

# **Всероссийская олимпиада студентов «Я – профессионал»**

задание заключительного этапа (полуфинала)  
по направлению «Химическая технология»

Категория участия: «Магистратура/специалитет»

**Кейс:**

## **Обработка фугата от центрифуг установки выпаривания соледержащих стоков с целью исключения его негативного влияния на процесс выпаривания**

### **Описание процесса:**

Установка выпаривания соледержащих стоков (УВСС) предназначена для выпаривания соледержащих стоков, образующихся в технологическом процессе предприятия ООО «ЗапСибНефтехим».

Установка введена в эксплуатацию в 2018 г. Производительность УВСС по поступающим стокам до 150 м<sup>3</sup>/ч, в том числе 2 рабочие линии вакуум выпарной установки (ВВУ) по 75 м<sup>3</sup>/ч и одна резервная на 75 м<sup>3</sup>/ч. Режим работы – непрерывный, круглогодичный.

Исходный солевой раствор из усреднительной секции 7192-СТ-0904 аккумулирующего резервуара центробежным насосом 7191-Р-0912А(В,С) через регулирующий клапан 7191-0925-GVM-003 подается в систему регенеративного подогрева. Система состоит из пяти подогревателей 7191-Е-0925-12А,В,С,Д,Е. Перед поступлением в первый по ходу подогреватель солевого раствора, в него непрерывно дозируется раствор антинакипина насосом 7191-Р-0925-51А из бака 7191-В-0925-04А. После пятого подогревателя 7191-Е-0925-12Е раствор поступает в циркуляционный контур выпарного аппарата 7191-РК-0925-01А.

Для нагрева солевого раствора в подогреватели поступает часть потока вторичного пара образующегося при выпаривании исходного стока из соответствующих выпарных аппаратов 7191-РК-0925-01А,В,С,Д и 7191-РК-0925-02А.

После пятого подогревателя подогретый солевой раствор поступает в циркуляционный контур выпарного аппарата 7191-РК-0925-01А. В него же для поддержания требуемой концентрации затравочных кристаллов из отстойника 7191-В-0925-10А насосом 7191-Р-0925-61А(55А) непрерывно дозируется суспензия затравки. Затравка необходима для ограничения накипеобразования и процесса упрочнения кристаллов солей в выпарных аппаратах.

В выпарном аппарате за счет тепла, поступающего в него греющего пара, происходит частичное упаривание раствора. Частично упаренный раствор через переливной бачок под действием перепада давлений перепускается в выпарной аппарат 7191-РК-0925-01В и аналогично в последующие выпарные аппараты. Из аппарата 7191-РК-0925-02А (5-ый по ходу солевого раствора) частично упаренный раствор самотеком сливается в отстойник 7191-В-0925-10А.

В отстойнике происходит осаждение затравочных кристаллов и осветление частично упаренного раствора. Сгущенная суспензия затравочных кристаллов (большая часть в количестве 3-6 м<sup>3</sup>/ч) из донной части отстойника 7191-V-0925-10А винтовым насосом 7191-P-0925-61А(55А) направляется в выпарной аппарат 7191-РК-0925-01А. Цель – поддержание в аппарате требуемой концентрации затравочных кристаллов на уровне 15 мг/дм<sup>3</sup>. Меньшая часть сгущенной суспензии затравочных кристаллов возвращается в отстойник, в нижнюю его коническую часть для взрыхления области трубопровода всасывания винтового насоса.

Предусмотрена линия периодической «продувки» отстойника 7191-V-0925-10А от накопившейся в нем затравки насосом 7191-P-0925-61А(55А): избыток затравки подается в центрифугу для обезвоживания частично упаренного раствора и получение мелового осадка. Осадок в свою очередь выгружается в биг-беги и направляется на обезвреживание, а фугат центрифуги возвращается в аккумулирующий резервуар 7192-СТ-0904 через дренажный приямок.

Осветленный частично упаренный солевой раствор из отстойника 7191-V-0925-10А сливается в бак 7191-V-0925-06А, откуда центробежным насосом 7191-CQ-0925-64А(64В) откачивается на окончательное концентрирование в выпарной аппарат 7191-РК-0925-03А. В результате концентрирования из упаренного раствора выделяются кристаллические соли. Концентрация кристаллов солей в циркуляционном контуре выпарного аппарата 7191-РК-0925-03А поддерживается в пределах 25-35 %. Концентрат, полученный в выпарном аппарате 7191-РК-0925-03А, представляющий собой суспензию, откачивается центробежным насосом 7191-CQ-0925-62А(62В) на центрифугу для обезвоживания упаренного раствора и получение солевого осадка. Осадок в свою очередь выгружается в биг-беги и направляется на обезвреживание, а фугат центрифуги возвращается в аккумулирующий резервуар 7192-СТ-0904 через дренажный приямок. Средний объем фугата во время работы центрифуги составляет 1,5-3,0 м<sup>3</sup>/ч.

Греющий пар из магистрального паропровода поступает в струйный парокomppressor, смешивается с вторичным паром (дистиллятом) выпарного аппарата 7191-РК-0925-01В, проходит пароувлажнитель и поступает в греющую камеру выпарного аппарата 7191-РК-0925-01А.

Конденсат греющего пара самотеком поступает в самоиспаритель. Пар самоиспарения из самоиспарителя 7191-V-0925-15А поступает в трубопровод вторичного пара выпарного аппарата 7191-РК-0925-01А.

