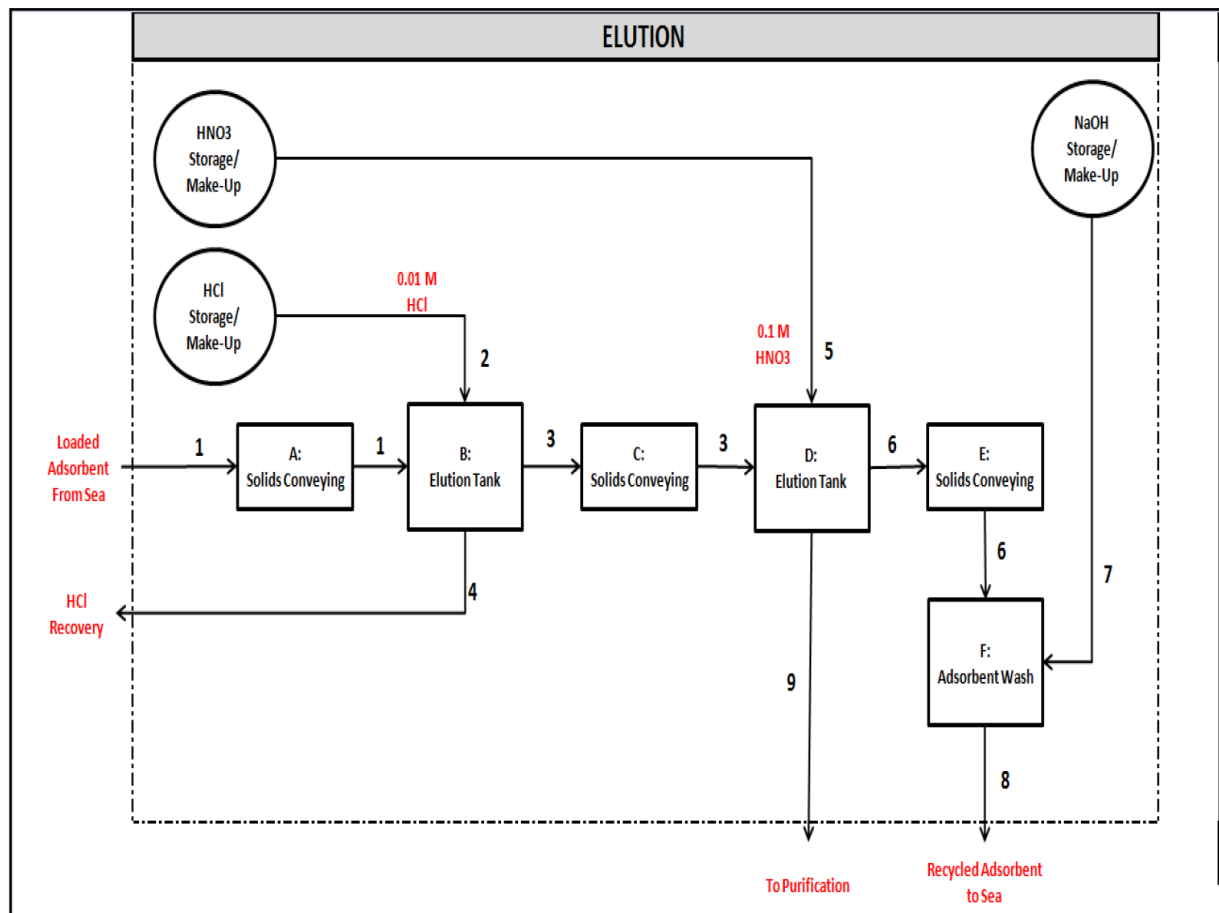


Рисунок А.3. Структурная схема процесса – Извлечение из адсорбента
Перевод названий оборудования и потоков приведен в таблице А.3.

Таблица А.3. Таблица оборудования и потоков для структурной схемы процесса извлечения из адсорбента.

Оборудование		
ID	Тип оборудования	Описание
A	Ленточный конвейер	Перемещает загруженный адсорбент в процессы рафинирования
B	Резервуар с мешалкой	Извлечение щелочных и щелочноземельных металлов соляной кислотой
C	Ленточный конвейер	Перемещает адсорбент на второй этап извлечения
D	Резервуар с мешалкой	Селективное извлечение урана азотной кислотой
E	Ленточный конвейер	Перемещает адсорбент на этап промывки
F	Резервуар с мешалкой	Регенерация адсорбента щелочным раствором (неясно, понадобится ли она)
-	Резервуары-хранилища	HCl, HNO ₃ , и NaOH
Потоки		
ID	Компоненты	Описание
1	Адсорбент, уран, другие металлы	600 000 тонн адсорбента в год + 1200 тонн извлеченного урана в год + другие металлы
2	Раствор HCl (0,01 M)	Удаляет щелочные и щелочноземельные металлы
3	Обработанный адсорбент	
4	Щелочные и щелочноземельные металлы в растворе HCl	
5	Раствор HNO ₃ (0,1 M)	Селективно извлекает уран в форме уранилнитрата
6	Регенерированный адсорбент	
7	Гидроокись натрия	Регенерирует адсорбент щелочным раствором
8	Регенерированный адсорбент	Возвращает адсорбент для повторного размещения
9	Неочищенный уранилнитрат	Уранилнитрат с примесями
Общее количество основных этапов процесса*		3
* Основные этапы процесса: извлечение (B), извлечение (D) и промывка адсорбента (F).		

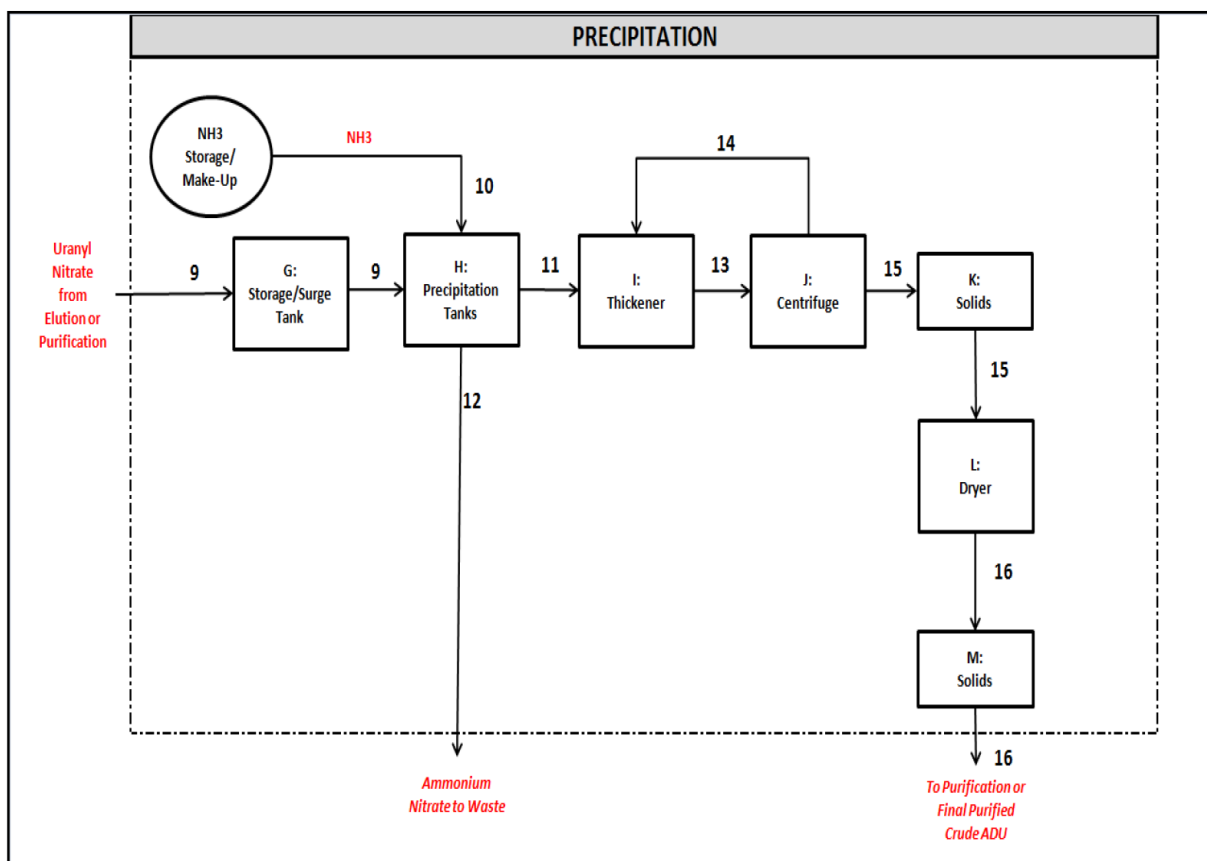


Рисунок А.4. Структурная схема процесса – Осаждение
 Перевод названий оборудования и потоков приведен в таблице А.4.

Таблица А.4. Таблица оборудования и потоков для структурной схемы процесса осаждения.

Оборудование		
ID	Тип оборудования	Описание
G	Резервуары-хранилища	Запасы / Контроль извлеченного уранил нитрата
H	Резервуар с мешалкой	Осаждение неочищенного диураната аммония аммиаком в баке с мешалкой
I	Концентратор	Удаление избыточной жидкости
J	Центрифуга	Концентрация твердого диураната аммония
K	Ленточный конвейер	Пополнение/загрузка химикатов (HCl, HNO ₃ , NH ₃)
L	Сушильный аппарат	Сушка диураната аммония для окончательного хранения / транспортировки
M	Ленточный конвейер	Перемещение неочищенного диураната аммония для очистки или чистого диураната аммония для окончательного хранения
Потоки		
ID	Компоненты	Описание
9	Уранил нитрат	Уранил нитрат из извлечения или очистки
10	Аммиак	Аммиак для осаждения диураната аммония
11	Диуранат аммония	Неочищенный или очищенный диуранат аммония
12	Нитрат аммония	Отходы от осаждения; на участок обработки рафината
13	Диуранат аммония	Уплотненный диуранат аммония
14	Повторно используемый раствор	Фаза низкой массы из центрифуги
15	Диуранат аммония	
16	Диуранат аммония	Осушенный диуранат аммония
Общее количество основных этапов процесса*		8

* Основные этапы процесса: осаждение (H), уплотнение (I), центрифугирование (J) и сушка (L). Два участка осаждения.

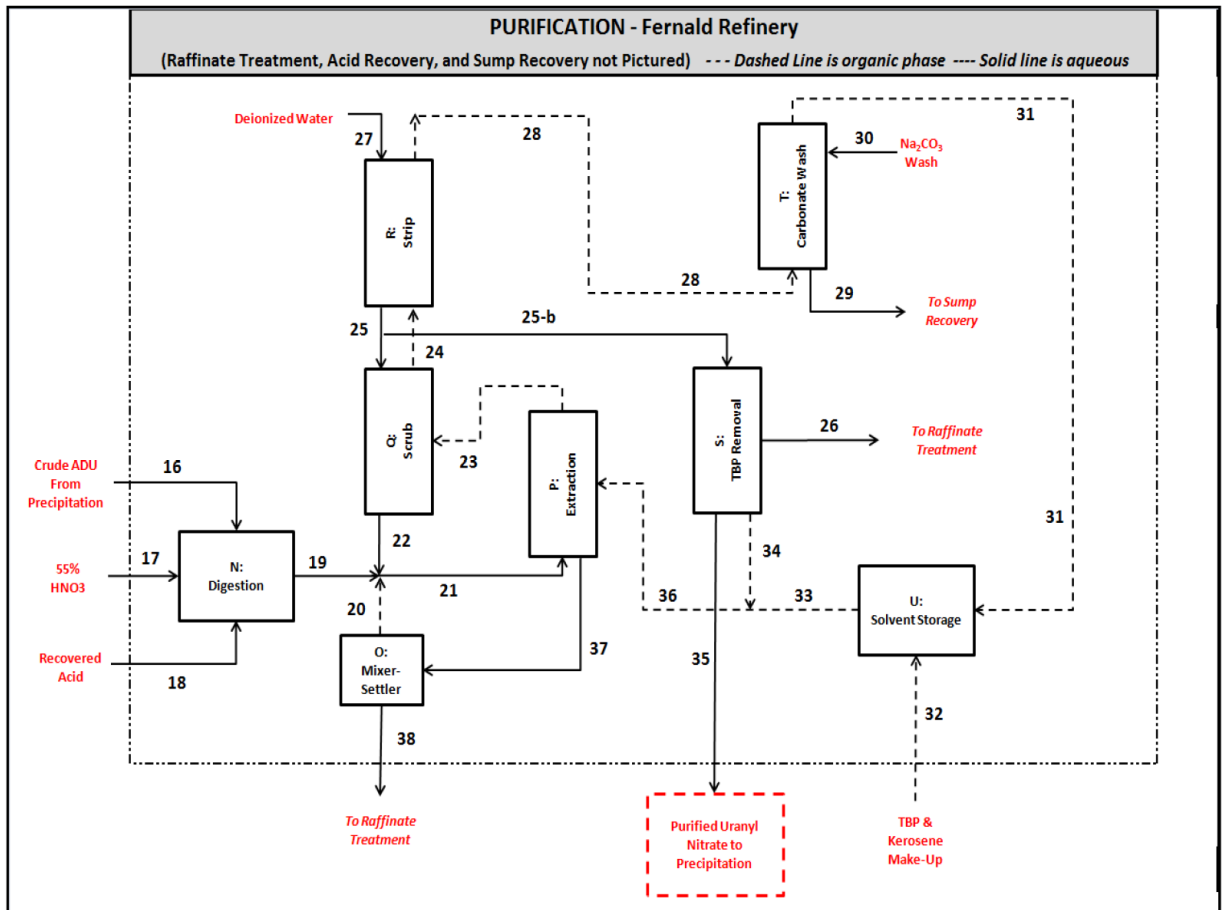


Рисунок А.5. Структурная схема процесса – Очистка (очистительный завод Fernald)
 Обработка рафината, возврат кислоты и возврат осадка не показаны.
 Органическая фаза показана штриховой линией, водная фаза показана сплошной линией.
 Перевод названий оборудования и потоков приведен в таблице А.5.

