Вирумааский колледж
Таллиннского технического университета

Сергей Чекрыжов,
Владимир Сычёв

Термическая переработка горючего сланца в газогенераторе

Учебное пособие
КОХТЛА-ЯРВЕ
2015

9.detsembril kell 16.00
raamatukogus toimub
raamatu esitlus

«Термическая переработка горючего сланца в газогенераторе»

Meil külas on autorid:

Sergey Chekryzhov
Volodymyr Sychov

9 декабря в 16.00
в библиотеке состоится
презентация книги

«Термическая переработка горючего сланца в газогенераторе»

У нас в гостях авторы:

Сергей Чекрыжов

Владимир Сычев

EESTI HARIDUSE JA TEADUSE HEAKS

ARCHIMEDES

Käesoleva õppematerjali valmimist on kaasrahastatud Kõrgkoolide koostöö ja innovatsiooni arendamise alameetme „KÕRGKOOLIDE JA ETTEVÕTETE KOOSTÖÖ“ projekti „Kütuse ja keemia tehnoloogia magistriõppekava loomisprojekt“ raames.

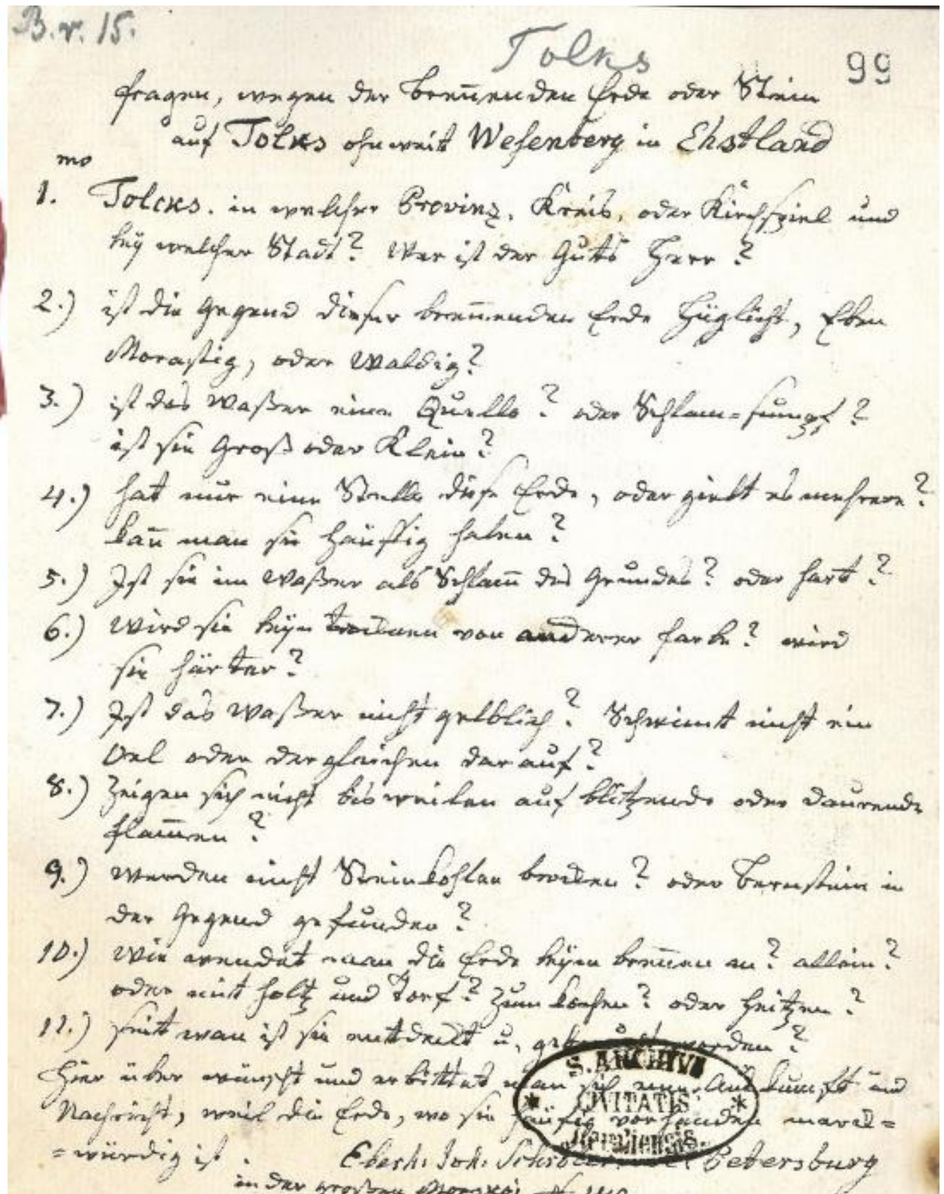
- Учебное пособие «Термическая переработка горючего сланца в реторте-генераторе» создано в рамках проекта ”Kütuste keemia ja tehnoloogia magistriõppekava loomisprojekt”
- Sihtasutus Archimedes registries nr 1.2.0402.10-0120.

Эстония уже длительное время является мировым лидером по добыче и переработке горючих сланцев ex-situ processing .

В 2016 году исполняется сто лет с начала промышленной добычи и переработки горючего сланца в Эстонии.

Немного истории

Картина Э.Конта. Музей сланца. Кукрузе



B.r. 15.

Tolks 99

Fragen, wegen der brennenden Erde oder Stein auf Tolks ohnweit Wesenberg in Ehstland

1. Tolcks. in welcher Provinz, Kreis, oder Kirchspiel und bey welcher Stadt? Wer ist der Guts Herr?

2.) ist die Gegend dieser brennenden Erde hüglicht, eben, morastig, oder waldig?

3.) ist das Wasser eine Quelle? oder Schlamm-Sumpf? ist sie groß oder klein?

4.) hat nur eine Stelle diese Erde, oder giebt es mehrere? kan man sie häufig haben?

5.) Ist sie im Wasser als Schlamm des Grundes? oder fest?

6.) wird sie hiezu trocknen von anderer farbe? wird sie härter?

7.) Ist das Wasser nicht gelblich? Scheint nicht ein Oel oder dergleichen darauf?

8.) Zeigen sich nicht bisweilen auf blitzende oder dauernde flammen?

9.) werden nicht Steinkohlen brechen? oder Bernstein in der Gegend gefunden?

10.) wie verwendet man die Erde hiezu brennen zu? allein? oder mit Holtz und Torf? zum Kochen? oder Heitzen?

11.) [illegible]

Hier über wünscht und erbittet man sich eine Auskunft und Nachricht, weil die Erde, wo sie häufig vorhanden, merck=würdig ist.

Eberh. Joh. Schröter [illegible] St. Petersburg in der grossen Morskoj. N. 140.