Конденсат пара, полученный в греющей камере аппарата 7191-РК-0925-01В, смешавшись с поступающим в нее через гидрозатвор самоиспарившимся конденсатом из подогревателя 7191-Е-0925-12Е под действием перепада давлений совместно с конденсатом из подогревателя 7191-Е-0925-12D через гидрозатвор перетекает в качестве транзитного потока в греющую камеру выпарного аппарата 7191-РК-0925-01С. В камере аппарата поток поступающего конденсата самоиспаряется, при этом пар самоиспарения является добавкой к пару, поступающему в греющую камеру аппарата. Образовавшийся в греющей камере конденсат, смешавшись с транзитным потоком конденсата через гидрозатвор перетекает в греющую камеру выпарного аппарата 7191-РК-0925-01D, где процессы смешения, конденсации и самоиспарения повторяются. Эти же процессы последовательно повторяются в греющих камерах выпарных аппаратов 7191-РК-0925-02А и 7191-РК-0925-03А. Из греющей камеры аппарата 7191-РК-0925-03А поток конденсата направляется в самоиспаритель 7191-V-0925-14А.

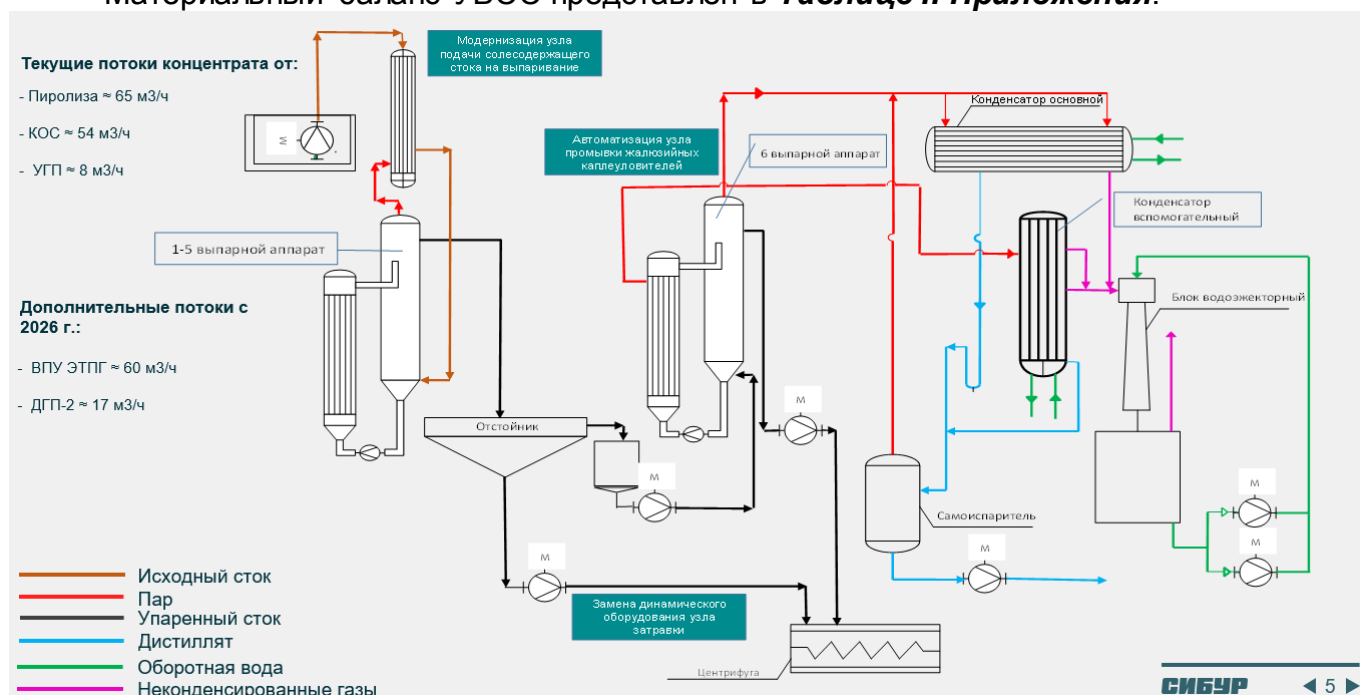
На **Рисунке 1** представлена упрощенная технологическая схема одной ВВУ. В **Таблице I Приложения** представлены данные по качеству исходного стока.

На **Рисунке I Приложения** представлена модель выпарных установок, на **Рисунке II Приложения** представлена блок схема выпарной установки, а на **Рисунке III Приложения** – схема выпарной линии-1.

На **Рисунке IV Приложения** представлен принцип работы выпарного аппарата; на **Рисунке V Приложения** представлены технические характеристики аппаратов 7191-РК-0925-01А,В,С,Д; 7191-РК-0925(26,27)-02А, а на **Рисунке VI Приложения** – технические характеристики и отличие аппарата 7191-РК-0925-03А.

На **Рисунке VII Приложения** представлен процесс образования влажного осадка и фасовки.

Материальный баланс УВСС представлен в **Таблице II Приложения**.



**Рисунок 1** – Упрощенная технологическая схема одной ВВУ:

КОС – комплексные очистные сооружения; УГП – установка генерации пара;

ВПУ ЭТПГ – водоподготовительная установка электротеплогенерации;

ДГП – проект установки дегидрирования пропана № 2

На данный момент в технологическом процессе выпаривания солесодержащего стока образуются следующие потоки, требующие дополнительной обработки:

1) Порядка 15 % дистиллята от общего количества поступающего на выпаривание стока, который невозможно вовлечь в технологический процесс предприятия из-за несоответствия требованиям по показателям качества, представленным в **Таблице 1** (где ХПК – Химическое потребление кислорода).