Таблица А.5. Таблица оборудования и потоков для структурной схемы процесса очистки.

Таблица структурной схемы процесса		
Оборудование		
ID	Тип оборудования	Описание
N	Бак с мешалкой	Растворение диураната аммония в азотной кислоте для очистки
O	Смеситель-сепаратор	Отделяет рафинат от возвращаемого органического растворителя
P	Колонна с пульсацией	Колонна первичной экстракции
Q	Колонна с пульсацией	Отделение примесей от органической фазы
R	Колонна с пульсацией	Отделяет уран в водную фазу для окончательной обработки
S	Разное	Участок для удаления вовлеченного трибутилфосфата и удаления потоков отходов
T	Разное	Промывка растворителя
U	Фильтр	Хранение / запасы растворителя
-	Резервуары-хранилища	Деионизированная вода, карбонат натрия и раствор трибутилфосфата в керосине
Потоки		
ID	Компоненты	Описание
16	Неочищенный диуранат аммония	Осажденный диуранат аммония после извлечения
17	Водный поток (HNO_3)	55 весовых процентов HNO_3
18	Возвращаемая HNO_3	Из участка возврата кислоты
19	Раствор уранил нитрата	Неочищенный уранил нитрат
20	Органический поток (трибутилфосфат в керосине)	
21	Водный поток с ураном	
22	Водный десорбированный поток	
23	Органический поток с ураном	
24	Органический поток с ураном	Примеси убраны водным потоком
25	Водный поток с ураном	
25-b	Водный поток с ураном	Основной поток извлечения продукта
26	Водный поток рафината	На участок рафината для обработки
27	Деионизированная вода	Десорбирующий агент
28	Десорбированный органический поток	Содержит примеси, такие, как дибутилфосфат
29	Поток отходов	Отходы в отстойник для извлечения / утилизации
30	Карбонат натрия	Раствор для очистки растворителя
31	Органический поток (трибутилфосфат в керосине)	
32	Органический поток (трибутилфосфат в керосине)	Свежий трибутилфосфат в керосине для восполнения потерь
33	Органический поток (трибутилфосфат в керосине)	
34	Органический поток (трибутилфосфат в керосине)	Возвращенный органический растворитель из потоков продукта и отходов
35	Очищенный уранил нитрат	Продукт из участка экстракции растворителя – к осаждению для окончательной обработки
36	Органический поток (трибутилфосфат в керосине)	Основной органический поток для экстракции
37	Смесь водного и органического потоков	Остаток для первичной экстракции
38	Водный поток рафината	На участок рафината для обработки
Общее количество основных этапов процесса*		13
* Включая обработку рафината, извлечение осадка, и возвращение азотной кислоты, не включенные в структурную схему процесса.		

Приложение В. Методология и расчеты детальной оценки стоимости

В таблице В.1 представлена универсальная система кодов счетов, адаптированная из общей схемы Рабочей группы по экономическому моделированию (EMWG) Международного форума «Поколение IV», которая будет использована для оценки капитальных затрат для данного анализа. Таблица В.2 представляет систему кодов счетов для ежегодных затрат на эксплуатацию и обслуживание (O&M) и финансовых затрат.

Таблица В.1. Модифицированная система кодов счетов (COA) для оценки капитальных затрат.

№ счета EMWG	Название счета	Описание
1	Капитализированные затраты до строительства (промежуточная сумма)	
Серия 10		
11	Земля и права на землю	Приобретение новой земли, включая права на землю.
12	Разрешения на площадку	Разрешения, относящиеся к площадке, требующиеся для строительства долговременного завода.
13	Лицензирование завода	Лицензии для строительства и эксплуатации завода.
14	Разрешения для завода	Разрешения для строительства и эксплуатации завода.
15	Исследования для завода	Исследования для площадки или завода, необходимые для строительства и эксплуатации.
16	Отчеты по заводу	Подготовка основных отчетов, таких, как заключение о воздействии на окружающую среду или анализ безопасности.
17	Прочие затраты до строительства	Затраты, понесенные владельцем до строительства, такие, как затраты на ознакомление общественности или на рекультивацию.
19	Непредвиденные обстоятельства по затратам до строительства	Дополнительные затраты для обеспечения желательной уверенности в предотвращении перерасхода по затратам до строительства.
2	Капитализированные прямые затраты (промежуточная сумма)	
Серия 20		
21	Строения и улучшения	Строительные работы и строения, в первую очередь здания.
23	Технологическое оборудование	Все технологическое оборудование и системы, связанные с выходящей продукцией завода.
24	Электрическое оборудование	Все оборудование, необходимое для электроснабжения завода и технологического оборудования.
25	Система отвода тепла	Включает такое оборудование, как водяные насосы, рециркуляционные насосы, вентили, башенные охладители, и т.п.
26	Различное заводское оборудование	Любое оборудование, не упомянутое выше.
27	Специальные материалы	Материалы, необходимые до пуска завода.
29	Непредвиденные обстоятельства по прямым затратам	Дополнительные затраты для обеспечения желательной уверенности в предотвращении перерасхода по прямым затратам.
Сумма 1-2	ОБЩИЕ ПРЯМЫЕ ЗАТРАТЫ	
3	Капитализированные косвенные затраты (промежуточная сумма)	
31	Полевые косвенные затраты (арендная плата, временные строения и т.п.)	Включает строительное оборудование, временные строения, оборудование, расходные материалы, прочие вспомогательные услуги
32	Надзор за ведением строительных работ	Прямой надзор за ведением строительных работ.
33	Затраты на пусконаладочные работы и ввод в эксплуатацию	Включает разработку процедуры ввода в эксплуатацию, услуги по предварительным испытаниям, контрольные испытания материалов и т.п.
34	Демонстрационные испытания	Все услуги по демонстрационным испытаниям, включая рабочую силу, расходные материалы, запасные части, и поставки.
Сумма 1-34	ОБЩИЕ ПОЛЕВЫЕ РАСХОДЫ	
35	Проектные услуги вне площадки	Инженерные, проектные и планировочные работы, проведенные в учреждении вне площадки (поставщиком или архитекторами и инженерами).
36	Управление проектом вне площадки	Управление проектом и его поддержка, оказываемые вне площадки.
37	Проектные услуги на площадке	То же, что и 35, но исполняемое на площадке.
38	Управление проектом на площадке	То же, что и 36, но исполняемое на площадке.
39	Непредвиденные обстоятельства по косвенным затратам	Дополнительные затраты для обеспечения желательной уверенности в предотвращении перерасхода по косвенным затратам.
Сумма 1-3	БАЗОВЫЕ ЗАТРАТЫ НА СТРОИТЕЛЬСТВО	

Таблица В.1. Модифицированная система кодов счетов (СОА) для оценки капитальных затрат (продолжение).

№ счета EMWG	Название счета	Описание
4	Капитализированные затраты владельца (промежуточная сумма)	
Серия 40		
41	Наем и подготовка персонала	Нанять и подготовить персонал до ввода завода в эксплуатацию.
42	Жилищный фонд персонала	Расходы на переезд, временное жилище, или постоянное пребывание персонала для эксплуатации и обслуживания.
43	Затраты, относящиеся к заработной плате персонала	Налоги, страхование, пособия, дополнительные льготы, и т.п.; прочие относящиеся к заработной плате расходы.
46	Прочие затраты владельца на капитальные вложения	
49	Непредвиденные обстоятельства по затратам владельца	Дополнительные затраты для обеспечения желательной уверенности в предотвращении перерасхода по затратам владельца.
5	Капитализированные дополнительные затраты (промежуточная сумма)	
Серия 50		
51	Затраты на перевозку грузов и транспортировку	Перевозка и транспортировка основного оборудования или бес-тарных грузов с экспедированием груза.
52	Запасные части и поставки	Запасные части, предоставляемые поставщиками системы для первого года эксплуатации.
53	Налоги	Налоги, связанные с долговременным заводом, такие, как налог на недвижимость, – капитализируемые с заводом.
54	Страхование	Страхование, связанное с долговременным заводом, такое, как налог на недвижимость, – капитализируемое с заводом.
58	Расходы на вывод из эксплуатации	Вывод из эксплуатации, обеззараживание и демонтаж завода в конце коммерческой эксплуатации.
59	Непредвиденные обстоятельства по дополнительным затратам	Дополнительные затраты для обеспечения желательной уверенности в предотвращении перерасхода по дополнительным затратам.
Сумма 1–5	ОБЩИЕ ЗАТРАТЫ НА СТРОИТЕЛЬСТВО	
6	Капитализированные финансовые затраты (промежуточная сумма)	
61	Шкала надбавок и накидок	Обычно не включается в анализ фиксированного года в долларах базового периода.
62	Вознаграждения и отчисления	Вознаграждения и отчисления, капитализируемые вместе с заводом.
63	Проценты во время строительства	Применяется ко всем понесенным расходам до коммерческой операции; предполагается, что эти затраты будут финансироваться по займу.
69	Непредвиденные обстоятельства по финансовым затратам	Дополнительные затраты для обеспечения желательной уверенности в предотвращении перерасхода по финансовым затратам.
Сумма 1 – 6	ОБЩИЕ ЗАТРАТЫ НА КАПИТАЛЬНЫЕ ИНВЕСТИЦИИ	

Таблица В.2. Модифицированная система кодов счетов (COA) для оценки ежегодных финансовых затрат и затрат на операции и обслуживания

№ счета EMWG	Название счета	Описание
7	Ежегодные затраты на эксплуатацию и обслуживание (промежуточная сумма)	
Серия 70		
71	Эксплуатационный персонал	Затраты на заработную плату для эксплуатационного персонала.
72	Управленческий персонал	Затраты на заработную плату для управленческого и конторского персонала.
73	Затраты, относящиеся к заработной плате	Налоги, страхование, пособия, дополнительные льготы, и т.п. (включены выше в пункты 71 и 72).
74	Сырьевые материалы	Химикаты процесса, идентифицированные в структурных схемах процесса.
75	Запасные части	Любые эксплуатационные запасные части – за исключением капитальных обновлений завода, или крупного оборудования, которое капитализировано или амортизировано.
76	Коммунальные услуги, принадлежности и расходные материалы	Вода, газ, электроэнергия, инструменты, химикаты (не из процесса), оборудования и рабочая сила для обслуживания, офисные принадлежности и т.п., покупаемые ежегодно.
77	Капитальные обновления завода	Обновления для поддержания или увеличения производительности завода, выполнения требований, или продления срока жизни завода.
78	Налоги и страхование	Налоги на собственность и расходы на страхование, за исключением относящихся к заработной плате.
79	Непредвиденные обстоятельства по затратам на эксплуатацию и обслуживание	Дополнительные затраты для обеспечения желательной уверенности в предотвращении перерасхода по затратам на эксплуатацию и обслуживание.
9	Ежегодные финансовые затраты (промежуточная сумма)	
Серия 90		
91	Шкала надбавок и накидок	Обычно не включается.
92	Сборы	Ежегодные сборы, такие, как за лицензированный процесс, сборы за эксплуатационную лицензию, и т.п.
93	Стоимость денег	Стоимость денег, используемых для эксплуатации – финансируемых или удерживаемых доходов.
99	Непредвиденные обстоятельства по ежегодным финансовым затратам	Дополнительные затраты для обеспечения желательной уверенности в предотвращении перерасхода по ежегодным финансовым затратам.

Категории в таблицах были изменены по сравнению с системой EMWG COA для приспособления системы учета к проекту волоконного адсорбента (например, были исключены счета по ядерному реактору и производству электроэнергии). Система COA предоставляет иерархическую структуру для компонентов затрат, используемую для определения показателя качества этого проекта. Одна из целей этой оценки заключалась в том, чтобы гарантировать, что как минимум будут получены оценки самой высшей категории COA (с одной цифрой).

Для заполнения таблиц COA были использованы несколько методов оценки стоимости, вместе с конкретными данными, предоставленными в японской оценке. Методы в целом были рассмотрены в этом разделе, и они при необходимости были адаптированы к конкретному процессу. В таблице В.3 представлен обзор методов, которые были использованы для заполнения каждого из однозначных счетов COA.

Таблица В.3. Обзор методов оценки затрат, используемых для заполнения системы кодов счетов (COA).

Счет	Категория	Метод оценки
1	Капитализированные затраты до строительства	Метод фиксированных капитальных инвестиций
2	Капитализированные прямые затраты	
3	Капитализированные косвенные затраты	
4	Капитализированные затраты владельца	Метод оценки рабочей силы
5	Капитализированные дополнительные затраты	Метод фиксированных капитальных инвестиций; вывод из эксплуатации не включен
6	Капитализированные финансовые затраты	Метод фиксированных капитальных инвестиций (62) Оценка процентов на капитал (63)
7	Ежегодные затраты на эксплуатацию и обслуживание	Метод оценки рабочей силы Оценка коммунальных услуг и химикатов Метод фиксированных капитальных инвестиций
9	Ежегодные финансовые затраты	Не применимо (N/A)

В.1.1 ОЦЕНКА КАПИТАЛЬНЫХ ЗАТРАТ: ФИКСИРОВАННЫЕ КАПИТАЛЬНЫЕ ИНВЕСТИЦИИ (COA от 1 до 6)

Промышленность химических процессов для стандартизации методов оценки затрат и неопределенности определила пять классификаций оценки капитальных затрат, включая требования к данным, усилия и затраты для подготовки, и ожидаемую точность оценок. Эти методы будут применимы к счетам системы COA с кодами от 1 до 6. В таблице В.4 приведена сводка методов и требований к данным.

Таблица В.4. Методы оценки капитальных затрат^{3,4}.