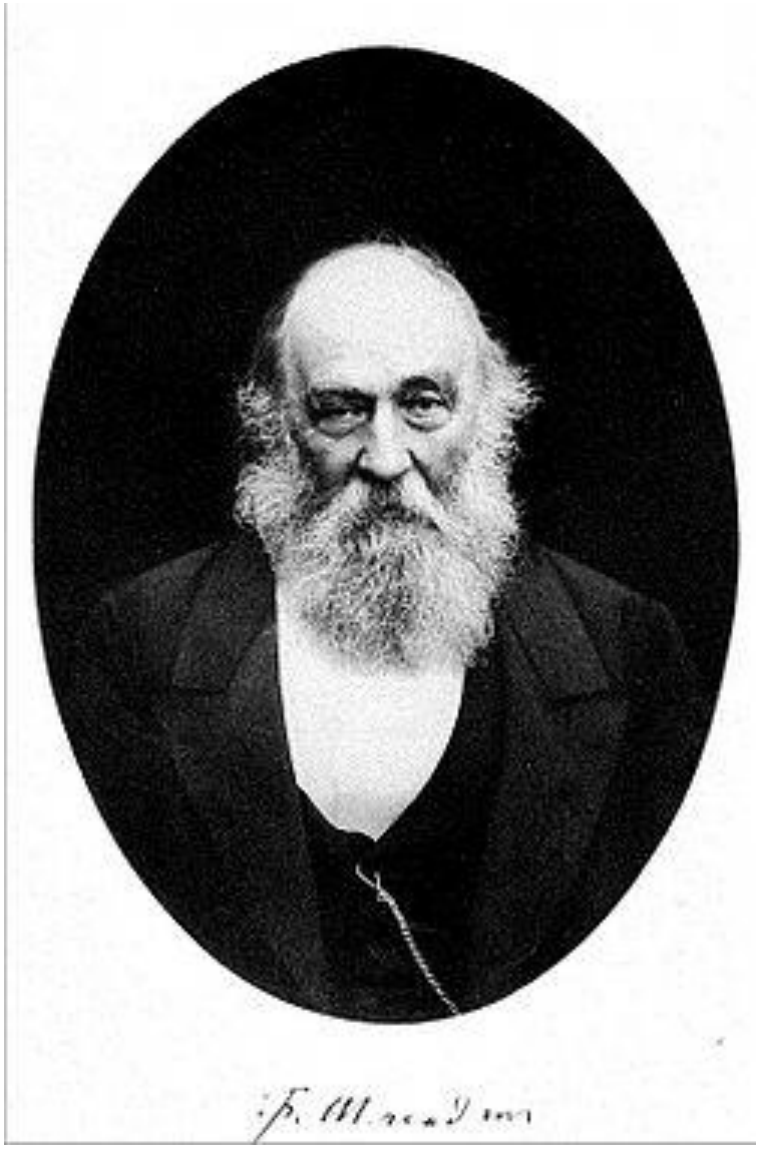
S. ARCHIVS CIVITATIS Revaliensis

Это фотокопия опросного листа подготовленного Эберхардом Иоганном Шрётером (Eberhard Johann Schröter) (1725–?), архиварием Императорского Вольного экономического общества, который вероятно был первым человеком, получившим известие о каустобиолите, найденном на мызе Кохала Везенбергском уезде Ревельского наместничества.

История сланцевой промышленности

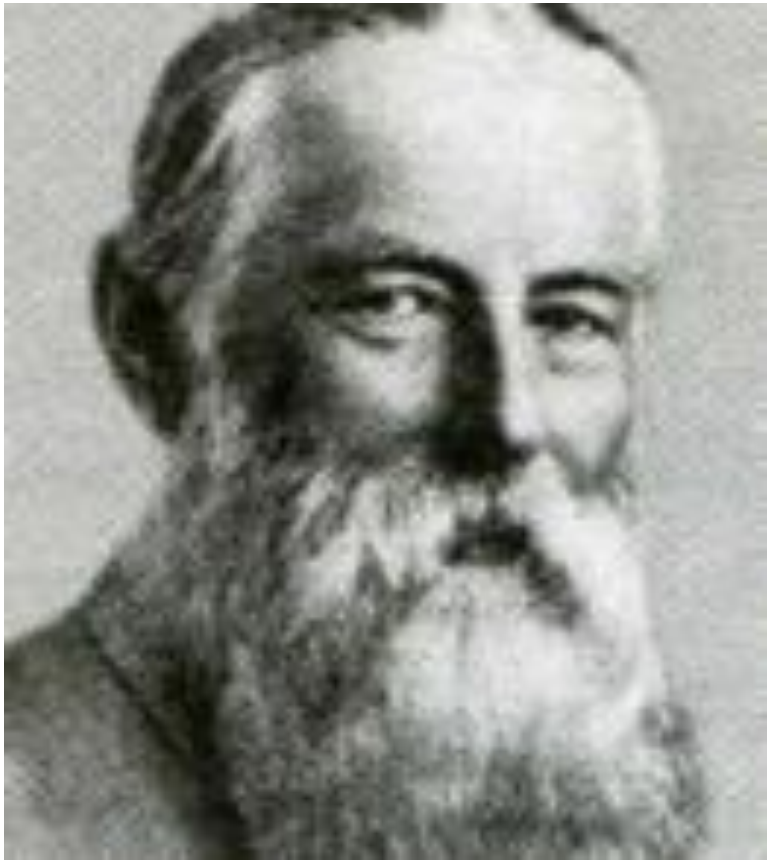
- Гельмерсен (Григорий Петрович) - горный инженер, генерал-лейтенант, ординарный академик Академии Высшее образование получил в Дерптском университете, который окончил в 1825 г. со степенью кандидата. П
- По поручению Санкт-Петербургского Вольного Экономического общества произвёл первую геологическую разведку месторождения прибалтийских горючих сланцев и провёл первые эксперименты со сланцами с целью получить из них горючее масло.

История сланцевой промышленности



- Фёдор Богда́нович (Фри́дрих Карл) Шмидт (нем. *Friedrich Karl Schmidt*; В 1852 окончил курс кандидатом в Дерптском университете. посвятил свою научную деятельность изучению силурийских образований. Untersuchungen über d. silurische Formation von Estland, Nord Livland u. Oesel, 1858. Ревизия силурийских трилобитов Прибалтики, 1881—1907 описаны 250 видов трилобитов.

История сланцевой промышленности



- В мае 1916 г. в Эстляндскую губернию, в район имения Кукерс и деревни Ярве, выехал геолог Геологического комитета *Н.Ф. Погребов*, который уже в июне установил промышленное значение прибалтийских сланцевых месторождений

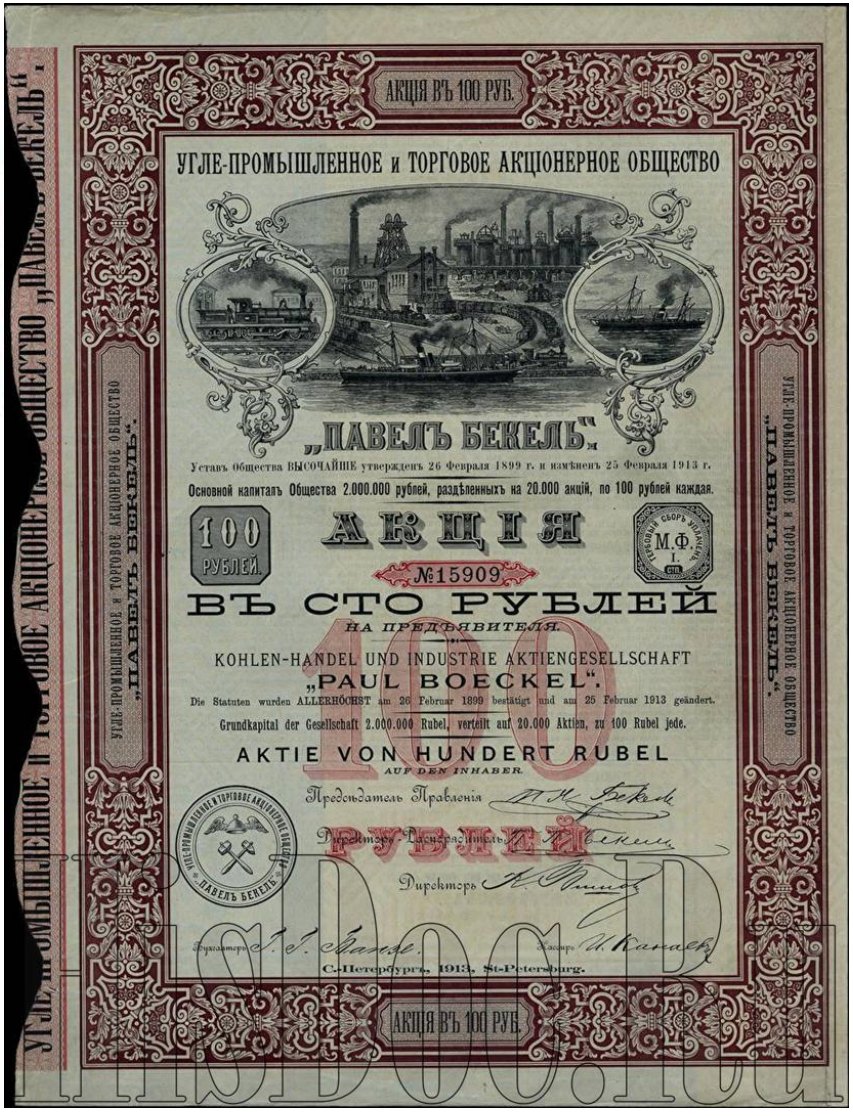
Käwa kaewandus

Павел (Пауль) Павлович Бекель (1869—1940) — русский предприниматель, потомственный почётный гражданин Санкт-Петербурга, статский советник; популяризатор автомобилизма. Павел Бекель умер первого января 1940 года в Лондоне.