**Таблица 1** – Требования по показателям качества дистиллята

Наименование потока	ХПК, мг/дм <sup>3</sup>	Солесодержание, мг/дм <sup>3</sup>	Массовая концентрация хлоридов, мг/дм <sup>3</sup>
Некачественный дистиллят	130	393,9	76,8
Качественный дистиллят	не более 36	не более 50	не более 15

2) Фугат, образующийся при центрифугировании стока из 6-ого выпарного аппарата 7191-РК-0925-03А имеет высокое содержание ХПК и взвешенных веществ (ХПК – 51 750 мг/дм<sup>3</sup>; солесодержание – 220 000 мг/дм<sup>3</sup>). При возвращении данного потока на очистку в «голову сооружения» ухудшается качество исходного стока, фиксируется нарушение аналитического контроля по входящему стоку (несоответствие требованиям, представленным в **Таблице I Приложения**).

Фотография солевого раствора (стока) из 6-ого выпарного аппарата 7191-РК-0925-03А, который направляется на центрифуги, представлена на **Рисунке 2 а**.

Характеристики стока, направляемого на центрифуги представлены в **Таблице III Приложения**.

Фотография продукта центрифугирования, полученного спустя 25 минут отстаивания, представлена на **Рисунке 2 б**, сверху (темно коричневый) – фугат, который необходимо очистить или как минимум разделить.

Состав соли (образуется в результате центрифугирования, внизу стакана) представлен в **Таблице IV Приложения**.



**Рисунок 2 а** – Фото солевого раствора из 6-го выпарного аппарата, направляемого на центрифугу для обезвоживания



**Рисунок 2 б** – Фото солевого раствора после отстаивания (сверху фугат, снизу осадок, который отделится на центрифуге)

## **Задания кейса:**

1. Идентифицируйте «узкие-места» существующей технологии.
2. Предложите возможные технологические и аппаратурные решения для вовлечение всего (100 %) дистиллята в производственный цикл предприятия.
3. Предложите возможные технологические и аппаратурные решения для обработки и доведение качества фугата до не оказывающего негативного влияние на качество исходного стока (снижение ХПК в фугате).
4. Предложите комплекс мероприятий по внедрению предложенных технологических, аппаратурных и цифровых решений.
5. Предложите возможные цифровые решения для оптимизации и повышения эффективности, решения поставленных задач.
6. Осуществите оценку рисков внедрения предложенных решений и оценку экономического эффекта от внедрения предложенных решений.

## **Критерии оценивания решения заданий кейса:**

### **Магистратура/специалитет:**

1. Полнота решения заданий кейса (**максимум 30 баллов**);
2. Техническая грамотность решений (**максимум 30 баллов**);
3. Оригинальности и новизна решений (**максимум 30 баллов**);
4. Экономическая составляющая решений (**максимум 10 баллов**).