	Требуемые данные	Точность оценки (+/-)	Применимо ли к этой работе?
Порядок величины	Информация по затратам для полного процесса берется по данным для ранее построенных похожих заводов. Корректируется по правилам масштабирования и индексам инфляции. Достаточно использовать базовую блочную структурную схему (BFD).	>30%	Да
Исследование	Используется перечень основного оборудования процесса с приблизительными размерами и ценами. Для оценки полных капитальных затрат расходы на оборудование факторизируются. Требуется использовать подробную структурную схему процесса (PFD).	30%	Да
Предварительный проект	Требуется более тщательное определение размеров оборудования и его приблизительного размещения. Оценки трубопроводной сети, инструментов и требований по электроснабжению. Оцениваются коммунальные услуги. Структурная схема процесса (PFD) плюс эскизы оборудования, карта расположения участков земли, и вертикальные проекции. Используется для бюджетирования.	20%	Нет
Окончательные	Требуется предварительные технические требования для ВСЕГО оборудования, коммунальных услуг, приборов, электрической сети, и оборудования вне площадки. Окончательная структурная схема процесса (PFD), эскизы оборудования, карта расположения участков земли, вертикальные проекции, балансы коммунальных услуг и предварительная диаграмма трубопроводов и контрольно-измерительных приборов (P&ID).	10%	Нет
Подробные	Полный проект процесса, всего оборудования вне площадки, и коммунальных услуг. Расценки поставщика для самого дорогостоящего оборудования. Следующий этап – это стадия строительства. Все чертежи в окончательном варианте для строительства.	5%	Нет

Оценки капитальных затрат в данной работе в основном являются комбинацией оценок на уровнях порядка величины и исследования, основанных на данных, доступных во время проведения анализа.

Данный анализ базируется на оценках масштабирования цен, основанных на перечнях оборудования и требуемой производительности по оценкам JAEA; там, где это было возможно, для предоставления данных о специальном оборудовании были получены расценки поставщиков. В определении размеров и цен предполагался базовый вариант JAEA с ежегодным производством 100 000 тонн адсорбента и 1200 тонн урана⁵. В тех случаях, когда справочная производительность оборудования или процесса отличалась от той, которая требовалась в текущем проекте, или когда изменялась производственная мощность добычи урана, применялась следующая общая формула масштабирования стоимости:

$$C_2 = C_1 * \left(\frac{I_2}{I_1} \right) * \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^x \quad (1)$$

где C_2 – стоимость или оценка для текущего проекта в долларах США, C_1 – стоимость для справочного проекта в долларах США, I_2 – технический индекс стоимости в настоящее время (индексы стоимости обсуждаются ниже), I_1 – технический индекс стоимости в справочное время проекта (обсуждается ниже), S_2 – производительность (или размер) текущего проекта (характеристический размер оборудования), S_1 – производительность (или размер) справочного проекта (характеристический размер оборудования), x – показатель масштабирования.

Для каждой единицы оборудования показатель масштабирования стоимости x определялся, там, где это было возможно, из литературы. В тех случаях, когда подробные ссылки не были доступны, или когда масшта-

бирование не было возможным на уровне оборудования, то тогда соотношение масштабирования (1) применялось ко всей области процесса. Если показатели и соотношения масштабирования не были найдены в литературе, то применялось правило масштабирования «двух третей» ($x = 0,67$ в уравнении (1)); это значение представляет среднее значение по всем типам химических заводов⁶.

В данном анализе использовались два технических индекса стоимости: индекс стоимости оборудования (Marshall and Swift Equipment Cost Index (M&S)) для масштабирования стоимости индивидуального оборудования и индекс стоимости химического завода (Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI)) для масштабирования на уровне завода или процесса.

Стоимость приобретаемого оборудования, определенная из уравнения (1), – это компонента категорий фиксированных капитальных инвестиций в системе кодов СОА (коды счетов от 1 до 5). Методы, используемые для оценки фиксированных капитальных инвестиций³, основаны на стоимости поставляемого оборудования. Цены приобретаемого оборудования, оцениваемые по рассмотренным выше методам масштабирования, обычно подчиняются условиям «свободно на борту», означая, что поставщик отвечает за фрахт; для оценки стоимости поставляемого оборудования добавляется 10% стоимости оборудования как затрат по поставке. Все другие компоненты общих фиксированных капитальных инвестиций оцениваются в процентах от стоимости поставленного оборудования. Эти компоненты представлены в таблице В.5; проценты от стоимости поставленного оборудования основаны на усредненных по отрасли промышленности значениях для химических заводов³.

Таблица В.5. Коэффициенты для оценки фиксированных капитальных инвестиций по стоимости поставленного оборудования³ и корректировка по источнику⁴

	% от стоимости поставляемого оборудования (Е)	Примечания
Прямые затраты (DC)		
Приобретенное и поставленное оборудование (Е)	100%	
Установка приобретенного оборудования	39%	
Приборы и средства управления (установленные)	26%	
Трубопроводная сеть (установленные)	31%	
Электрические системы (установленные)	10%	
Здания (включая обслуживание)	29%	JAEA представило подробную информацию о зданиях, которая будет использоваться вместо этой оценки.
Обустройство территории завода	12%	Стоимость земли не входит в эту позицию.
Оборудование для технического обслуживания (установленное)	55%	
Общие прямые затраты по заводу	302%	
Косвенные затраты (IC)		
Технические затраты и надзор	32%	
Строительные затраты	39%	
Юридические затраты	4%	
Вознаграждение подрядчику	19%	
Непредвиденные расходы	37%	В эту позицию включены 10% от затрат на каждую позицию кодов счетов верхнего уровня (код из 1 цифры).
Общие косвенные затраты по заводу	126%	
Корректировка дополнительных расходов (GR)		
Подсобное хозяйство	50%	Счета по дополнительным затратам для переноса средств обслуживания в новое местоположение.
Фиксированные капитальные инвестиции (DC+IC+GR)	426%	

В целом, фиксированные капитальные инвестиции в 4,78 раза превышают общие затраты на доставленное приобретенное оборудование.

В.1.2. ЕЖЕГОДНЫЕ ЗАТРАТЫ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ И ОБСЛУЖИВАНИЕ (O&M).

Персонал для эксплуатации и обслуживания (коды SOA 71, 72 и 73).

Расчеты затрат на рабочую силу включают в себя методы для оценки количества человеко-часов, требующихся для обеспечения эксплуатации процесса, а также для предоставления заработной платы, соответствующей отрасли промышленности, уровню квалификации, и местоположению предприятия. Метод, используемый в этой оценке, был разработан на основании корреляции исторических требований химических компаний Соединенных Штатов к рабочей силе, и он в общем применяется к заводам химических процессов⁷. Эта корреляция, которая и сегодня остается широко используемой, определяется следующим эмпирическим соотношением:

$$O_{WH} = t * \left[\frac{N_P}{C_D^{0.76}} \right] \quad (2)$$

где O_{WH} – количество рабочих человеко-часов на тонну продукта, коэффициент t равен 23 для серийных операций с максимальной потребностью в рабочей силе, 17 для операций со средними требованиями к рабочей силе, и 10 для высокоавтоматизированных операций с непрерывным процессом, N_P – количество основных этапов процесса, и C_D – производительность завода в тоннах за сутки.

Затем из требований к человеко-часам определяется количество операторов:

$$N_{OL} = \frac{O_{WH}}{H_w} * C_Y \quad (3)$$

где N_{OL} – количество требующихся операторов, H_w – рабочие часы одного оператора (1960 часов в год), и C_Y – производительность завода в тоннах в год.

Для применения метода надо принять решения в отношении сложности процесса, и о том, что составляет основной этап процесса. В этом анализе процессам обращения с партией и адсорбентом (таким, как процесс извлечения из адсорбента) соответствует значение параметра $t = 23$ с интенсивным использованием рабочей силы. Всем другим процессам приписывается значение $t = 17$, что соответствует средней интенсивности использования рабочей силы. Основные этапы процесса определяются как те процессы, которые включают оборудование для разделения или реактор; работы с резервуарами-хранилищами, насосами и оборудованием для обращения с материалами основными этапами процесса не считались. Метод представляет оценку без подробных требований к оборудованию; однако, оценки требований к рабочей силе надо будет пересмотреть в окончательном проекте системы вслед за фазой подробного проектирования, и (или) после развертывания опытного завода.

Средний уровень заработной платы операторов был получен от Бюро статистики труда Соединенных Штатов (BLS). Сводка ставок, использованных в данном анализе, приведена в таблице В.6.

Таблица В.6. Средние национальные ставки заработной платы для выбранных профессий в долларах США 2010 года⁸.

Код профессии	Название профессии	Средняя часовая	Средняя годовая
51-8091	Операторы химических заводов и систем	26,30	54 700
	С доплатами	39,85	82 879
53-5011	Моряки и морские нефтяники	18,28	38 030
	С доплатами	28,12	58 508
53-5021	Капитаны, помощники капитана и штурманы кораблей	33,89	70 500
	С доплатами	52,14	108 462

Ставки заработной платы, использованные в оценке затрат на рабочую силу, включают в себя доплаты, отражающие истинную стоимость для работодателей. Две последние строки в таблице В.6 относятся к операциям по постановке на якорь и развертыванию; весь прочий персонал рассматривается как операторы химического завода. Окончательную оценку затрат на рабочую силу по этому методу можно выразить следующим образом:

$$C_{OL} = N_{OL} * W \quad (4)$$

где C_{OL} – ежегодные затраты на эксплуатационную рабочую силу, в долларах США 2010 года, и W – среднегодовая ставка заработной платы оператора (включая доплаты), в долларах США 2010 года.

Представленные до сих пор методы учитывали только работы по эксплуатации установок процесса в повседневных операциях; дополнительные затраты на рабочую силу возникают из-за деятельности надзорного и конторского персонала, непосредственно связанной с операциями (это касается также административного, технического и вспомогательного персонала). Дополнительные затраты на рабочую силу обычно оцениваются как доля затрат на эксплуатационную рабочую силу, изменяющаяся в пределах от 10% до 25%⁴. В данном анализе принимается, что затраты на деятельность надзорного и конторского персонала оцениваются как 18% от затрат на эксплуатационную рабочую силу. Расходы на управляющий персонал для процесса можно подытожить как:

$$C_{ML} = f_{labor} * C_{OL} \quad (5)$$

где f_{labor} – доля от затрат на эксплуатационную рабочую силу, 0,18 (от 0,1 до 0,25); C_{ML} – затраты на рабочую силу управляющего персонала, в долларах США 2010 года, C_{OL} – затраты на эксплуатационную рабочую силу, в долларах США 2010 года.

Затраты на заработную плату обслуживающего персонала суммируются с затратами на материалы и поставки в счете 76.

Сырьевые материалы (код счета 74)

Затраты на сырьевые материалы или химикаты процесса определяются из массового баланса химикатов, используемых в каждом процессе, и цены единицы массы каждого химиката. Сводка цен единицы массы химикатов, и связанных с ними вариаций исторических данных приведена в таблице В.7.

Таблица В.7. Цены химикатов (в долларах США 2010 года) и их стандартные отклонения по историческим данным^{9,10,11,12}.

Химикат	Описание	Средняя цена	Ст. откл.	Единица	Источник
Азотная кислота	42° Азотная кислота (67 %)	284	47	Тонна	CMR/ICIS, ист. ^{9,10}
Аммиак	Цена по сделкам, 100% аммиак	341	148	Тонна	CMR/ICIS, ист. ^{9,10}
Соляная кислота	22° Соляная кислота (36%)	148	58	Тонна	CMR/ICIS, ист. ^{9,10}
Серная кислота	66° Серная кислота (93%)	63	20	Тонна	CMR/ICIS, ист. ^{9,10}
Трибутилфосфат (ТБФ)	100% ТБФ	6420	1850	Тонна	CMR/ICIS, ист. ^{9,10} цена поставщика
Керосин	Керосин (без посредников)	1,70	0,69	Галлон	EIA ¹²
Ускоритель фильтрации	Диатомит	325	59	Тонна	USGS, ист. ¹¹
Оксид магния	Обоженная до спекания	598	121	Тонна	CMR/ICIS, ист. ^{9,10}
Оксид кальция	Негашеная известь	107	15	Тонна	USGS, ист. ¹¹
Полиэтилен (HDPE)	US Gulf, в мешках, экспортный	1470	280	Тонна	CMR/ICIS, ист. ^{9,10}
Акрилонитрил	US Gulf, 100% акрилонитрил	1331	587	Тонна	CMR/ICIS, ист. ^{9,10}
Диметилформамид (ДМФ)	BASF	1245	591	Тонна	CMR/ICIS, ист. ^{9,10} цена поставщика
Гидроксиламин	Включает данные по солям гидроксиламина	3077	411	Тонна	CMR/ICIS, ист. ^{9,10} цена поставщика
Метанол	US Gulf, 100% метанол	284	127	Тонна	CMR/ICIS, ист. ^{9,10}
ПАВ (Додецилсульфат натрия)		2101	642	Тонна	CMR/ICIS, ист. ^{9,10} цена поставщика
Карбонат натрия	US Gulf, Кальцинированная сода	149	43	Тонна	USGS, ист. ¹¹

При запросах к поставщику идентичность поставщика анонимна.

Коммунальные услуги, поставки и расходные материалы (код счета COA 76)

Затраты на коммунальные услуги рассчитываются в основном таким же способом, как и затраты на сырьевые материалы; энергетический баланс потока процесса для каждого участка определяет большую часть требований к коммунальным услугам (включая тип требуемой коммунальной услуги); массовый баланс определяет любые требования процесса по воде для каждой секции. Цены за единицы каждой услуги в данном анализе

приведены в таблице В.8. Все значения скорректированы на инфляцию согласно индексу потребительских цен (Consumer Price Index)¹³.

Таблица В.8. Цены коммунальных услуг в долларах США 2010 года; предполагается, что коммунальные услуги получаются от внешнего источника (а не производятся на площадке).