- Фирмой «Павел Бекель и К^0» была заложена первая шахта и в июне 1916 г. партия кукерсита в количестве 22-х вагонов-1250 тонн сланца была отправлена в адрес 1-го Петроградского политехнического институт

Угле-Промышленное и Торговое Акционерное Общество "Павел Бекель".

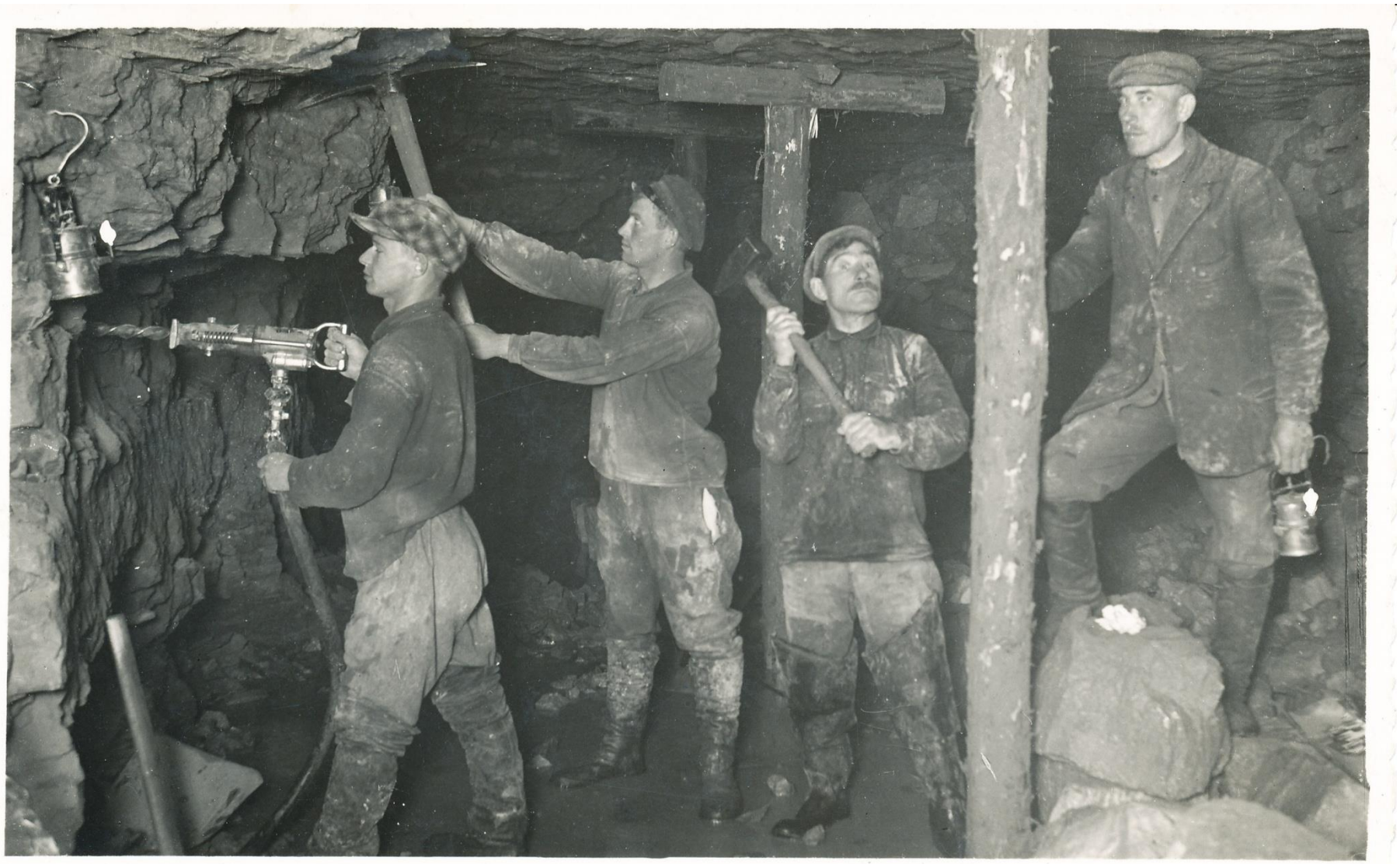
Угле-Промышленное и Торговое Акционерное Общество "Павел Бекель".



Акция в 100 руб.

Устав Общества Высочайше утвержден 26 Февраля 1899 г. и изменен 25 Февраля 1913 г. Основной капитал Общества 2.000.000 рублей, разделенных на 20.000 акций по 100 рублей каждая.

История сланцевой промышленности

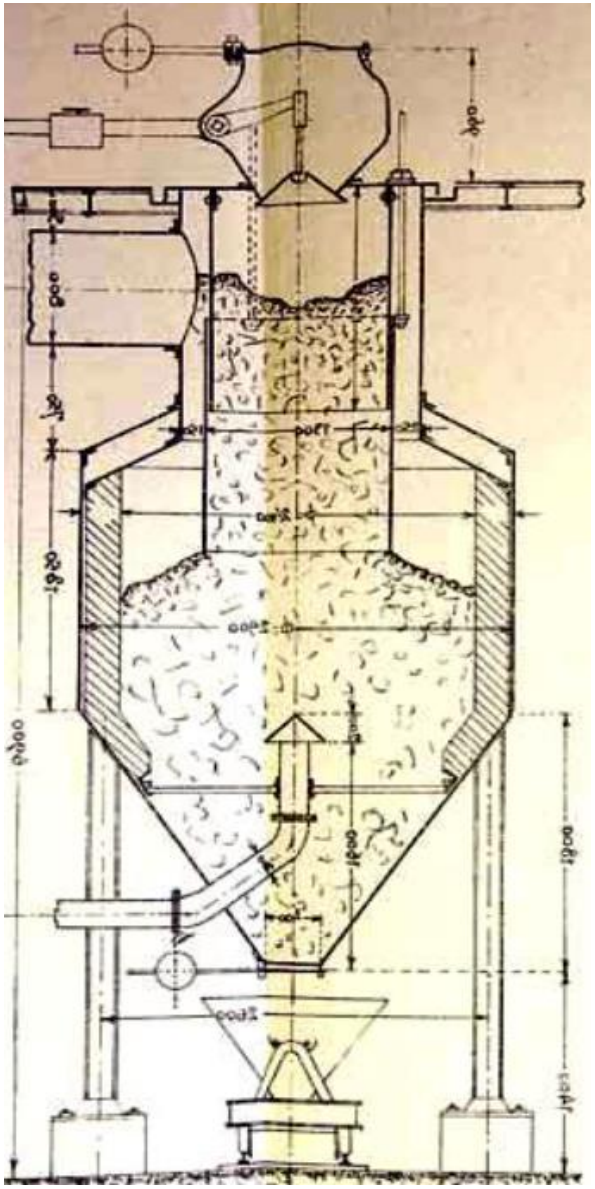


KÜTTE-JÕUD.