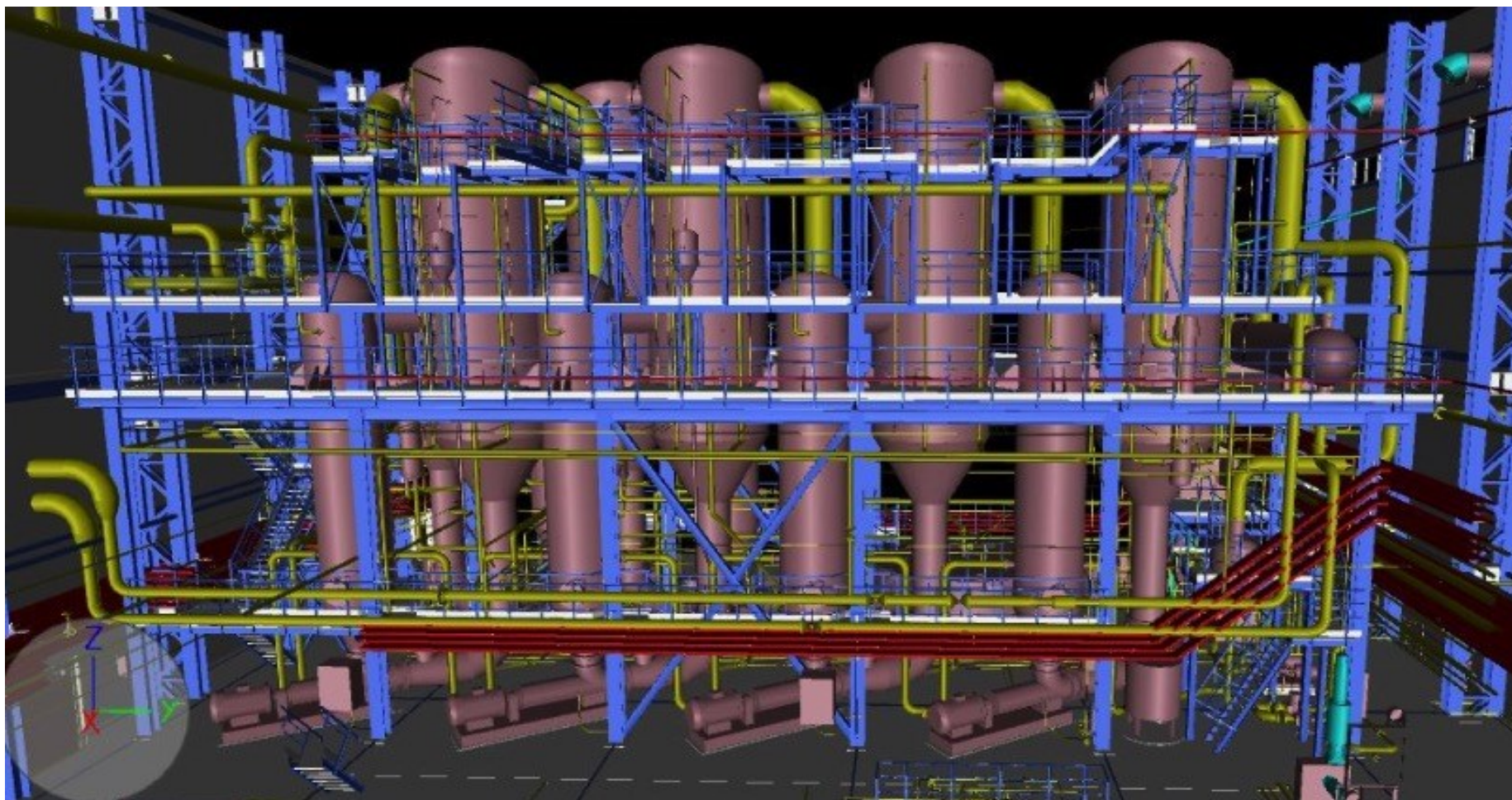
## Приложение

Таблица I – Данные по качеству исходного стока

Наименование потока	ХПК мг/дм <sup>3</sup>	Соле- содержание, мг/дм <sup>3</sup>	Кальций, мг/дм <sup>3</sup>	рН *	Гидро- карбонаты, мг/дм <sup>3</sup>	Натрий, мг/дм <sup>3</sup>
К-14.1 Смешанный сток от установок деминерализованной воды, пиролиза и конденсатоочистки	200	1200	55,7	6,5 (4,0)	500	Измерения не производились
К-14.2 Сток от узла влажного окисления отработанной щёлочи (пиролиз)	12	2000	55,7	7,5 (9,0)	13 195	22,4
К-14.09 Концентрат от установки обратного осмоса	165	3000	670,0	7,5 (9,0)	5 560	512,0
К-14.18 (7192) Аккумулирующий резервуар (сток на выпаривание, смесь)	350	3500	350,0	7,5 (9,0; 4,0)	2 500	550,0

\* Представлены предельные значения по нижней и верхней границе зафиксированные в период эксплуатации установки.