Коммунальная услуга	Цена (в долларах США 2010 года)	Источник	Цена	Базовый год
Электроэнергия (\$/кВт-ч) ^a	0,069	Ссылка 14		
Охлаждающая вода (\$/1000 м ³)	16,01	Ссылка 4	14,8	2006
Вода высокой чистоты (\$/1000 кг)				
Вода для процесса	0,72	Ссылка 4	0,067	2006
Вода из бойлера (115 °С)	2,65	Ссылка 4	2,45	2006
Питьевая вода	0,28	Ссылка 4	0,26	2006
Деионизированная вода	1,08	Ссылка 4	1	2006
Пар (\$/1000 кг)				
Низкого давления (5 бар избыточн. давл., 160 °С)	31,68	Ссылка 4	29,29	2006
Среднего давления (10 бар избыт. давл., 184 °С)	32,01	Ссылка 4	29,59	2006
Высокого давления (41 бар избыт. давл., 254 °С)	32,42	Ссылка 4	29,97	2006
Обработка сточных вод (\$/1000 м ³)				
Первичная (фильтрация)	44,35	Ссылка 4	41	2006
Вторичная (фильтрация + активный ил)	57,33	Ссылка 4	53	2006
Третичная (фильтрация + активный ил + химическая обработка)	60,57	Ссылка 4	56	2006
Котельное топливо #2 (\$/галлон)				
Гавань Нью-Йорка, котельное топливо #2, цена за наличный расчет ^b	2,12	Ссылка 12	N/A	N/A
Примечания:				
^a Среднегодовая цена промышленной электроэнергии в 1998 – 2010 годах в долларах 2010 года.				
^b Среднегодовая цена за наличный расчет в 2005 – 2010 годах в долларах 2010 года. Котельное топливо #2 – это обычное коммерческое морское топливо.				

Остающиеся расходы в категории коммунальных услуг, расходных материалов и поставок были оценены по фиксированным капитальным инвестициям, рассчитанным по таблице В.5. Два основных компонента, остающиеся в этой категории (затраты на обслуживание и поставки) были оценены следующим образом⁴:

$$C_{OS} = f_{supplies} * C_n \quad (6)$$

где $f_{supplies}$ – доля от фиксированных капитальных инвестиций, равная 0,011 (в диапазоне от 0,002 до 0,02)¹⁷, C_{OS} – затраты на эксплуатационные поставки, в долларах США 2010 года, C_n – фиксированные капитальные инвестиции, в долларах США 2010 года, и

$$C_M = f_{maint} * C_n \quad (7)$$

где f_{maint} – доля от фиксированных капитальных инвестиций, равная 0,06 (в диапазоне от 0,02 до 0,1)⁴, C_{OS} – затраты на обслуживание, в долларах США 2010 года, C_n – фиксированные капитальные инвестиции, в долларах США 2010 года.

Окончательно, полные расходы, ассоциированные со счетом 76, можно представить как:

$$C_{76} = C_U + C_{OS} + C_M \quad (8)$$

где C_{76} – общие расходы на коммунальные услуги, поставки и обслуживание, в долларах США 2010 года, и C_U – расходы на коммунальные услуги, в долларах США 2010 года.

Налоги и страхование (COA 78)

Налоги и страхование также можно оценить как долю от фиксированных капитальных инвестиций:

$$C_{TI} = f_{taxes} * C_n \quad (9)$$

где f_{taxes} – доля от фиксированных капитальных инвестиций, равная 0,032 (в диапазоне от 0,014 до 0,05)⁴, C_T – затраты на налоги и страхование, в долларах США 2010 года, C_n – фиксированные капитальные инвестиции, в долларах США 2010 года.

СВОДКА

В таблице В.9 представлена сводка методов оценки эксплуатационных расходов для каждой позиции системы кодов счетов COA.

Таблица В.9. Сводка методов оценки ежегодных эксплуатационных затрат.

№ счета EMWG	Название счета	Описание
7	Ежегодные затраты на эксплуатацию и обслуживание (промежуточная сумма)	
Серия 70		
71	Эксплуатационный персонал	Количество операторов (общее)*Ставку заработной платы для оператора (<i>смотрите уравнения 3 и 4</i>).
72	Управленческий персонал	0,18*Затраты на операционный персонал (<i>смотрите уравнение 5</i>).
73	Расходы, относящиеся к заработной плате	Включено в приведенные выше позиции с кодами счетов 71 и 72.
74	Сырьевые материалы	Потребленное количество*стоимость единицы химиката (таблица В.7).
75	Запасные части	Не применимо (N/A).
76	Коммунальные услуги, принадлежности и расходные материалы	Потребленные коммунальные услуги*стоимость единицы коммунальных услуг + 0,011*FCI + 0,06*FCI (<i>смотрите уравнения 6-8 и таблицу В.8</i>).
77	Капитальные обновления завода	Не применимо (N/A).
78	Налоги и страхование	0,032*FCI (<i>смотрите уравнение 9</i>).
79	Непредвиденные обстоятельства по затратам на эксплуатацию и обслуживание	0,1*сумму счетов от 71 до 78.
9	Ежегодные финансовые затраты (промежуточная сумма)	
Серия 90		
91	Шкала надбавок и скидок	Обычно не включается.
92	Сборы	Ежегодные сборы, такие, как за лицензированный процесс, сборы за эксплуатационную лицензию, и т.п.
93	Стоимость денег	Стоимость денег, используемых для эксплуатации – финансируемых или удерживаемых доходов.
99	Непредвиденные обстоятельства по ежегодным финансовым затратам	

В.1.3 ЗАТРАТЫ НА ВЫПЛАТУ ПРОЦЕНТОВ ВО ВРЕМЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Счет 63 в системе кодов счетов COA представляет затраты на выплату процентов, начисленных во время этапа строительства проекта. Затраты на выплату процентов во время строительства (IDC) рассчитываются на основании стоимости одномоментного возведения завода (сумма счетов от 1 до 5)². Займы должны быть получены в течение периода строительства для покрытия всех основных фондов завода до начала производства. Впоследствии накопившиеся затраты на выплату процентов во время строительства могут быть капитализированы или амортизированы с основными фондами.

В данном анализе затраты на выплату процентов во время строительства моделировались с помощью профиля капитальных затрат, описываемому уравнением (10)¹⁵:

$$f_k = \frac{\Gamma(n) * \Gamma(\alpha + k - 1) * \Gamma(n + \beta - k) * \Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(k) * \Gamma(n - k + 1) * \Gamma(\alpha + \beta + n - 1) * \Gamma(\alpha) * \Gamma(\beta)} \quad (10)$$

где f_k – доля капитального фонда, использованного в k -ом году периода строительства n , n – длительность периода строительства (6 лет), Γ – гамма-функция, α – параметр формы¹⁵ для распределения $1 + \exp(-0,432*(n - 11,5))$, β – параметр формы¹⁵ для распределения $\alpha*(1-p)/p$, p – доля строительного периода, в которую была потрачена половина стоимости одномоментного возведения завода (0,65)¹⁵. Если значения α и β ограничены целыми числами (как и в настоящем анализе), то гамма-функцию можно представить факториальным разложением $\Gamma(n) = (n - 1)!$.

Шестилетний период строительства является консервативной оценкой, которая соответствует атомным электростанциям; в данном анализе установившиеся производственные процессы, такие, как вытяжение из расплава, или очистка урана, вряд ли потребуют шестилетнего периода строительства. Тем не менее, полный процесс экстракции из морской воды никогда не был продемонстрирован или построен в масштабах, анализируемых в данной работе, и на нынешней стадии развития он в высокой степени подвержен регулятивной и технической неопределенности. Аналогия с ядерным предприятием может быть оправдана до тех пор, пока не будет разработано большее количество информации, относящейся к реализации проекта.

Затраты на одномоментное возведение завода на всех участках процесса в проекте экстракции из морской воды в условиях базового варианта в целом составляют 2,7 миллиарда долларов США 2010 года; используя параметры профиля капитальных затрат из уравнения (10) и приняв процентную ставку строительных займов в 6,5%, можно оценить полную величину накопившихся процентов за период строительства в приблизительно 470 миллионов долларов США. Эти затраты будут амортизированы за 30 лет от даты запуска проекта по ставке в 10%.

В.1.4. НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ, СВЯЗАННАЯ С ВХОДНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ РАСХОДОВ

Как обсуждалось в разделе 3.2, были разработаны оценки неопределенности для всех входных параметров расходов и для двух входных параметров эксплуатационных качеств (поглотительной способности и степени деградации). В таблице В.10 представлена сводка неопределенностей входных параметров.

Таблица В.10. Переменные, включенные в анализ Монте Карло со средними значениями и стандартными отклонениями.

Позиция	Среднее	Станд. откл.	Представление	Категория
Цена электроэнергии (\$/кВт-ч)	0,069	0,002	Набор данных	Сноска 1
Вода для охлаждения (\$/1000 м ³)	16	2,40	Точечная оценка	Сноска 1
Вода для процесса (\$/1000 кг)	0,073	0,011	Точечная оценка	Сноска 1
Вода из бойлера (115 °С) (\$/1000 кг)	2,65	0,40	Точечная оценка	Сноска 1
Питьевая вода (\$/1000 кг)	0,28	0,04	Точечная оценка	Сноска 1
Деионизированная вода (\$/1000 кг)	1,08	0,16	Точечная оценка	Сноска 1
Пар низкого давления (избыточное давление 5 бар, 160 °С) (\$/1000 кг)	31,70	4,75	Точечная оценка	Сноска 1
Пар среднего давления (избыточное давление 10 бар, 184 °С) (\$/1000 кг)	32,00	4,80	Точечная оценка	Сноска 1
Пар высокого давления (избыточное давление 41 бар, 254 °С) (\$/1000 кг)	32,40	4,86	Точечная оценка	Сноска 1
Обработка сточных вод: первичная (\$/1000 м ³)	44,30	6,65	Точечная оценка	Сноска 1
Обработка сточных вод: вторичная (\$/1000 м ³)	57,30	8,60	Точечная оценка	Сноска 1
Обработка сточных вод: третичная (\$/1000 м ³)	60,60	9,09	Точечная оценка	Сноска 1
Котельное топливо #2 (\$/галлон)	2,12	0,28	Набор данных	Сноска 1
Азотная кислота (\$/тонну)	284	47	Набор данных	Сноска 2
Аммиак (\$/тонну)	341	148	Набор данных	Сноска 2
Соляная кислота (\$/тонну)	148	58	Набор данных	Сноска 2
Серная кислота (\$/тонну)	63	20	Набор данных	Сноска 2
Трибутилфосфат (\$/тонну)	6420	1850	Набор данных	Сноска 2
Керосин (\$/галлон)	1,70	0,69	Набор данных	Сноска 2
Фильтрующая присадка (Диатомит) (\$/тонну)	325	59	Набор данных	Сноска 2
Оксид магния (\$/тонну)	598	121	Набор данных	Сноска 2
Оксид кальция (Известь) (\$/тонну)	107	15	Набор данных	Сноска 2
Полиэтилен (HDPE) (\$/тонну)	1470	280	Набор данных	Сноска 2
Акрилонитрил (\$/тонну)	1330	587	Набор данных	Сноска 2
Диметилформамид (\$/тонну)	1250	591	Набор данных	Сноска 2
Гидроксиламин (\$/тонну)	3080	411	Набор данных	Сноска 2
Метанол (\$/тонну)	284	127	Набор данных	Сноска 2
ПАВ (додецилсульфат натрия) (\$/тонну)	2100	642	Набор данных	Сноска 2
Карбонат натрия (\$/тонну)	149	43	Набор данных	Сноска 2
Гидроокись натрия (\$/тонну)	483	113	Набор данных	Сноска 2
Диметилсульфоксид (\$/тонну)	1660	624	Набор данных	Сноска 2
Метакриловая кислота (\$/тонну)	3444	518	Набор данных	Сноска 2
¹ Коммунальные услуги				
² Химикаты				

Таблица В.10. Переменные, включенные в анализ Монте Карло со средними значениями и стандартными отклонениями (продолжение).

Позиция	Среднее	Станд. откл.	Представление	Категория
Земля (доля от FCI ⁴)	0,015	0,005	Интервал	Сноска 3
Лицензирование завода (доля от FCI ⁴)	0,03	0,015	Интервал	Сноска 3
Химический завод – показатель масштабирования затрат	0,67	0,13	Набор данных	Сноска 3
Экстракция растворителя – показатель масштабирования затрат	0,73	0,195	Точечная оценка	Сноска 3
Поставленное приобретенное оборудование – база для оценок FCI ⁴	100%	15%	Точечная оценка	Сноска 3
Коэффициент неопределенности цены приобретенного оборудования	1	0,15	Точечная оценка	Сноска 3
Формование волокна из расплава – показатель масштабирования затрат	0,46	0,09	Набор данных	Сноска 3
Электронный пучок – показатель масштабирования затрат	0,258	0,011	Набор данных	Сноска 3
Коэффициент оценки трудозатрат – максимальные требования	23	3,5	Точечная оценка	Сноска 3
Коэффициент оценки трудозатрат – средние требования	17	2,6	Точечная оценка	Сноска 3
Коэффициент оценки трудозатрат – минимальные требования	10	1,5	Точечная оценка	Сноска 3
Операторы химического завода и системы – годовая зарплата с доплатами (в долларах США)	82 900	492	Набор данных	Сноска 3
Матросы и морские нефтяники – годовая зарплата с доплатами (в долларах США)	58 500	456	Набор данных	Сноска 3
Капитаны, помощники капитанов и штурманы кораблей – годовая зарплата с доплатами (в долларах США)	108 000	1 128	Набор данных	Сноска 3
Коэффициент для оценки прямых затрат на надзорный и конторский персонал (доля от затрат на эксплуатационный персонал)	0,175	0,038	Интервал	Сноска 3
Коэффициент для оценки затрат на обслуживание (доля от FCI ⁴)	0,06	0,02	Интервал	Сноска 3
Коэффициент для оценки затрат на эксплуатационные поставки (доля от FCI ⁴)	0,011	0,005	Интервал	Сноска 3
Коэффициент для оценки затрат на местные налоги и страхование (доля от FCI ⁴)	0,032	0,009	Интервал	Сноска 3
Постановка на якорь и развертывание: коэффициент для оценки затрат на прочие эксплуатационные затраты (доля от FCI ⁴)	0,04	0,005	Интервал	Сноска 3
Коэффициент неопределенности затрат на вывод из эксплуатации	1	0,15	Точечная оценка	Сноска 3
Деградация адсорбента (% на повторный цикл)	5	2,5	Точечная оценка	Сноска 5
Поглотительная способность адсорбента (кг урана на тонну адсорбента) ⁶	2	0,5	Набор данных	Сноска 5
³ Факторы оценки затрат				
⁴ FCI – фиксированные капитальные инвестиции				
⁵ Параметры эксплуатационных характеристик				
⁶ Стандартное отклонение, определенное из эмпирической модели. Смотрите приложение D.				