Püssi

Sillamäe

Эскиз сланцевого газогенератора Петербургского политехнического института



- с декабря 1916 г. по сентябрь 1917 г. были проведены работы по опытной газификации и перегонке эстонских сланцев.
- *Руководил исследованиями Владимир Карлович Вальгис*

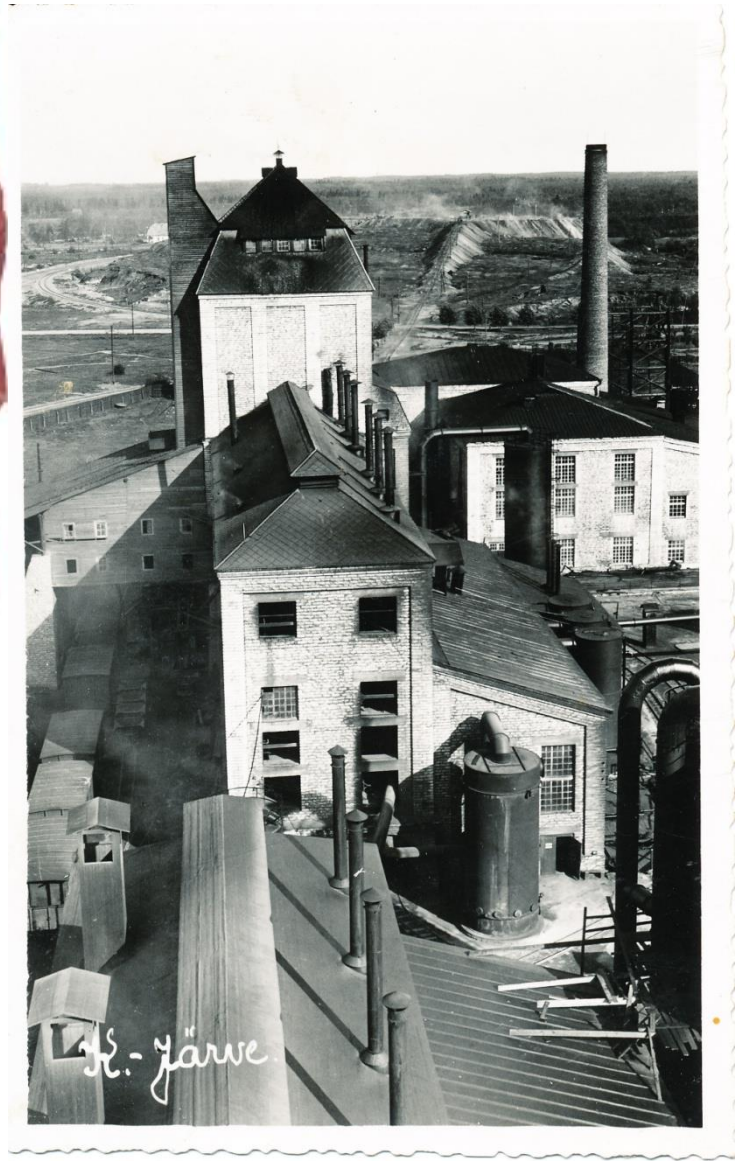
История сланцевой промышленности

- В 1921 году был пущен первый эстонский сланцеперерабатывающий завод в Кохтла-Ярве.

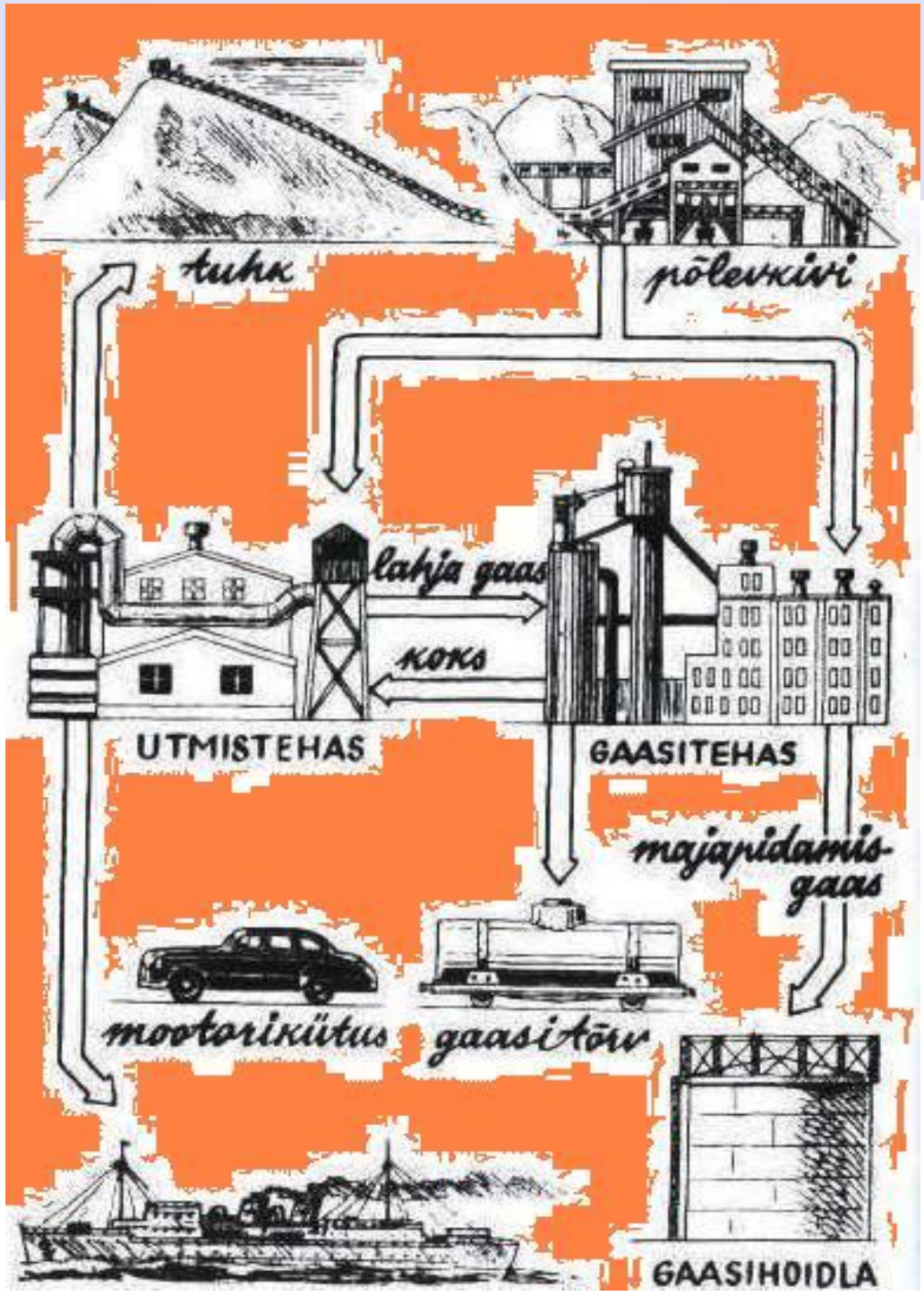
Завод	*Единица* *Производительность*	Число реторт	Ввод	Прекращение работы
Кохтла-Ярве, РАС « Кивитер»	Вертикальная реторта 7-8 т/день	1	3.01.1921	Декабрь, 1924
	GGS-1, 33т/день	6	24.12.24	30.07.85
	GGS-2, 40 т/день	8	31.03.36	30.07.85
	GGS-3, 40 т/день	16	28.05.38	
Кивиыли, РАС « Ээсти Кивиыли»	Экспериментальных туннельных печей	1	1926	В 1930
	Промышленная туннельная печь ,75 т/с	1	1927	
	Коммерческая туннельная печь 250 350	2 2	1931 1935	Последняя была закрыта в 1975