*Рисунок 1* – Модель выпарных установок



Рисунок II – Блок-схема выпарной установки



# Схема выпарной линии 1

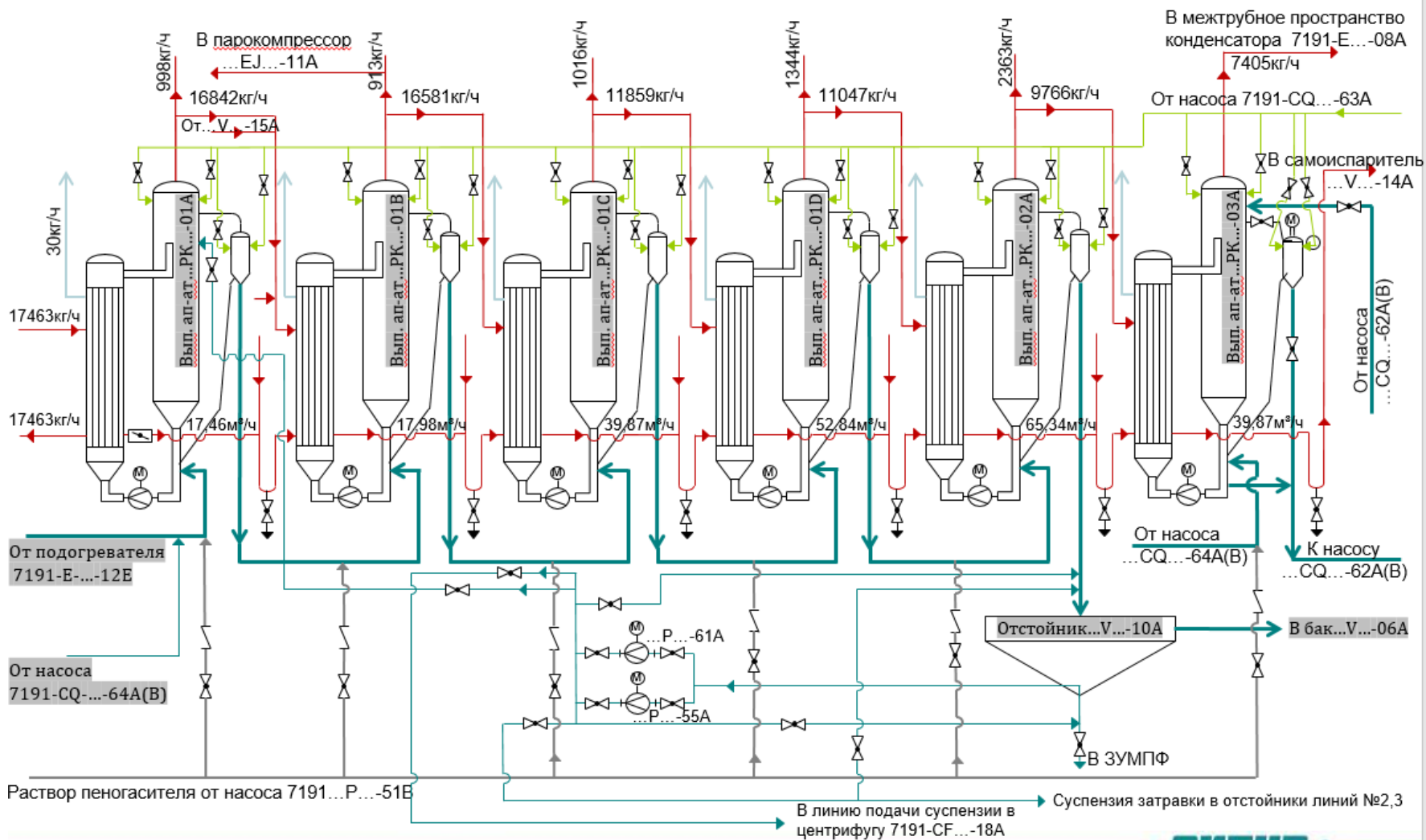


Рисунок III – Схема выпарной линии-1

## Принцип работы выпарного аппарата

Раствор (исходный или с затравкой) поступает через штуцер **в** и смешивается с раствором, циркулирующим в аппарате

Смешанный поток осевым насосом подается в трубное пространство греющей камеры

Выходя из подъемной трубы в сепараторе, перегретый раствор вскипает

Прокипевший раствор из растворного пространства сепаратора по опускной трубе поступает в трубопровод всасывания насоса

Упаренный раствор с затравкой через переливной бачек выводится из аппарата

Образовавшийся пар проходит через жалюзийный каплеуловитель и выводится из сепаратора

В выпарной аппарат 7191-РК-0925-01А отдельно вводится суспензия затравки

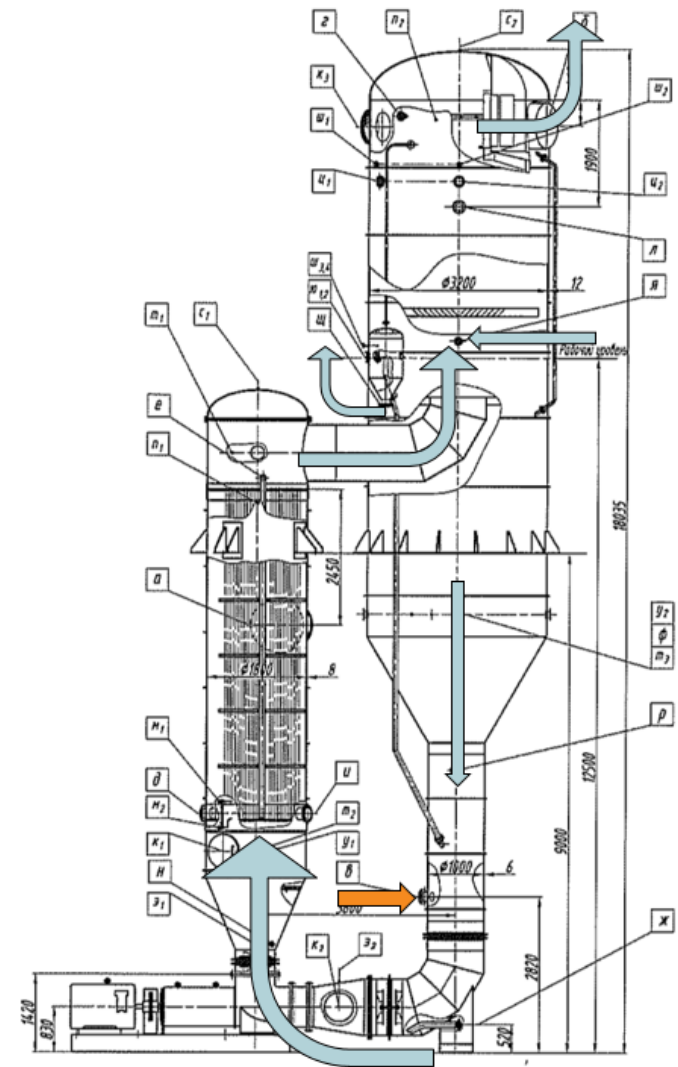


Рисунок IV – Принцип работы выпарного аппарата

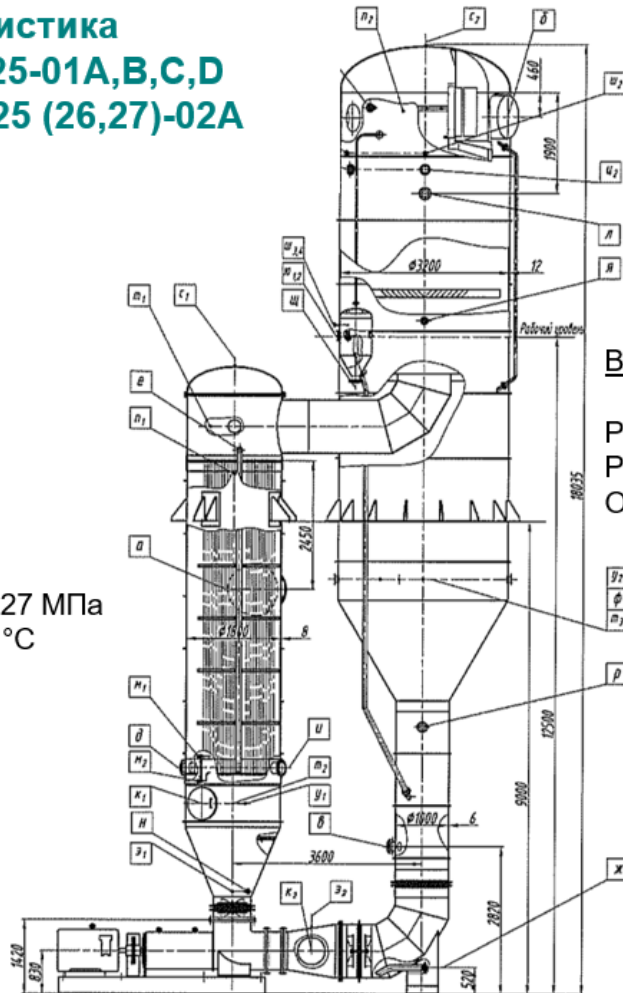
**Техническая характеристика  
аппаратов 7191-ПК-0925-01А,В,С,Д  
7191-ПК-0925 (26,27)-02А**