В.2. ПОДДЕРЖКА РАСЧЕТОВ ПО УЧАСТКАМ ПРОЦЕССА

В дополнение к общим методам определения затрат в предыдущей секции, каждый участок из области процесса требует специфических предположений для определения размеров и масштабирования с целью определения капитальных и эксплуатационных затрат. Ниже приводятся сводки ключевых предположений и расчетов для отдельных участков области процесса.

В.2.1. ПОДДЕРЖКА РАСЧЕТОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АДСОРБЕНТА

Участок производства адсорбента состоит из процессов формирования волокна из расплава, облучения волокна, и пересадки полимера, показанных на рисунках А.1 и А.2 в Приложении А. Затраты на оборудование для формирования определялись по справочным затратам на завод и по запросам поставщикам различных уста-

новок для формования из расплава. В таблице В.11 перечислены источники справочных заводов для определения оценки затрат на процесс формования из расплава; данные в таблице представляют общие капитальные инвестиции для завода, включая основные позиции оборудования.

Таблица В.11. Справочные данные по стоимости и производительности линии формования волокна из расплава

Год	Производительность (т/год)	Инвестиции (в долларах США 2010 года)	Материал	Страна	Источник
2011	65	1 930 000	Полиакрилонитрил	США	ORNL Carbon Fiber Pilot Facility ¹⁶
2010	500 000	295 000 000	N/A	Китай	Jiangsu Challen Fiber S&T Co.,Ltd ¹⁷
2008	160 000	38 300 000	Полиэфир	Китай	Zhejiang Huatesi Polymer Technical Co.,Ltd., Phase 1 ¹⁸
2011	180 000	32 500 000	Полиэфир	Китай	Zhejiang Huatesi Polymer Technical Co.,Ltd., Phase 2 ¹⁸
2003	200 000	74 500 000	Полиэфир	Китай	Tongxiang Zhongxin Chemical Fiber Co., Ltd. ¹⁹
2007	200 000	68 900 000	Полиэфир	Китай	Tongxiang Zhongxin Chemical Fiber Co., Ltd. ¹⁹

Для определения показателя масштабирования затрат (0,464) был применен регрессионный анализ; этот показатель используется в следующем соотношении масштабирования:

$$C_2 = C_1 * \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{0,464} \quad (11)$$

где C_2 – капитальные инвестиции в долларах США 2010 года, C_1 – капитальные инвестиции для справочного завода в долларах США 2010 года, S_2 – производительность завода формования из расплава в тоннах в год, S_1 – производительность справочного завода формования из расплава в тоннах в год.

В качестве справочного проекта используется установка ORNL в таблице В.11 (первая строка).

Участок облучения включает в себя ускоритель электронного пучка и связанное с ним оборудование. Ускорители электронного пучка классифицируются по энергии электронов в пучке (в электро-вольтах, эВ), току пучка (в амперах, А), и результирующей мощности (в киловаттах, кВт). Мощность отражает основные эксплуатационные затраты (потребление электроэнергии), и будет также основанием для масштабирования затрат при разработке оценки капитальных затрат.

Кроме того, важным фактором в пересадке полимеров является доза (в грэях или килогрэях, Гр или кГр). JAEA упоминает среднюю дозу в 50 кГр в процессе радиационной пересадки²⁰; другие источники указывают для аналогичных процессов дозы в диапазоне от 20 до 100 кГр²¹. Для оцениваемой системы мы предполагаем дозу в 50 кГр.

Кривые распределения дозы по глубине позволяют выбирать требования к энергии и толщине для обеспечения однородности дозы; тем не менее, они не рассматривают требований к пропускной способности. Ускоритель должен поддерживать требуемую дозу для создания химически активных площадок по всей глубине полимерного продукта, максимально увеличивая пропускную способность. Следующее уравнение иллюстрирует зависимость между пропускной способностью и характеристиками пучка²¹:

$$I = \left(\frac{D_0}{F_i K_0} \right) * \frac{A_p}{T} \quad (12)$$

где I – ток пучка в мА, D_0 – доза на поверхности в кГр (50 кГр для данного процесса), F_i – эффективность использования тока пучка (от 0,8 до 0,9), K_0 – коэффициент обрабатываемой площади в кГр*м²/мА*мин, A_p/T – пропускная способность по площади в м²/мин.

Как упоминалось ранее, энергия пучка и ток окончательно определяют мощность ускорителя:

$$P = \left(\frac{E}{q} \right) * I \quad (13)$$

где P – мощность пучка в киловаттах (после потерь); E – энергия пучка в МэВ; q – целое значение заряда элементарной частицы ($q = -1$ для электрона); I – ток пучка в мА.

Мощность ускорителя используется для масштабирования стоимости от справочного проекта. Стоимость справочного проекта и его характеристики были получены в ответе поставщика на основании аналогичного процесса облучения волокна. В таблице В.12 приведена сводка проектных данных по процессу облучения волокон адсорбента вместе с характеристиками оборудования и его стоимостью, предоставленными поставщиком²².

Таблица В.12. Проектные характеристики электронного пучка и базового варианта конструкции поставщика.

Параметр	Значение	Единица
Спецификации проекта		
Производительность	50 000	тонн в год
Доза	50	кГр
Диаметр отдельного волокна	23	мм (может быть, мкм ?)
Диаметр связки волокон	1	мм
Рабочие часы (доступность 95%)	8300	часы
Справочный проект поставщика		
Производительность	44000	тонн в год
Энергия	0,8	МэВ
Ток	160	мА
Мощность	128	кВт
Электрическая эффективность	60%	Не применимо
Ежегодное потребление электроэнергии	2 000 000	кВт·час
Капитальные затраты на ускоритель	2 250 000	Доллары США 2010 года

На рисунке В.1 показаны данные по стоимости, собранные в Национальной лаборатории Сандия для ускорителей с различной мощностью пучка и оценки поставщика из таблицы В.12.

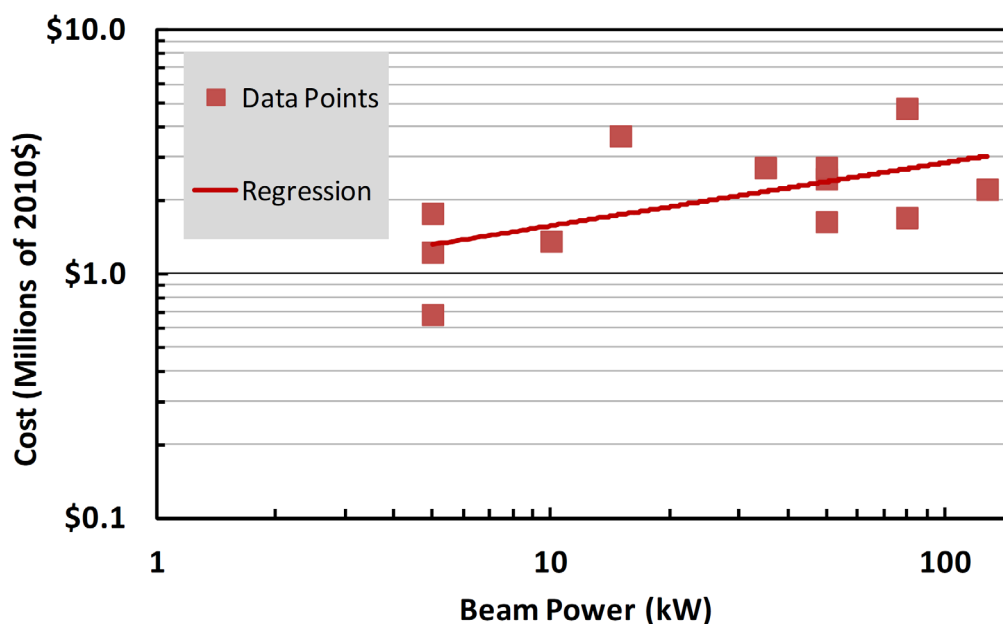


Рисунок В.1. Стоимость электронного пучка в зависимости от мощности пучка²³, с данными поставщиков²². На горизонтальной оси показана мощность пучка в киловаттах, на вертикальной оси – стоимость в миллионах долларов США 2010 года. Квадратными маркерами отмечены данные поставщиков, прямой линией – результаты регрессии.

Данные на рисунке В.1 были использованы для определения показателя масштабирования в последующей оценке стоимости ускорителей электронного пучка:

$$C_2 = C_1 * \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{0,258} \quad (14)$$

где C_2 – капитальные инвестиции в долларах США 2010 года, C_1 – капитальные инвестиции для справочного проекта в долларах США 2010 года, P_2 – мощность ускорителя в киловаттах, P_1 – мощность справочного проекта ускорителя в киловаттах.

По уравнениям (12) и (13) было определено, что для удовлетворения требований по производительности процесса облучения потребуется ускоритель мощностью 145 кВт. Ответ поставщика использовался как справочное значение для определения стоимости в уравнении (14).

На рисунке А.2 (приложение А) показана структурная схема процесса для участка пересадки и намотки. На этом участке используется четыре основных типа оборудования: конвейеры для перемещения твердых продуктов, реакторы пересадки, резервуары-хранилища и оплеточные станки.

Конвейеры для перемещения твердых изделий используются для перемещения облученных волокон с участка ускорителя электронного пучка на участок реактора. Без конкретных подробностей по требованиям к обращению, упаковке, и расположению оборудования нельзя составить подробный перечень требований к системе обращения с твердыми изделиями. Однако, предполагается, что базовая система ленточного конвейера позволяет провести предварительную оценку стоимости.

Таблица В.13. Требования к системе ленточного конвейера – участок пересадки.

Годовое производство адсорбента	100 000	Тонн адсорбента в год
Период работоспособности	0,9	Доля рабочего времени
Рабочие часы	7 800	Рабочих часов за год
Поток массы	13	Тонн в час
	3,5	Килограммов в секунду
Ширина ленты	40	Сантиметров
Расстояние переноса*	1500	Метров
Скорость ленты	0,75	Метров в секунду
* Расстояние переноса оценивается как расстояние вокруг периметра всего предприятия по производству адсорбента, указанному в анализе JAEA (площадь предприятия 143 215 м ²) ²⁰ .		

В таблице В.13 приведены проектные параметры для системы конвейеров для твердых продуктов. Оценка стоимости ленточного конвейера была проведена по стандартному соотношению масштабирования стоимости по заданным длине и ширине конвейера³:

$$C_c = 1050 * d + 5884 \quad (15)$$

где C_c – капитальные затраты на конвейер шириной 0,4 метра в долларах США 2002 года; d – длина транспортировки конвейерной системой в метрах.

Аналогичные расчеты будут использованы для конечной части процесса извлечения из адсорбента для обращения с твердым насыщенным адсорбентом.

Таблица В.14. Данные по размерам реактора пересадки.

Параметр	Величина	Единица	Комментарии
Годовая пересадка HDPE	50 000	Тонн в год	Выход 100 000 адсорбента при 100% пересадке
Период работоспособности	0,9	Доля рабочего времени	
Рабочие часы в сутки	24	Часов в сутки	В JAEA предполагается 9 часов
Рабочие часы за год	7884	Часов в год	
Поток массы	6,342	Тонн в час	
Длительность реакции	3	Часа	Предположение JAEA
Катушки в реакторе	250	Катушек	Предположение JAEA
Вес на катушке	1	Килограмм	Предположение JAEA
Объем реактора	4	Кубометра	Предположение JAEA

Данные по реактору пересадки взяты из оценки затрат JAEA; проектные предположения для реакторов пересадки сведены в таблицу В.14.

Реакторы для пересадки для целей оценки стоимости рассматриваются как реакторы в кожухе и с мешалкой. Стоимость оценивалась по эмпирическому соотношению³:

$$C_T = 21200 * V^{0,53} \quad (16)$$

где C_T – капитальные затраты на резервуар из стали 316 SS, возведенный в полевых условиях, в долларах США 2002 года; V – объем резервуара в кубометрах.

Далее, используемые в процессе химикаты для пересадки должны будут храниться на площадке в больших количествах, учитывая большие объемы и высокие потоки массы в процессе производства адсорбента. Размеры каждого резервуара-хранилища определялись из 30-суточного потребления каждого химиката. Было использовано следующее соотношение для масштабирования затрат при рассчитанных объемах резервуаров¹⁶:

$$C_T = 163 * V + 63100 \quad (17)$$

где C_T – капитальные затраты на резервуар из стали 316 SS, возведенный в полевых условиях, в долларах США 2002 года; V – объем резервуара в кубометрах.

После завершения процесса пересадки пучки из многих волокон наматываются на центральный остов, который служит поплавком для адсорбента; эта намотка является последним этапом в производстве адсорбента. Стоимость и количество заказных намоточных станков были непосредственно взяты из анализа JAEA²⁰.

V.2.2. ПОДДЕРЖКА РАСЧЕТОВ ДЛЯ ПОСТАНОВКИ НА ЯКОРЬ И РАЗВЕРТЫВАНИЯ

Площадка для постановки на якорь и развертывания требует определения размера якорных цепей для постановки на якорь намотанного адсорбента, а также определения размеров и численности кораблей для возвращения и транспортировки адсорбента.