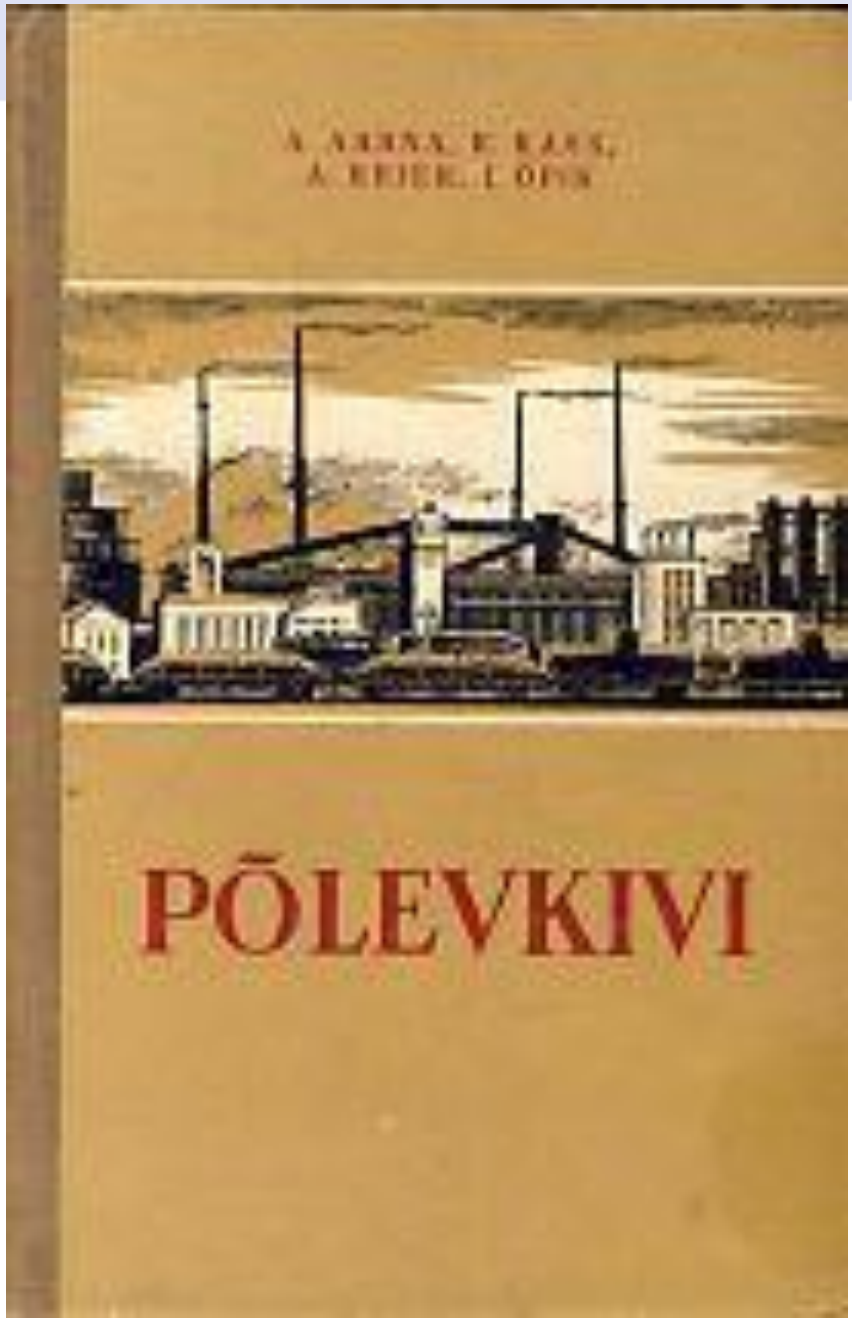
Kivioli

K.-järve.


K.-järve

Kohtla.
Lahtine karjeer


tuhk
põlevkivi
lahja gaas
koks
UTMISTEHAS
GAASITEHAS
majapidamis-
gaas
mootorikütus
gaasitõru
GAASIHOIDLA


PÕLEVKIVI

Актуальность

- Несмотря огромный интерес к проблеме термической переработки горючих сланцев в мире, многие практические вопросы термической переработки газогенераторах изложены в отраслевых изданиях последней четверти прошлого века и, к настоящему времени, является библиографической редкостью.
- Вопросам автоматизации процессов сланцепереработки посвящена практически единственная книга [2], которая не отражает уже существующий уровень управления производства.

Обоснование актуальности

Переработка крупнокускового сланца в газогенераторах эксплуатируется в Эстонии в течение многих десятилетий и является **наилучшей доступной технологией** термической переработки сланца кукерсита, а автоматизированная система управления генераторной станцией успешно функционирует, обеспечивая высокую надёжность, безопасность и эффективность производства сланцевой смолы.

Цель учебного пособия

- обобщить существующий опыт термической переработки горючего сланца в газогенераторе ;
- познакомить с общими принципами построения и технической реализацией автоматизированной системы управления процессом производства смол.

Структура учебного пособия

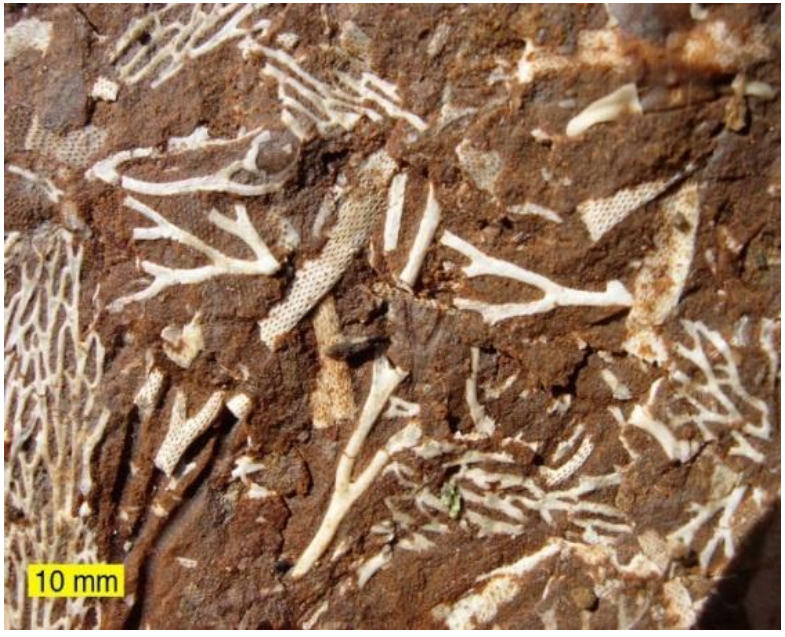
Учебное пособие состоит из трёх глав.

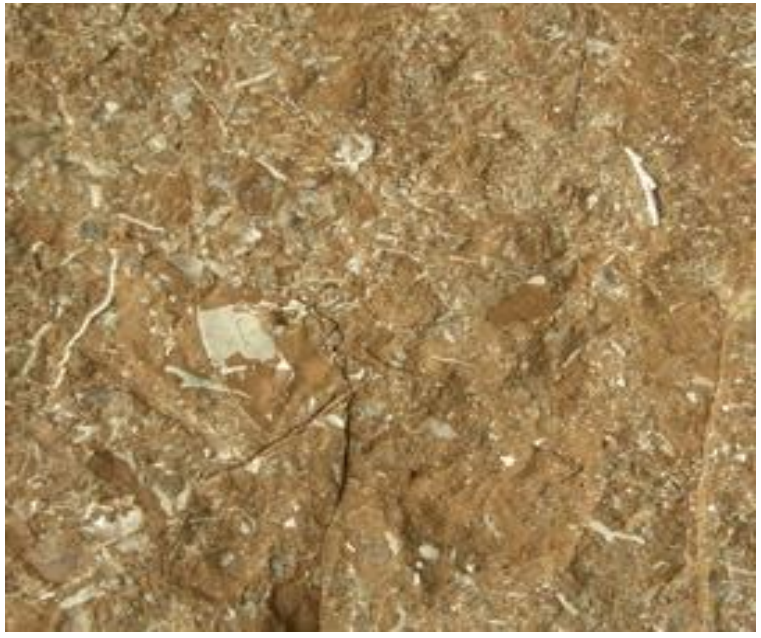
В первой главе приведены основные характеристики горючего сланца-кукерсита. Рассмотрен механизм термической деструкции сланца и описаны основные технологические факторы, влияющие на процесс переработки горючего сланца в генераторе.