Межтрубное пространство

Рабочее давление абс 0,14±0,027 МПа  
Рабочая температура 110±60 °С

Циркуляционный насос

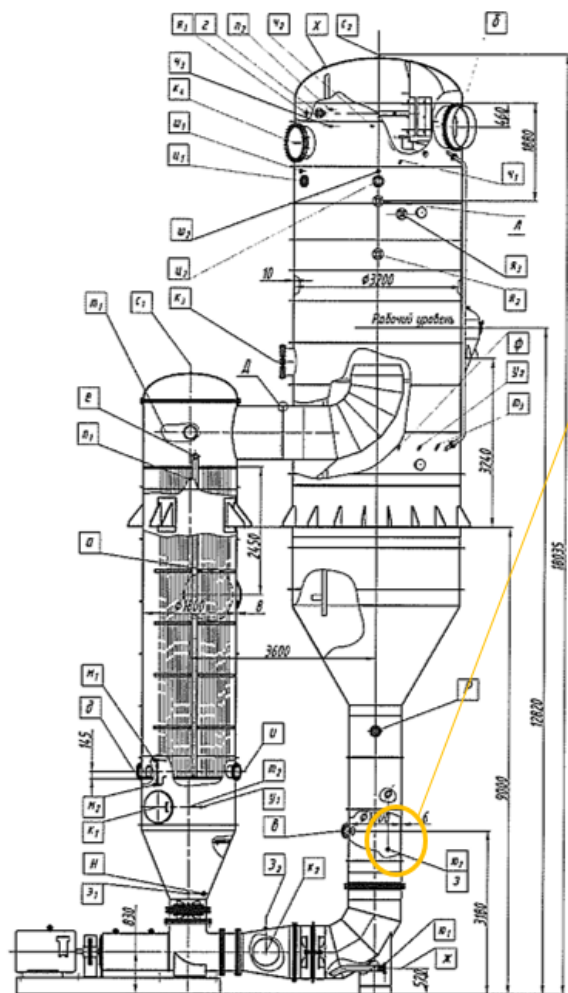
Подача 5300 м<sup>3</sup>/ч  
Напор 3,6 м  
Мощность эл. Двиг. 132 кВт



В сепараторе

Рабочее давление абс 0,09±0,017 МПа  
Рабочая температура 95±56 °С  
Объем раствора 65,5 м<sup>3</sup>

**Рисунок V** – Технические характеристики аппаратов 7191-ПК-0925-01А,В,С,Д; 7191-ПК-0925(26,27)-02А



Конструктивно аппарат выполнен аналогично.

Дополнительно:

- переливной бачек снабжен запирающим устройством-клапаном с эл.приводом для регулирования потока отводимой суспензии
- опускная циркуляционная труба снабжена дополнительным штуцером для вывода суспензии минуя переливной бачек