Размер цепей ограничивается силами, действующими на цепь во время возвращения якорным брашпилем. Размер связанной шпильками якорной цепочки определяется диаметром каждой связи, и каждый размер имеет связанное с ним предельное значение рабочей нагрузки, которое не должно быть превышено в течение операции²⁴. Требование минимального размера для цепей в данном анализе определялось аппроксимацией максимальной возникающей во время извлечения нагрузки, и выбором размера цепи, который превышает предел рабочей нагрузки.

Одной из составляющих компонент натяжения во время возвращения является сила торможения цепей и полимерных шнуров.

Силу торможения можно количественно выразить следующим образом:

$$F_D = \frac{1}{2} * \rho_{sea} * u^2 * C_D * A \quad (18)$$

где F_D – сила торможения для конструкций, ставящихся на якорь, в ньютонах; ρ_{sea} – плотность морской воды, кг/м³ (1025 кг/м³ при 20 °C и солёности в 35 г/кг); u – скорость жидкости по отношению к твердому телу, в метрах в секунду; C_D – коэффициент торможения; A – проекция площади, или площадь поверхности (тангенциальное торможение), в квадратных метрах.

Далее, силу торможения следует рассматривать как компоненту полной нагрузки на цепь, поскольку нагрузка для заданного размера и сорта цепи не должна превышать предельной рабочей нагрузки. Полную нагрузку на цепь можно представить в следующем виде:

$$F_{TL} = W_C + n_B W_B + F_{DW} + F_{DC} - (n_B B_B + B_C) \quad (19)$$

где F_{TL} – полная нагрузка на цепь и брашпиль во время возвращения, в ньютонах; W_C – вес цепи, в ньютонах; n_B – количество оплеток в цепи; W_B – сила плавучести оплеток, равная $\rho_{sea} * g * V_B$; ρ_{sea} – плотность морской воды, кг/м³ (1025 кг/м³ при 20 °C и солёности в 35 г/кг); g – ускорение силы тяжести, м/с² (9,8 м/с²); V_B – объем оплеток, м³, равен $L_B * W_{dB} * T_{kB}$; L_B – длина оплетки, м (60 м); W_{dB} – ширина оплетки, м (0,2 м); T_{kB} – толщина оплетки, м (0,002 м – толщина связки из 7400 волокон); B_C – сила плавучести цепей, равная $\rho_{sea} * g * V_C$; V_C – объем цепей, м³; W_B – вес оплеток, равный $\rho_B * g * V_B$; ρ_B – плотность оплеток, кг/м³ (953 кг/м³, плотность HDPE); F_{DW} – сила торможения от брашпиля (от относительной скорости цепи и воды); F_{DC} – сила торможения от океанского течения (скорость консервативно предполагается равной 2 м/с и направленной касательно направлению возвращения).

Применение коэффициентов торможения из литературы²⁵ в базовом варианте брашпиля, работающего со скоростью 4 м/мин и в наихудшем случае сценария океанского течения со скоростью 2 м/с, направленного по

касательной с пути возвращения цепи, приводит к полной нагрузке в 543 кН. Рабочая нагрузка (безопасный предел) для цепи 44 мм третьего сорта равна 539 кН²⁴. Предельная рабочая нагрузка для цепи, меньшей на один размер (42 мм) равна 490 кН, и при расчетной нагрузке в 535 кН превышение над пределом составит около 10%. Эти предварительные вычисления поддерживают спецификацию JAEA цепи в 44 мм³.

Требования к рабочим кораблям определяются размерами поля адсорбента, требующимися для удовлетворения требований по годовому производству урана, и скоростью, с которой оплетки адсорбента могут извлекаться кораблями. Поэтому в расчетах количества кораблей связываются проектирование поля адсорбента и скорость извлечения цепи якорным брашпилем на каждом корабле. Учитывая, что все поле оплеток адсорбента должно быть извлечено в течение одной кампании, следующий набор уравнений определяет скорость и количество якорных брашпильей для справочного размера поля адсорбента. Значения в скобках за определением переменной указывают значение переменной для базового варианта.

$$N_C = \frac{N_B}{\left[\frac{(L_C - 2 * E_S)}{B_S} \right]} \quad (20)$$

где N_C – общее количество цепей, необходимое для постановки на якорь всего поля адсорбентов (6976); N_B – количество оплеток в поле адсорбента (1 670 000); L_C – длина отдельной цепи, в метрах (2120 м); E_S – пустое пространство на концах одиночной цепи, в метрах (100 м на каждом конце); B_S – расстояние между отдельными оплетками для предотвращения запутывания, в метрах (8 м).

$$R_{CR} = \frac{N_C}{C_L} \quad (21)$$

где R_{CR} – необходимое количество извлекаемых за день цепей, цепей за день; C_L – длительность кампании = количеству дней в каждой производственной кампании (60 дней).

$$N_W = \frac{R_{CR}}{OH_D * 60 * R_W} \quad (22)$$

где N_W – необходимое количество брашпильей; OH_D – рабочие часы системы постановки на якорь за день (9 часов); R_W – рабочая скорость брашпиля, м/мин (4 м/мин).

Рабочая скорость брашпиля определяется в результате компромисса между допустимым весом полезной нагрузки (в данном случае весом цепи и адсорбентов); меньшее передаточное отношение брашпиля позволяет увеличить скорость возвращения, но в то же время уменьшает допустимую полезную нагрузку.

Кроме того, скорость ограничивается также из-за того, что эффективная полезная нагрузка увеличивается силой торможения цепи и адсорбента при их возвращении. Величина силы торможения рассматривалась в предыдущем разделе.

Количество кораблей, требующихся для размещения и возвращения адсорбента, непосредственно связано с количеством брашпильей:

$$N_S = \frac{N_W}{N_{W-S}} \quad (23)$$

где N_{W-S} – количество брашпильей на корабле (один брашпиль на корабле).

Размер каждого корабля выражается в терминах его водоизмещения, или полной грузоподъемности (дедвейта). Дедвейт означает количество груза, которое корабль может нести при полной загрузке. Полная грузоподъемность каждого отдельного корабля рассчитывается из общего количества возвращаемого адсорбента (всего поля, возвращаемого в течение кампании) и количества кораблей, необходимых для возвращения адсорбента в течение одной кампании, следующим образом:

$$DW_s = \frac{M_A}{N_s} \quad (24)$$

где DW_s – полная грузоподъемность каждого корабля (дедвейт в тоннах); M_A – полная масса загруженного поля адсорбента.

Отметим, что это вычисление включает в себя предположение о том, что корабли извлечения не возвращаются на берег в течение кампании, что требует от флота грузоподъемность, достаточную для размещения целого поля. Это также создает временную задержку в извлечении урана, поскольку нагруженный адсорбент находится в море на протяжении кампании после его возврата. Такая ситуация создает предмет потенциальной операционной оптимизации действий по постановке на якорь и возврату.

Согласно проведенным анализам в широком диапазоне грузовых и транспортных кораблей, полная грузоподъемность кораблей коррелирует с капитальными затратами. Работа Куллимана и Ханна показала высокую степень корреляции ($R^2 = 0,93$) в большой выборке кораблей ($n=153$)²⁶:

$$\ln(SP) = 4.81 + 0.759 * \ln(NTEU) \quad (25)$$

где SP – контрактная стоимость новой постройки (в 1000 долларов США 1996 года); $NTEU$ – номинальная двадцатифутовая эквивалентная единица = 14 тоннам дедвейта.

Набор данных регрессионного анализа, использованный для вывода уравнения (25), включает в себя корабли с дедвейтом примерно от 2 800 тонн до 84 000 тонн²⁶. В таблице 8 из основной статьи приведена сводка всего требуемого оборудования и связанных с ним расходов для условий базового варианта.

В работе Куллимана и Ханна²⁶ приведены соотношение расхода топлива и тормозной мощности корабля, и соотношение тормозной мощности и размера корабля. Следовательно, для заданного размера корабля расход топлива можно оценить следующим образом:

$$FO = \frac{BHP * SFOC * U * OH_D}{1000000} \quad (26)$$

где FO – суточное потребление котельного топлива, тонн в день; BHP – установленная тормозная мощность, л.с.; $SFOC$ – удельное потребление котельного топлива, грамм/л.с.*час (не галлон, а грамм); U – использованная мощности двигателя для поддержания рабочей скорости (около 80%), и:

$$\ln(BHP) = 2.63 + 0.967 * \ln(NTEU) \quad R^2 = 0.94 \quad (27)$$

Среднее значение удельного потребления котельного топлива морских двигателей для судов с большим водоизмещением было оценено в поддержанном Агентством по защите окружающей среды США исследованием морских выбросов как 0,219 кг/кВт*час или 163 г/л.с.час²⁷. Следует отметить, что удельное потребление котельного топлива может изменяться в зависимости от режима работы двигателя, развития технологии со временем, и конкретных конструкций или моделей двигателя. Годовые затраты на топливо, рассчитанные по суточному потреблению топлива, количеству кораблей, и цене котельного топлива #2 (таблица В.8), приведены в таблице 9 основной статьи.

Требования к численности экипажа не очень хорошо коррелируют с размером корабля, и поэтому для определения численности экипажа не могут быть использованы эмпирические оценки. Вместо этого для оценки требований к рабочей силе были использованы эвристические правила, разработанные Куллиманом и Ханна²⁶ (таблица В.15).

Таблица В.15. Требования к рабочей силе на кораблях в зависимости от водоизмещения.

Водоизмещение (тонн дедвейта)	Численность экипажа
От 0 до 7 000	16
От 7 000 до 11 200	20
Более 11 200	24

Предполагается, что одним из членов команды корабля будет капитан, а остальные – матросами или рабочими.

В.2.3. ПОДДЕРЖКА РАСЧЕТОВ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ И ОЧИСТКИ

Оборудование на участке извлечения включает в себя транспортировку твердых продуктов на ленточном конвейере, два больших резервуара с мешалками и резервуары-хранилища. Система ленточных конвейеров обсуждалась в разделе В.2.1. Годовая производительность обработки адсорбента на участке извлечения включает повторную обработку всего поля адсорбента по мере его рециркуляции и загрузки металлов в адсорбенты^{3,28}. В таблице В.16 приводится сводка требований к системе транспортировки твердых продуктов на участке извлечения.

Таблица В.16. Требования к системе ленточного конвейера – участок извлечения из адсорбента.

Обрабатываемый адсорбент (количество кампаний * размер поля)	600 000	Тонн адсорбента в год
Масса известных адсорбированных металлов	22 394	Тонн в год
Загруженная масса адсорбента (с запасом – см. ссылку 28)	644 787	Тонн адсорбента в год
Период работоспособности	0,9	Доля рабочего времени
Рабочие часы	7 884	Рабочих часов за год
Поток массы	81,8	Тонн в час
	22,7	Килограммов в секунду
Ширина ленты	0,4	Метров
Расстояние переноса*	3 000	Метров
Скорость ленты	1,30	Метров в секунду

Резервуары-хранилища и резервуары для извлечения – это резервуары, возведенные в полевых условиях (так же, как и резервуары на участке пересадки); соотношение масштабирования затрат на резервуары представлено в уравнении (16). Размеры резервуаров-хранилищ для растворителя выбирались для запаса на 30 суток. Размер резервуара для извлечения в точности равен размеру из проекта JAEA, но резервуары для извлечения оборудованы мешалками для перемешивания во время обработки. Масштабирование затрат на пропеллер мешалки определяется следующим соотношением:

$$CostA = 3370 * Pow^{0.173} \quad (28)$$

где $CostA$ – капитальные затраты на мешалку пропеллерного типа из стали 316SS (в долларах США 2002 года); Pow – номинальная мощность электродвигателя мешалки (в киловаттах).

Для первоначального анализа затрат, основанного на используемых на участке очистки аналогичных резервуарах¹, устанавливалась мощность двигателя в 3 кВт.

Базой для процесса очистки, использованной в данном анализе, был очистительный завод «Fernald», на котором урановая руда конвертировалась и обрабатывалась до очищенных урановых продуктов. Перечень оборудования для очистительного завода «Fernald» был получен из отчета по проекту, подготовленного во время ввода очистительного завода в эксплуатацию¹. Для определения затрат на оборудование для завода «Fernald» были использованы современные данные по масштабированию затрат³. Общая стоимость очистительного завода была масштабирована для данной оценки до производительности в 1200 тонн урана в год с помощью показателя масштабирования стоимости 0,73, взятого из литературы по установкам экстракции растворителя⁶.

Перечень оборудования для участка осаждения (таблица А.4 в приложении А) был получен из исследования экстракции урана в Канаде²⁹. Затраты на оборудование были определены с помощью данных по определению размеров оборудования из канадского отчета и данных по масштабированию затрат³, или там, где определение размеров было недостаточным для методов оценки, затраты брались непосредственно из отчета. Полные затраты на завод для осаждения, определенные из затрат на компоненты оборудования, были скорректированы от справочной производительности в 278 тонн урана в год до базиса данного анализа в 1200 тонн в год.

В.2.3 ПОДДЕРЖКА РАСЧЕТОВ ПО УТИЛИЗАЦИИ ПОЛИМЕРА

Согласно Закону об атомной энергии и его дополнениям, Комиссией по ядерному регулированию США была установлена классификация 11.е(2), охватывающая материалы или отходы, произведенные в качестве побочных продуктов при извлечении урана из руды, или его концентрирования³⁰. Руководящих указаний, конкретно относящихся к утилизации больших количеств полимерного материала по пункту 11.е(2), не существует; поэтому в качестве прецедента для оценки стоимости утилизации использованных жгутов адсорбента были использованы крупномасштабные операции по утилизации аналогичного полимерного материала. Выбранным материалом стали ионно-обменные смолы, использованные для очистки воды на предприятиях ядерного топливного цикла и атомных электростанциях.