Показан принцип действия и конструкция газогенераторов крупнокускового сланца-кукерсита.

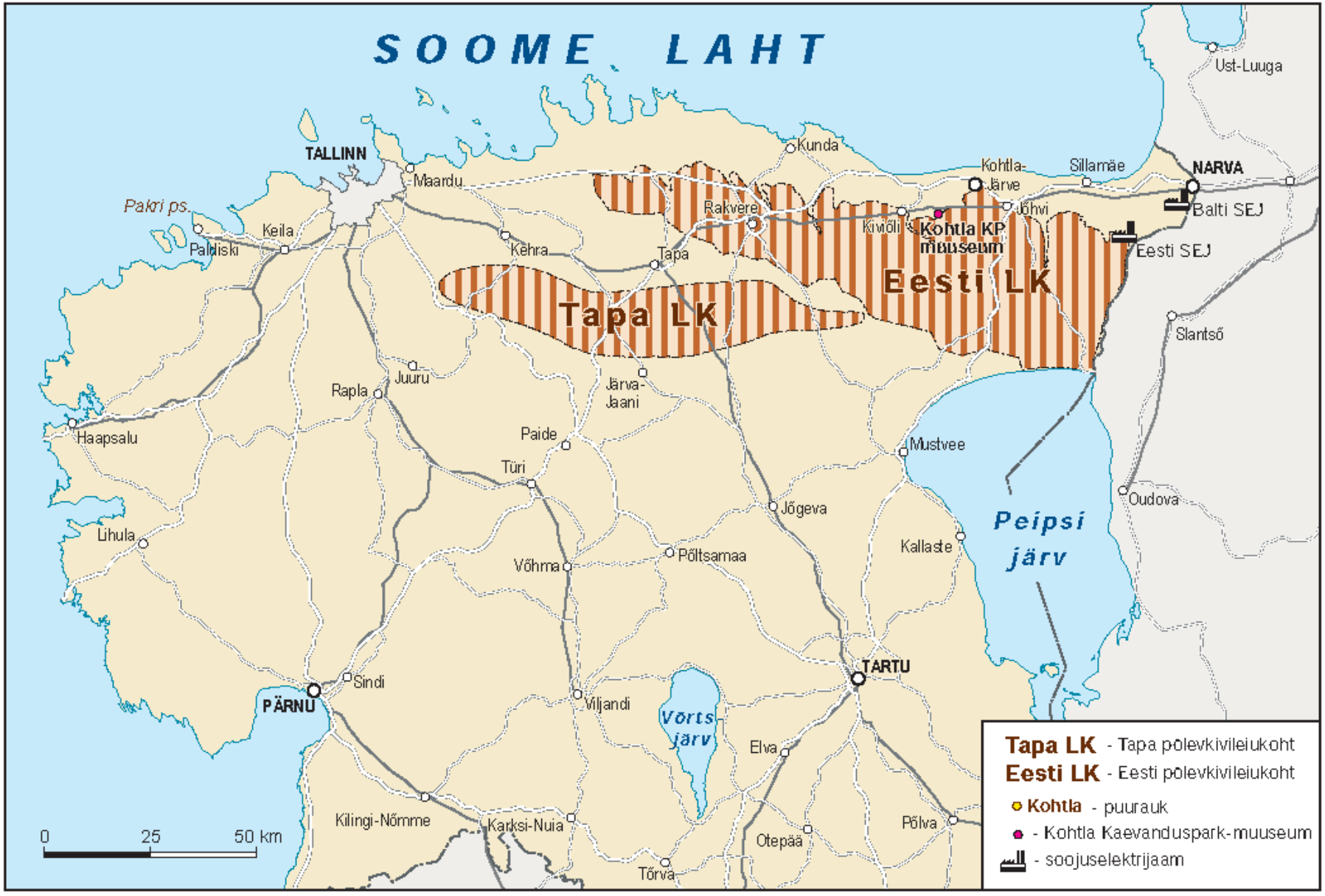
В главе обобщены результаты исследований генераторного процесса, которые были изложены в специальных изданиях.

Глава 1. Общие сведения о технологии термической переработки горючего сланца





Месторождения сланца в Эстонии. Eesti LK – Эстонское месторождение; Tapa LK – Тапаское месторождение. [5]



Понятие горючих сланцев

С термином «горючие сланцы» более правильно связывать понятие об особом виде фоссильного топлива, содержащем органическую горючую составляющую - кероген.
***Кукерсит* является одним из лучших по содержанию керогена горючих сланцев в мире.**

Эмпирическая формула керогена кукерсита *имеет вид*
$C_{421}H_{638}O_{44}S_4NCl$,
В элементном составе керогена должно быть,
%: C - 76,9 **, H - 9,7 ; O - 10,7 , S - 1,9 , N - 0,2 , Cl - 0,5 и атомное отношение H / C -1,515.**

Физико-химические свойства горных пород сланцевой залежи Прибалтийского бассейна.

Показатели	Средние значения по породам	
	горючий сланец	известняк
Плотность, кг/м^3		
Действительная	1860	2520
Кажущаяся	1510	2310
Пористость, %	19	10
Средняя прочность на сжатие пород, МПа		
Сухие	24	75
При естественной влажности	29	70

Технические характеристики горючего сланца в Эстонии.

Наименование	Обозначение	Результат
Влагосодержание	W^p_c	12,40%
Органическая часть	O^p_c	25,50%
Пиритная сера	S^p_{kl}	1,10%
Углерод	$(CO_2)^p_k$	20,00%
Зола	A^p_c	42,10%
Горная масса	G^p_c	26,60%
Калорийность рабочего сланца	Q^p_c	2000 ккал/кг

Кинетика термического разложения кукерсита

$$\text{Кероген} \xrightarrow{K_1} \text{термобитум} \xrightarrow{K_2} \text{летучие вещества.}$$

$$\downarrow K_3 \qquad \downarrow K_4$$

Летучие вещества. Твёрдый остаток.