#### В сепараторе

Рабочее давление абс  $0,09 \pm 0,01$  МПа

Рабочая температура  $95 \pm 45$  °С

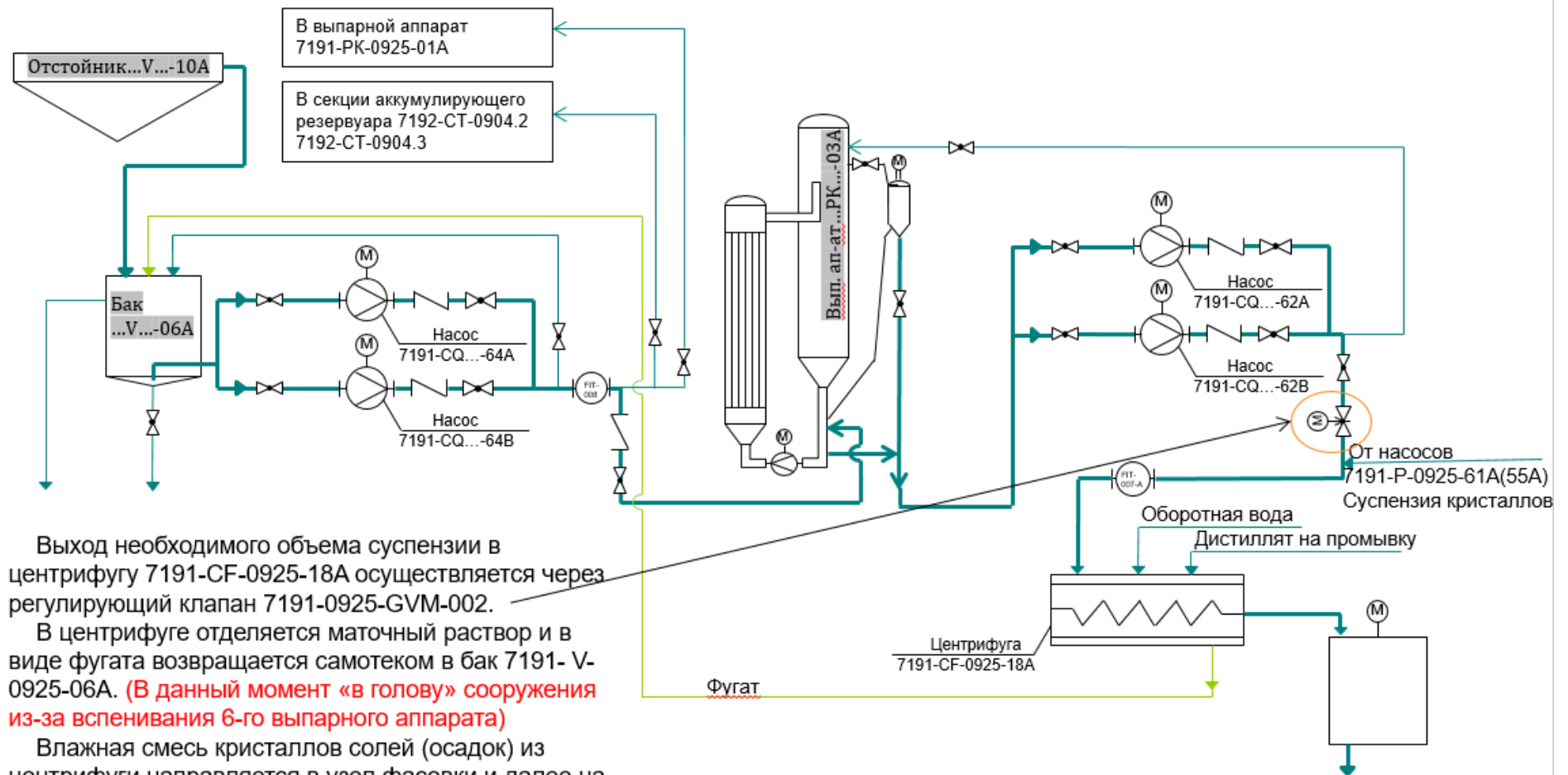
Объем раствора  $65,5$  м<sup>3</sup>

#### Межтрубное пространство

Рабочее давление абс  $0,014 \pm 0,02$  МПа

Рабочая температура  $110 \pm 60$  °С

**Рисунок VI** – Технические характеристики и отличие аппарата 7191-ПК-0925-03А



Выход необходимого объема суспензии в центрифугу 7191-CF-0925-18A осуществляется через регулирующий клапан 7191-0925-GVM-002.

В центрифуге отделяется маточный раствор и в виде фугата возвращается самотеком в бак 7191-V-0925-06A. (В данный момент «в голову» сооружения из-за вспенивания 6-го выпарного аппарата)

Влажная смесь кристаллов солей (осадок) из центрифуги направляется в узел фасовки и далее на обезвреживание

**Рисунок VII** – Процесс образования влажного осадка и фасовки

**Таблица II – Материальный баланс установки: приход и расход**

<b>Приход</b>	<b>Количество, т/ч</b>
От узла влажного окисления отработанной щелочи из 21-Е-3604	3,9
От установки приготовления деминерализованной воды	25,8
От котельной и от установки генерации пара	13,0
От установки обратного осмоса	56,0
От объектов общезаводского хозяйства (ОЗХ)	26,0
Прямая оборотная вода от 6201 (градирня)	990,0
<b>ИТОГО:</b>	<b>1114,7</b>
<b>Расход</b>	<b>Количество, т/ч</b>
Дистиллят на 6522	115
На ОЗХ	29
Обратная оборотная вода на 6201	990
Осадок на захоронение	3,64
<b>ИТОГО:</b>	<b>1137,64</b>

Разница прихода и расхода вызвана технологическими особенностями установки – часть воды испаряется в процессе работы установки.