Слабо загрязненные материалы, требующие утилизации в качестве низко-активных отходов (LLW), или смешанных малоактивных отходов (MLLW), включая полимеры, возникают в результате исследовательских, промышленных, или медицинских применений на 35 площадках Министерства энергетики США и около 20 000 коммерческих площадок³¹. Исследование Министерством энергетики США в 1990 году двадцати девяти вариантов обработки и утилизации отработавших ионно-обменных смол³², классифицированных как низко-активные отходы (LLW) и смешанные малоактивные отходы (MLLW), предоставили основу для использованных здесь оценок затрат. Исследование адресуется к ожидаемому годовому потоку отходов в 15 000 кубических футов (4 572 кубометра) классифицируемой как LLW-отходы смолы, возникающему в операциях по обработке сточных вод на площадке в Хэнфорде. Используя затраты на жизненный цикл и простое в применении в качестве базового варианта, исследование рекомендует четыре стратегии: витрификация при нагреве электрическим током, сжигание с последующим цементированием, растворение в кислоте с последующим цементированием, и уничтожение горячим паром с последующим цементированием. Здесь применяется вариант сжигания с последующим цементированием. Подход со сжиганием широко используется для всех типов полимеров³³, и он был осуществлен в промышленных масштабах для полимерных LLW-отходов. Так, например, компания «Studsvik RadWaste» эксплуатировала установку со сжиганием и пиролизом для загрязненных ураном полимерных отходов в Эрвине, штат Теннесси^{34,35}.

Для обработки 15 000 кубических футов (4 572 кубометра) полимерных отходов в год в течение 30 лет с общим объемом полимера 137 160 кубометров Министерство энергетики США оценило не дисконтированную стоимость стратегии сжигания и цементирования единицы объема полимера в 343 доллара США 2010 года за кубометр. Предполагается, что эти затраты будут действовать для полимера на основе HDPE, используемого в системе адсорбента. Плотность адсорбента равна 950 кг/м³, так что затраты на единицу продукта, связанные со сжиганием и утилизацией, будут равны 0,360 доллара за килограмм адсорбента. Поскольку в отчете Министерства энергетики США 1990 года не содержится достаточных данных, позволяющих разделить стоимость на позиции системы кодов счетов (COA), используемых в других местах данного исследования, эта стоимость единицы утилизации будет трактоваться как фиксированная компонента стоимости «уплата за услугу», не подлежащая экономическому масштабированию.

Приложение С. Заполненные коды счетов

Таблица С.1. Коды счетов – участок производства адсорбента

№ счета EMWG	Название счета	Общие затраты (доллары США 2010 года)	Удельные затраты (\$/кг U*год)
1	Капитализированные затраты до строительства (промежуточная сумма)	2 510 000	0,22
Серия 10			
11	Земля и права на землю	2 510 000	0,22
12	Разрешения на площадку	0	
13	Лицензирование завода	0	
14	Разрешения для завода	0	
15	Исследования для завода	0	
16	Отчеты по заводу	0	
17	Прочие затраты до строительства	0	
19	Непредвиденные обстоятельства по затратам до строительства (сгруппировано ниже)	0	
2	Капитализированные прямые затраты (промежуточная сумма)	134 000 000	13,87
Серия 20			
21	Строения и улучшения	36 400 000	3,22
23	Технологическое оборудование	74 400 000	8,15
24	Электрическое оборудование	3 800 000	0,82

Таблица С.1. Коды счетов – участок производства адсорбента (продолжение)

№ счета EMWG	Название счета	Общие затраты (доллары США 2010 года)	Удельные затраты (\$/кг U*год)
25	Система отвода тепла	0	0
26	Различное заводское оборудование	19 000 000	2,08
27	Специальные материалы	0	
29	Непредвиденные обстоятельства по прямым затратам (сгруппировано ниже)	0	
Сумма 1 – 2	ОБЩИЕ ПРЯМЫЕ ЗАТРАТЫ		
3	Капитализированные косвенные затраты (промежуточная сумма)	32 300 000	3,54
Серия 30			
31	Полевые косвенные затраты (арендная плата, временные строения и т.п.)	20 100 000	2,20
32	Надзор за ведением строительных работ	12 100 000	1,33
33	Затраты на пусконаладочные работы и ввод в эксплуатацию	0	0,00
34	Демонстрационные испытания	0	
Сумма 1 – 34	ОБЩИЕ ПОЛЕВЫЕ РАСХОДЫ		
35	Проектные услуги вне площадки	0	
36	Управление проектом вне площадки	0	
37	Проектные услуги на площадке	0	
38	Управление проектом на площадке	0	
39	Непредвиденные обстоятельства по косвенным затратам	0	
Сумма 1 – 3	БАЗОВЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСХОДЫ		
4	Капитализированные затраты владельца (промежуточная сумма)	1 520 000	0,17
Серия 40			
41	Наем и подготовка персонала	0	
42	Жилищный фонд персонала	0	
43	Затраты, относящиеся к заработной плате персонала	0	
46	Прочие затраты владельца на капитальные вложения	1 520 000	0,17
49	Непредвиденные обстоятельства по затратам владельца	0	
5	Капитализированные дополнительные затраты (промежуточная сумма)	0	0
Серия 50			
51	Затраты на перевозку грузов и транспортировку	0	
52	Запасные части и поставки	0	
53	Налоги	0	
54	Страхование	0	
58	Расходы на вывод из эксплуатации	0	
59	Непредвиденные обстоятельства по дополнительным затратам	0	
Сумма 1 – 5	«МОМЕНТАЛЬНАЯ» СТОИМОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА		
CONT	Общие непредвиденные обстоятельства: счета 19+29+39+49+59	17 000 000	1,86
OVNT	«Моментальная» стоимость	187 000 000	19,65
6	Капитализированные финансовые затраты (промежуточная сумма)	0	0,00
Серия 60			
61	Шкала надбавок и накидок	0	
62	Вознаграждения и отчисления	0	
63	Проценты во время строительства	0	0
69	Непредвиденные обстоятельства по финансовым затратам	0	
Сумма 1 – 6	ОБЩИЕ ЗАТРАТЫ НА КАПИТАЛЬНЫЕ ИНВЕСТИЦИИ		
	Полные капитализированные затраты (TCIC)	187 000 000	19,65
7	Ежегодные затраты на эксплуатацию и обслуживание (промежуточная сумма)	512 000 000	426,79
Серия 70			
71	Эксплуатационный персонал	6 630 000	5,53
72	Управленческий персонал	1 160 000	0,97
73	Затраты, относящиеся к заработной плате	0	0
74	Сырьевые материалы	397 000 000	330,93

Таблица С.1. Коды счетов – участок производства адсорбента (продолжение)

№ счета EMWG	Название счета	Общие затраты (доллары США 2010 года)	Удельные затраты (\$/кг U*год)
75	Запасные части	0	0
76	Коммунальные услуги, принадлежности и расходные материалы	55 300 000	46,10
77	Капитальные обновления завода	0	0
78	Налоги и страхование	5 360 000	4,46
79	Непредвиденные обстоятельства по затратам на эксплуатацию и обслуживание	46 600 000	38,80
9	Капитализированные затраты до строительства (промежуточная сумма)	0	0
Серия 90			
91	Шкала надбавок и накидок	0	
92	Сборы	0	
93	Стоимость денег	0	
99	Непредвиденные обстоятельства по ежегодным финансовым затратам	0	

Таблица С.2. Коды счетов – участок постановки на якорь и развертывания

№ счета EMWG	Название счета	Общие затраты (доллары США 2010 года)	Удельные затраты (\$/кг U*год)
1	Капитализированные затраты до строительства (промежуточная сумма)	0	0,00
Серия 10			
11	Земля и права на землю	0	0,00
12	Разрешения на площадку	0	
13	Лицензирование завода	0	
14	Разрешения для завода	0	
15	Исследования для завода	0	
16	Отчеты по заводу	0	
17	Прочие затраты до строительства	0	
19	Непредвиденные обстоятельства по затратам до строительства (сгруппировано ниже)	0	
2	Капитализированные прямые затраты (промежуточная сумма)	2 130 000 000	233,85
Серия 20			
21	Строения и улучшения	0	0,00
23	Технологическое оборудование	2 130 000 000	233,85
24	Электрическое оборудование	0	0,00
25	Система отвода тепла	0	0,00
26	Различное заводское оборудование	0	0,00
27	Специальные материалы	0	
29	Непредвиденные обстоятельства по прямым затратам (сгруппировано ниже)	0	
Сумма 1 – 2	ОБЩИЕ ПРЯМЫЕ ЗАТРАТЫ		
3	Капитализированные косвенные затраты (промежуточная сумма)	0	0,00
Серия 30			
31	Полевые косвенные затраты (арендная плата, временные строения и т.п.)	0	0,00
32	Надзор за ведением строительных работ	0	0,00
33	Затраты на пусконаладочные работы и ввод в эксплуатацию	0	0,00
34	Демонстрационные испытания	0	0,00
Сумма 1 – 34	ОБЩИЕ ПОЛЕВЫЕ РАСХОДЫ		
35	Проектные услуги вне площадки	0	0,00
36	Управление проектом вне площадки	0	0,00
37	Проектные услуги на площадке	0	0,00
38	Управление проектом на площадке	0	0,00
39	Непредвиденные обстоятельства по косвенным затратам	0	0,00
Сумма 1 – 3	БАЗОВЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСХОДЫ		
4	Капитализированные затраты владельца (промежуточная сумма)	0	0,00
Серия 40			
41	Наем и подготовка персонала	0	0,00
42	Жилищный фонд персонала	0	0,00

Таблица С.2. Коды счетов – участок постановки на якорь и развертывания (продолжение)

№ счета EMWG	Название счета	Общие затраты (доллары США 2010 года)	Удельные затраты (\$/кг U*год)
43	Затраты, относящиеся к заработной плате персонала	0	0,00
46	Прочие затраты владельца на капитальные вложения	0	0,00
49	Непредвиденные обстоятельства по затратам владельца	0	0,00
5	Капитализированные дополнительные затраты (промежуточная сумма)	0	0,00
Серия 50			
51	Затраты на перевозку грузов и транспортировку	0	0,00
52	Запасные части и поставки	0	0,00
53	Налоги	0	0,00
54	Страхование	0	0,00
58	Расходы на вывод из эксплуатации	0	0,00
59	Непредвиденные обстоятельства по дополнительным затратам	0	0,00
Сумма 1 – 5	«МОМЕНТАЛЬНАЯ» СТОИМОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА		
CONT	Общие непредвиденные обстоятельства: счета 19+29+39+49+59	213 000 000	23,38
OVNT	«Моментальная» стоимость	2 350 000 000	257,23
6	Капитализированные финансовые затраты (промежуточная сумма)	0	0,00
Серия 60			
61	Шкала надбавок и накидок	0	0,00
62	Вознаграждения и отчисления	0	0,00
63	Проценты во время строительства	0	0,00
69	Непредвиденные обстоятельства по финансовым затратам	0	0,00
Сумма 1 – 6	ОБЩИЕ ЗАТРАТЫ НА КАПИТАЛЬНЫЕ ИНВЕСТИЦИИ		
	Полные капитализированные затраты (TCIC)	2 350 000 000	257,23
7	Ежегодные затраты на эксплуатацию и обслуживание (промежуточная сумма)	257 000 000	214,40
Серия 70			
71	Эксплуатационный персонал	109 000 000	90,49
72	Управленческий персонал	12 600 000	10,48
73	Затраты, относящиеся к заработной плате	0	0,00
74	Сырьевые материалы	1 910 000	1,59
75	Запасные части	0	0,00
76	Коммунальные услуги, принадлежности и расходные материалы	111 000 000	92,34
77	Капитальные обновления завода	0	0,00
78	Налоги и страхование	0	0,00
79	Непредвиденные обстоятельства по затратам на эксплуатацию и обслуживание	23 400 000	19,49
9	Капитализированные затраты до строительства (промежуточная сумма)	0	0,00
Серия 90			
91	Шкала надбавок и накидок	0	0,00
92	Сборы	0	0,00
93	Стоимость денег	0	0,00
99	Непредвиденные обстоятельства по ежегодным финансовым затратам	0	0,00

Таблица С.3. Коды счетов – участок извлечения из адсорбента и очистки

№ счета EMWG	Название счета	Общие затраты (доллары США 2010 года)	Удельные затраты (\$/кг U*год)
1	Капитализированные затраты до строительства (промежуточная сумма)	1 630 000	0,14
Серия 10			
11	Земля и права на землю	1 630 000	0,14
12	Разрешения на площадку	0	
13	Лицензирование завода	0	
14	Разрешения для завода	0	
15	Исследования для завода	0	
16	Отчеты по заводу	0	
17	Прочие затраты до строительства	0	
19	Непредвиденные обстоятельства по затратам до строительства (сгруппировано ниже)	0	

Таблица С.3. Коды счетов – участок извлечения из адсорбента и очистки (продолжение)