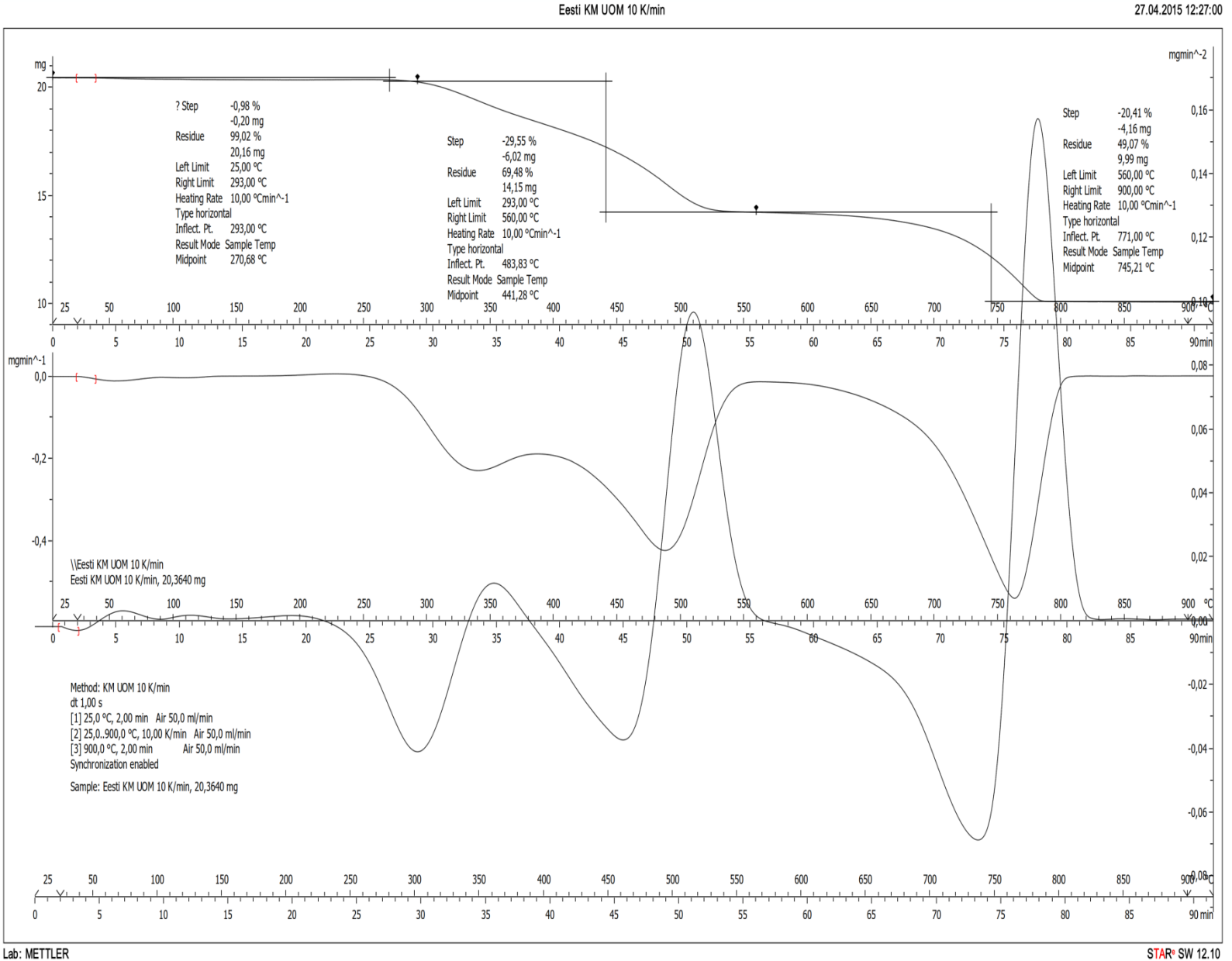
Суммарная константа скорости реакции разложения керогена $K=K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$. Энергия активации образования летучих веществ температур 275-350°С равной 62.1 ккал/мол. В результате найдено уравнение, связывающее константу К с температурой реакции Т и степенью разложения х.

$$\text{Lg } K = 21.36 - (62100/4.56 \cdot T) - 0{,}0189x$$

Термогравиметрия

- метод термического анализа, при котором регистрируется изменение массы образца в зависимости от температуры. В результате анализа на приборе – получают:
- термогравиметрическую кривую (ТГ кривая**)**,
- дифференциальную термогравиметрическую кривую (ДТГ кривая)
- дифференциально-дифференциальную термогравиметрическую кривую **(**ДДТГ кривая).

ТГ, ДТГ и ДДТГ- кривые эстонского кукерсита

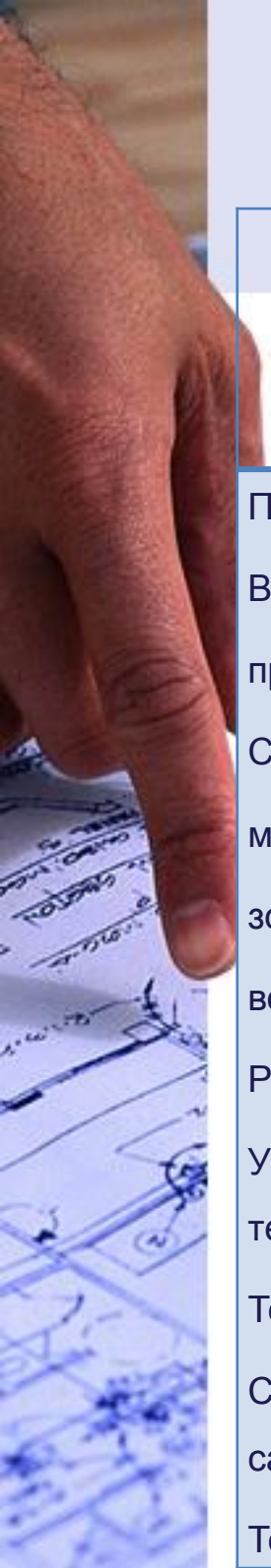


Баланс продуктов термического разложения сухого сланца

Продукты	В расчёте на сланец		В расчёте на кероген	
	кг/кг	**%**	кг/кг	**%**
Смола	0,214	21,4	0,67	**67,0**
Газ	0,032	3,2	0,10	**10,0**
Пирогенная вода	0,016	1,6	0,05	**5,0**
Твердый остаток	0,738	73,8	0,18	**18,0**
Итого	1,000	100,0	1,000	100,0

Стадии процесса

- На дериватограмме ТГ термической деструкции сланцев можно выделить три стадии разложения:
- процесс сушки – испарение влаги;
- разложение органического вещества горючего сланца;
- период изменения состава минеральной части сланца, соответствующий содержанию карбонатной углекислоты.



Показатели качества генераторной смолы

Показателя	Тяжелая смола на установку подготовки	Средняя смола	Легкосредняя смола на установку подготовки
Плотность при 20 °С, кг/м^3	1050	1010	1008
Вязкость, с Ст, при 50 °С	220	70	54
при 100 °С	18	10	7
Содержание, % вес.:			
механические примеси	8	0,8	0,7
золы	4	0,3	0,3
воды	-	5	3,7
Рабочая температура, °С	80 – 130	90 – 70	80 – 50
Упругость паров при рабочей температуре, Па (мм. Рт. Ст.)	267 (2)	267 (2)	400 (3)
Температура вспышки, °С	150	110	90
Стандартная температура самовоспламенения, °С	415	-	388
Температура застывания, °С	0	-18	-19

Состав генераторного газа

Компоненты газа	Объёмный %
CO_2+H_2S	18,6
C_nH_{2n}	0,8
O_2	0,5
CO	5,7
H_2	4,4
C_nH_{2n+2}	2,3
N_2	67,7
Содержание H_2S,г/м^3	6,5

Теплота сгорания генераторного газа

- Теплота сгорания генераторного газа (без учёта газового бензина)
- $Q_{b,}$кДж/м^3 3070
- $Q_{n,}$кДж/м^3 2810
- Q_b,ккал/м^3 735
- Q_n ккал/м^3 670
- Теплота сгорания учётом с газовым бензином, кДж/м^3 (ккал/м^3) при 20°С :

Q_B 3977 (950) Q_B 3559 (850)

Подсмольная вода

- Содержание солей, мг/л 100 – 200
- Суммарных фенолов, г/л 2 – 4
- Смолы, г/л до 1
- pH 2,5 – 3,5
- Физико-химические константы подсмольной воды принимаются, как для обычной воды.

Термическая переработка кускового горючего сланца

- Для обозначения низкотемпературной (до 500-550˚С) переработки горючего сланца наиболее приемлем термин «полукоксование».
- Именно термин полукоксование целесообразно использовать, когда характеризуют выход первичной смолы (суммарного жидкого пиролизата) из сланца в стандартной лабораторной (алюминиевой) реторте (метод называют «по Фишеру»).