**Таблица III – Характеристики стока, направляемого на центрифуги**

Проба	Массовая концентрация натрия, мг/дм <sup>3</sup>	Массовая концентрация взвешенных веществ, мг/дм <sup>3</sup>	Массовая концентрация хлоридов, мг/дм <sup>3</sup>	ХПК, мг/дм <sup>3</sup>	Солесодержание, мг/дм <sup>3</sup>	Массовая концентрация кальция, мг/дм <sup>3</sup>	Общая жесткость, град. Ж	Массовая концентрация магния, мг/дм <sup>3</sup>	Массовая концентрация сульфатов, мг/дм <sup>3</sup>
<b>Нормы</b>	<i>Не нормируется</i>	<i>Не нормируется</i>	<i>Не нормируется</i>	<i>Не нормируется</i>	<b>Не менее 300000</b>	<i>Не нормируется</i>	<i>Не нормируется</i>	<i>Не нормируется</i>	<i>Не нормируется</i>
Проба 1	79700,0000	–	67811,5	35000	317800,0	22524,96	более 50,0	9428,4	180000,00
Проба 2	91500,0000	–	105785,9	23000	291300,0	6252,48	более 50,0	10668,0	242880,00
Проба 3	117000,0000	–	84677,8	26000	439100,0	48576,96	более 50,0	7728,0	282240,00
Проба 4	123000,0000	–	106077,9	48000	437200,0	36873,60	более 50,0	7776,4	241440,00
Проба 5	120000,0000	181435,0000	126186,5	53000	376000,0	1202,40	более 50,0	14337,0	175200,00
Проба 6	132000,0000	192785,0000	152752,1	60000	407000,0	921,84	более 50,0	18395,1	157440,00
Проба 7	166000,0000	–	122302,5	54000	569400,0	35671,20	более 50,0	14944,5	321600,00
Проба 8	126000,0000	–	84548,3	29000	440000,0	34068,00	более 50,0	11664,0	266400,00
Проба 9	110000,0000	–	68773,0	71000	397000,0	57314,40	более 50,0	25320,9	239520,00
Проба 10	230000,0000	–	151017,0	112000	745000,0	81683,04	более 50,0	42311,3	436800,00
Проба 11	100000,0000	195530,0000	88967,1	44000	315600,0	2805,60	более 50,0	10570,9	126240,00
Проба 12	72700,0000	24310,0000	45975,1	28000	212300,0	1683,36	более 50,0	5540,6	105120,00
Проба 13	166000,0000	–	105637,5	44000	606600,0	59799,36	более 50,0	1652,6	391200,00
Проба 14	135000,0000	–	89142,6	45000	426200,0	19398,72	более 50,0	5735,2	222720,00
Проба 15	151000,0000	–	118622,7	92000	535100,0	38076,00	более 50,0	16767,0	318720,00
Проба 16	145000,0000	–	116408,9	90000	441800,0	10701,36	более 50,0	13802,6	232320,00
Проба 17	145,0000	197570,0000	154562,0	23000	480000,0	45691,20	более 50,0	10449,0	364800,00
Проба 18	219,0000	279595,0000	113085,5	49000	621000,0	34468,80	более 50,0	20169,0	451200,00
Проба 19	177000,0000	–	90370,9	45000	406400,0	24288,48	более 50,0	8359,5	223200,00
Проба 20	191000,0000	–	137925,3	46000	643200,0	43446,72	более 50,0	8408,2	379200,00
Проба 21	117000,0000	424975,0000	146231,3	135000	629000,0	42725,28	более 50,0	17348,4	444000,00
Проба 22	204000,0000	146240,0000	111667,5	81000	370000,0	9018,00	более 50,0	11421,0	187200,00
Проба 23	1,9000	–	28410,4	6000	111500,0	3086,16	более 50,0	1044,9	59040,00
Проба 24	102000,0000	–	151091,8	77000	387300,0	1923,84	более 50,0	14750,1	116160,00
<b>Минимальное значение</b>	1,9000	24310,0000	28410,4	6000	111500,0	921,84		1044,9	59040,00
<b>Максимальное значение</b>	230000,0000	424975,0000	154562,0	135000	745000,0	81683,04		42311,3	451200,00
<b>Среднее значение</b>	119011,0792	205305,0000	107001,3	54833	441908,3	27591,74		12858,0	256860,00
<b>Количество замеров, шт</b>	24	8	24	24	24	24	24	24	24
<b>Количество несоответствий, шт.</b>	0	0	0	0	3	0	0	0	0
<b>Количество несоответствий, %</b>	0%	0%	0%	0%	12,5%	0%	0%	0%	0%

**Таблица IV** – Состав соли, образовавшейся в результате центрифугирования

Определяемые компоненты, ед. измерения	Результаты определения содержания компонента в твердом образце пробы, погрешность	Методика определения
Кальций, г/кг	198±40	Методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой
Калий, г/кг	3,5±0,7	
Магний, г/кг	7,5±1,5	
Натрий, г/кг	85,9±17,2	
Хром, г/кг	Не обнаружен	
Сера, г/кг	172±34	
Кремний, г/кг	0,212±0,042	
Алюминий, г/кг	Не обнаружен	
Железо, г/кг	Не обнаружен	
Цинк, г/кг	Не обнаружен	
Титан, г/кг	Не обнаружен	
Стронций, г/кг	1,13±0,23	
Фосфор, мг/кг	0,128±0,026	
Фосфат-ион, г/кг	Не обнаружен	
Хлорид-ион, г/кг	25,8±5,2	
Сульфат-ион, г/кг	577±115	
Нитрат-ион, г/кг	1,4±0,3	
Нитрит-ион, г/кг	Не обнаружен	
Бромид-ион, г/кг	Не обнаружен	
Фторид-ион, г/кг	Не обнаружен	Методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой
Кальций, г/кг	270±54	
Калий, г/кг	3,9±0,8	
Магний, г/кг	10,7±2,1	
Натрий, г/кг	87,9±17,6	
Хром, г/кг	0,0016±0,0004	
Сера, г/кг	192±38	
Кремний, г/кг	0,223±0,045	
Алюминий, г/кг	0,08±0,02	
Железо, г/кг	0,175±0,053	
Цинк, г/кг	0,105±0,021	
Титан, г/кг	Не обнаружен	
Стронций, г/кг	0,999±0,200	
Фосфор, г/кг	0,55±0,11	
Влажность, %	19,3±2,0	Гравиметрически
Содержание летучих в воздушно-сухом образце при 105 °С, %	4,3±0,4	
Диоксид кремния, г/кг	12,8±1,3	
Карбонат-ион, г/кг	<0.2	Обратным титрованием