№ счета EMWG	Название счета	Общие затраты (доллары США 2010 года)	Удельные затраты (\$/кг U*год)
2	Капитализированные прямые затраты (промежуточная сумма)	86 900 000	9,02
Серия 20			
21	Строения и улучшения	23 700 000	2,10
23	Технологическое оборудование	48 400 000	5,30
24	Электрическое оборудование	2 470 000	0,27
25	Система отвода тепла	0	0,00
26	Различное заводское оборудование	12 300 000	1,35
27	Специальные материалы	0	
29	Непредвиденные обстоятельства по прямым затратам (сгруппировано ниже)	0	
Сумма 1 – 2	ОБЩИЕ ПРЯМЫЕ ЗАТРАТЫ		
3	Капитализированные косвенные затраты (промежуточная сумма)	21 000 000	2,30
Серия 30			
31	Полевые косвенные затраты (арендная плата, временные строения и т.п.)	13 100 000	1,43
32	Надзор за ведением строительных работ	7 900 000	0,87
33	Затраты на пусконаладочные работы и ввод в эксплуатацию	0	0,00
34	Демонстрационные испытания	0	0,00
Сумма 1 – 34	ОБЩИЕ ПОЛЕВЫЕ РАСХОДЫ		
35	Проектные услуги вне площадки	0	
36	Управление проектом вне площадки	0	
37	Проектные услуги на площадке	0	
38	Управление проектом на площадке	0	
39	Непредвиденные обстоятельства по косвенным затратам	0	
Сумма 1 – 3	БАЗОВЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСХОДЫ		
4	Капитализированные затраты владельца (промежуточная сумма)	988 000	0,11
Серия 40			
41	Наем и подготовка персонала	0	
42	Жилищный фонд персонала	0	
43	Затраты, относящиеся к заработной плате персонала	0	
46	Прочие затраты владельца на капитальные вложения	988 000	0,11
49	Непредвиденные обстоятельства по затратам владельца	0	
5	Капитализированные дополнительные затраты (промежуточная сумма)	0	
Серия 50			
51	Затраты на перевозку грузов и транспортировку	0	
52	Запасные части и поставки	0	
53	Налоги	0	
54	Страхование	0	
58	Расходы на вывод из эксплуатации	0	
59	Непредвиденные обстоятельства по дополнительным затратам	0	
Сумма 1 – 5	«МОМЕНТАЛЬНАЯ» СТОИМОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА		
CONT	Общие непредвиденные обстоятельства: счета 19+29+39+49+59	11 100 000	1,21
OVNT	«Моментальная» стоимость	122 000 000	12,79
6	Капитализированные финансовые затраты (промежуточная сумма)	0	0,00
Серия 60			
61	Шкала надбавок и накидок	0	0
62	Вознаграждения и отчисления	0	0
63	Проценты во время строительства	0	0
69	Непредвиденные обстоятельства по финансовым затратам	0	0
Сумма 1 – 6	ОБЩИЕ ЗАТРАТЫ НА КАПИТАЛЬНЫЕ ИНВЕСТИЦИИ		
	Полные капитализированные затраты (TCIC)	122 000 000	12,79

Таблица С.3. Коды счетов – участок извлечения из адсорбента и очистки (продолжение)

№ счета EMWG	Название счета	Общие затраты (доллары США 2010 года)	Удельные затраты (\$/кг U*год)
7	Ежегодные затраты на эксплуатацию и обслуживание (промежуточная сумма)	25 700 000	21,38
Серия 70			
71	Эксплуатационный персонал	8 370 000	6,98
72	Управленческий персонал	1 460 000	1,22
73	Затраты, относящиеся к заработной плате	0	0,00
74	Сырьевые материалы	1 610 000	1,34
75	Запасные части	0	0,00
76	Коммунальные услуги, принадлежности и расходные материалы	8 400 000	7,00
77	Капитальные обновления завода	0	0,00
78	Налоги и страхование	3 490 000	2,90
79	Непредвиденные обстоятельства по затратам на эксплуатацию и обслуживание	2 330 000	1,94
9	Капитализированные затраты до строительства (промежуточная сумма)	0	0,00
Серия 90			
91	Шкала надбавок и накидок	0	
92	Сборы	0	
93	Стоимость денег	0	
99	Непредвиденные обстоятельства по ежегодным финансовым затратам	0	

Приложение D. Дополнительные вычисления

D.1. КОРРЕЛЯЦИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ПОГРУЖЕНИЯ, ТЕМПЕРАТУРЫ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Результаты полевых испытаний JAEA позволяют определить корреляцию длительности погружения и температуры воды с производительностью адсорбции. Результаты испытаний приведены в таблице D.1.

Таблица D.1. Данные полевых испытаний по адсорбции урана

№	Время (сутки)	Количество стопок	Температура		Количество адсорбиро- ванного урана (г)	Скорость адсорбции (г/сутки*стопку)
			Мин.	Макс.		
1	20	144	19	21	66	0,023
2	20	144	12	13	47	0,016
3	40	144	13	22	66	0,011
4	30	144	22	24	101	0,023
5	20	144	22	24	76	0,026
6	20	144	18	22	77	0,027
7	30	216	13	18	95	0,015
8	60	72	13	20	48	0,011
9	90	72	13	19	120	0,019
10	30	216	18	20	119	0,018
11	60	144	18	19	150	0,017
12	30	216	19	20	118	0,018

Эти данные были использованы для получения регрессионного соотношения между количеством адсорбированного урана, и длительностью погружения и температурными условиями на площадке постановки на якорь. По предложению М. Тамада (частное сообщение), количество поглощенного урана подгонялось к функции в форме

$$A = Kt^{1/2}T^\alpha \quad (29)$$

где А – количество адсорбированного урана (кг урана на тонну адсорбента), t – длительность погружения (в сутках), Т – температура воды (в °С), и К и α – коэффициенты регрессии (в соответствующих единицах).

Результаты регрессии показаны на рисунке D.1 и параметры регрессии приведены в таблице D.2. На этом рисунке $A/t^{1/2}$ нормировано на единицу при Т = 25 °С и показано в виде зависимости от температуры.

Результаты регрессии используются как базовое эмпирическое соотношение, связывающее количество

адсорбированного урана с временем и температурой. Соотношение адсорбции с квадратным корнем из времени согласуется с физическими процессами, ограниченными диффузией; температурная компонента – строго эмпирическая.

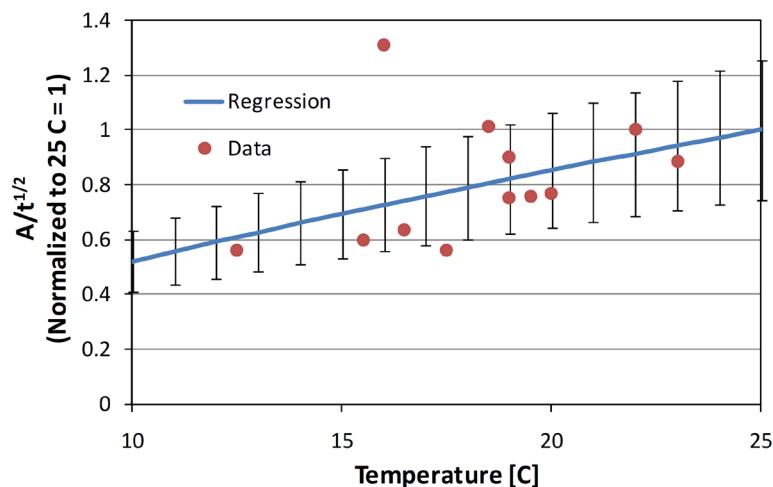


Рисунок D.1. Зависимость адсорбции от времени и температуры (по горизонтальной оси, в градусах Цельсия). На вертикальной оси отложена величина $A/t^{1/2}$, нормированная на единицу при $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Данные отмечены круглыми маркерами, результат регрессии – прямой линией.

Таблица D.2. Параметры регрессии для модели адсорбции, зависящей от времени и температуры.

Параметр	Значение	Стандартное отклонение	Статистическое T
$\ln(K)$	-4,348	1,306	-3,328
α	0,714	0,451	1,583

В данном анализе упомянутое выше соотношение было масштабировано для получения производительности адсорбции в 2 кг урана на тонну адсорбента при $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ и 60 суток вымачивания. При таких условиях из эмпирического соотношения следует стандартное отклонение в $\pm 0,5$ кг урана на тонну адсорбента. Это соотношение было использовано в анализе неопределенностей для описания интервала изменения производительности адсорбента около его ожидаемой величины.

ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ

1. Catalytic Construction Company. Integrated Process Design Report on Feed Materials Production Center, Fernald, Ohio : Refinery and Green Salt Plant. Oak Ridge, TN: United States Atomic Energy Commission, 1952.
2. EMWG-GIF. *Cost Estimating Guidelines for Generation IV Nuclear Energy Systems*. The Economic Modeling Working Group of the Generation IV International Forum, OECD, 2007.
3. Peters, Max S., Klaus D. Timmerhaus, and Ronald E. West. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. Boston: McGraw Hill, 2003.
4. Turton, Richard, Richard C. Bailie, Wallace B. Whiting, and Joseph A. Shaeiwitz. *Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes*. Boston: Prentice Hall, 2009.
5. Для извлечения 1200 тонн урана потребуется изготовить 100 000 адсорбента при поглотительной способности адсорбента в 2 грамма урана на килограмм адсорбента, времени жизни в шесть повторных циклов использования, и шести кампаний возвращения за один год (весь адсорбент заменяется в течение одного года).
6. Remer, D.S., and L.H. Chai. "Process Plants, Costs of Scaled-up Units." In *Encyclopedia of Chemical Processing and Design*, vol. 43, by J.J. (ed.) McKetta, 294-306. New York: Marcel Dekker, Inc., 1993a.
7. Wessell, W.E. "New graph correlates operating labor data for chemical processes." *Chemical Engineering*, 1952: 209-210.
8. United States Department of Labor. *Occupational Employment Statistics*. 4 6, 2011. http://www.bls.gov/oes/current/oes_nat.htm#53-0000 (accessed 6 9, 2011).
9. ICIS. *Indicative Chemical Prices*. 2008. <http://www.icis.com/StaticPages/a-e.htm> (accessed April 22, 2011).

10. Chemical Market Reporter. "Chemical Prices." *Chemical Market Reporter*, 1998-2005.
11. Kelly, Thomas D., and Grecia R. Matos. "Historical statistics for mineral and material commodities in the United States: U.S. Geological Survey Data Series 140." *USGS*. 14, 2010. <http://minerals.usgs.gov/ds/2005/140/#vanadium> (accessed 10 24, 2010).
12. U.S. EIA. *Petroleum and Other Liquids*. Washington D.C.: United States Energy Information Administration, 2011. http://www.eia.gov/dnav/pet/hist/LeafHandler.ashx?n=pets&s=eer_epd2f_pf4_y35ny_dpg&f=a (accessed 6 10, 2011).
13. Bureau of Labor Statistics. *Consumer Price Index*. 2011. <http://www.bls.gov/cpi/> (accessed 6 10, 2011).
14. U.S. EIA. *Electric Power Annual 2009*. Washington D.C.: United States Energy Information Administration, 2010.
15. Bunn, Matthew, Steve Fetter, John P. Holdren, and Bob van der Zwaan. *The Economics of Reprocessing vs. Direct Disposal of Spent Nuclear Fuel*. DOE Report, Cambridge, MA: Harvard University, 2003.
16. Oak Ridge National Laboratory. *Carbon Fiber Technology Center, Equipment Specification, ORNL/CFTC-2010MSL01*. Equipment Specification, Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory, 2010.
17. Jiangsu Challen Fiber S&T Co.,Ltd. *Company Overview*. 2010. <http://www.challen.com.cn/page/company/index.php> (accessed 7 5, 2011).
18. Zhejiang Huatesi Polymer Technical Co.,Ltd. *Company Profile*. <http://www.zjhuatsi.com/html/en/gsjj.html> (accessed 7 5, 2011).
19. Xinfengming Group. *Subsidiaries*. 2008. <http://www.xfmpes.com/eabout2.htm> (accessed 7 5, 2011).
20. Tamada, Masao, Noriaki Seko, Noburu Kasai, and Takao Shimizu. "Cost Estimation of Uranium Recovery from Seawater with System of Braid Type Adsorbent." *Transactions of the Atomic Energy Society of Japan*, 2006: 358-363.
21. Cleland, M.R. "Industrial Applications of Electron Accelerators." *CAS - CERN Accelerator School and KVI: Specialised CAS Course on Small Accelerators*, 2005: 383-416.
22. Cleland, Marsh, and Rick Galloway, interview by Darshan Sachde. *Personal Communication* (July 2011).
23. Kaye, Ronald J., and Bob N. Turman. *Issues for Bringing Electron Beam Irradiators Online*. Conference Report, Albuquerque, NM: Sandia National Laboratories, 1999, 1-7.
24. American Bureau of Shipping. *ABS Rule for Testing and Certification of Materials*. Houston, TX: American Bureau of Shipping, 2010.
25. Driscoll, Alan H. ed. *Handbook of Oceanographic Winch, Wire and Cable Technology*. Narragansett, RI: Office of Naval Research, 1982.
26. Cullinane, Kevin, and Mahim Khanna. "Economies of Scale in Container Ships." *Journal of Transport Economics and Policy*, 1999: 185-207.
27. Environ International Corporation. *Commercial Marine Emission Inventory Development*. Ann Arbor, MI: U.S. Environmental Protection Agency, 2002.
28. В этом анализе вес нагруженного адсорбента включает не только вес поглощенного урана, но также и вес восьми других металлов, обнаруженных в полевых испытаниях. Коэффициент 2 применяется для учета тех дополнительных элементов, которые не были обнаружены, веса остаточной воды, и в качестве наилучшего сценария дополнительной нагрузки.
29. Campbell, M.C., F.J. Kelly, and W.J.S. Craigen. "Uranium Extraction Costing in Canada." *Economics of Uranium Ore Processing Operations*. Paris: OECD, 1983. 131-151.
30. Nuclear Regulatory Commission. *Byproduct Material*. available: <http://www.nrc.gov/materials/byproduct-mat.html>, 2011.
31. Environmental Protection Agency. *Low-Level Radioactive Waste*. available: <http://www.epa.gov/radiation/docs/radwaste/402-k-94-001-llw.html>, 2011.
32. Place, B.G. Engineering Study for the Treatment of Spent Ion Exchange Resin Resulting from Nuclear Process Applications. Westinghouse Hanford Company / US Department of Energy report DE91 04550, 1990.
33. Stein, R.S. "Polymer Recycling: Opportunities and Limitations." *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 1992: 835838.
34. На момент написания этого текста контрактные цены для обработки полимера на этой установке были недоступны.
35. Lorenzen, J., Lindberg, M. and J. Lovstrand. "Handling and Treatment of Uranium Contaminated Combustible Radioactive Low Level Waste (LLW)." *Waste Management '02*. Tuscon, AZ, 2002.
36. Rao, Linfeng. *Recent International R&D Activities in the Extraction of Uranium from Seawater*. Berkeley, California: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009.