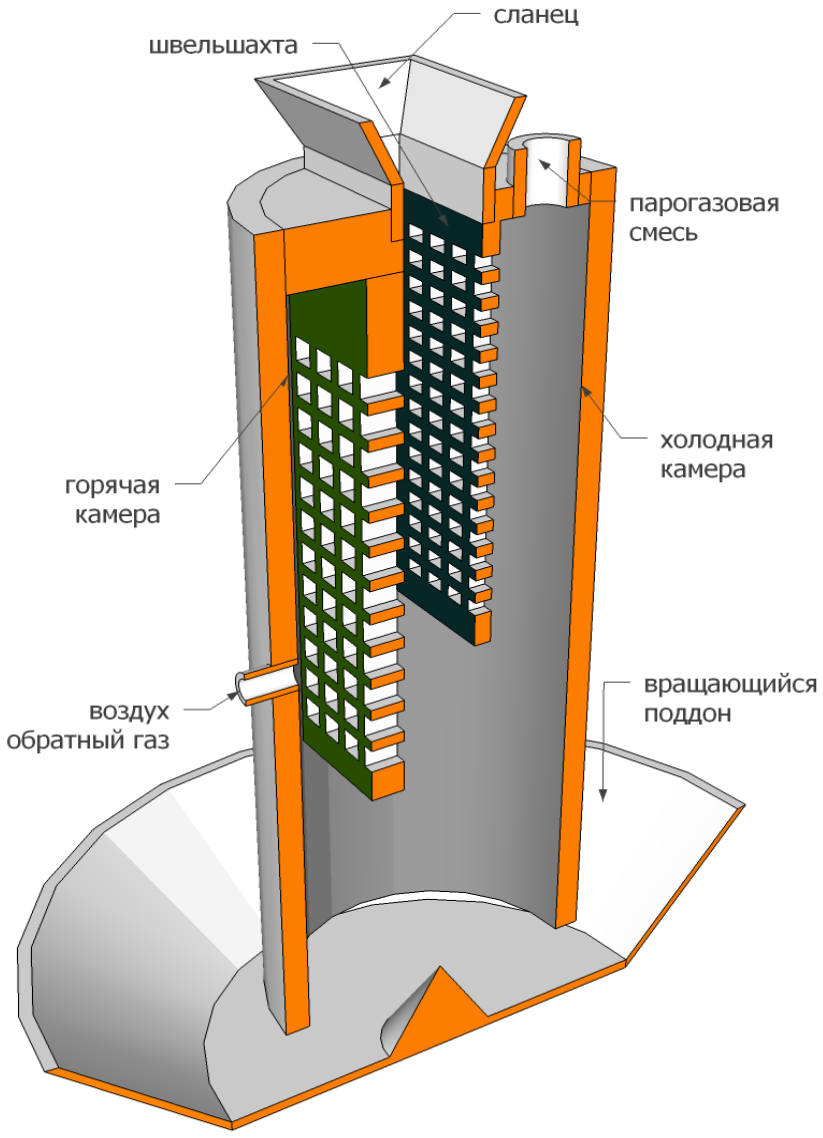
Особенности термической переработки горючего сланца

- 1. Нагреванию подвергается не только органическая составляющая сланца- кероген, но и минеральная составляющая горючих сланцев.
- 2. Вторым решающим обстоятельством является гранулометрический состав сырья.. Размер кусков определяет и скорость нагрева сланца.

Немного о терминологии

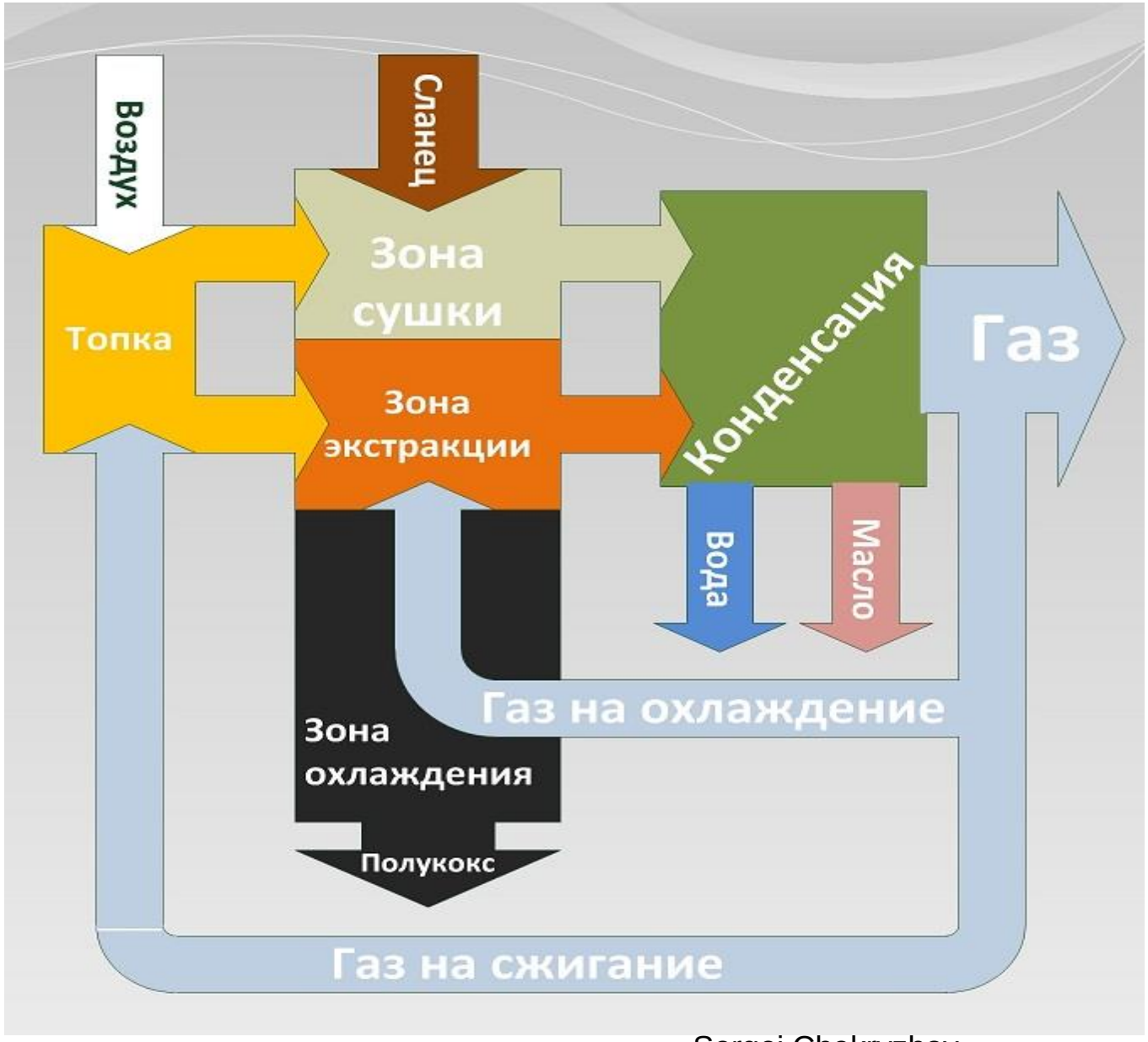
- Для термической переработки крупнокускового горючего сланца в Эстонии применяют «газогенераторы». Однако название «газогенератор» применительно к этому агрегату является неверным.
- Это название – чисто традиционное, которое связано со сходством первых промышленных агрегатов.
- Любой альтернативный вариант названия: «сланцеперегонный генератор», «шахтный генератор», «сланцевый генератор (смолы)», «шахтная печь», «вертикальный ретортный генератор», «сланцеперегонная вертикальная печь» более точен.
- Более правильным названием этого агрегата,был бы термин « шахтная печь (вертикальная реторта) для полукоксования горючего сланца» или «генератор сланцевый (смолы)».

Конструкция генераторов

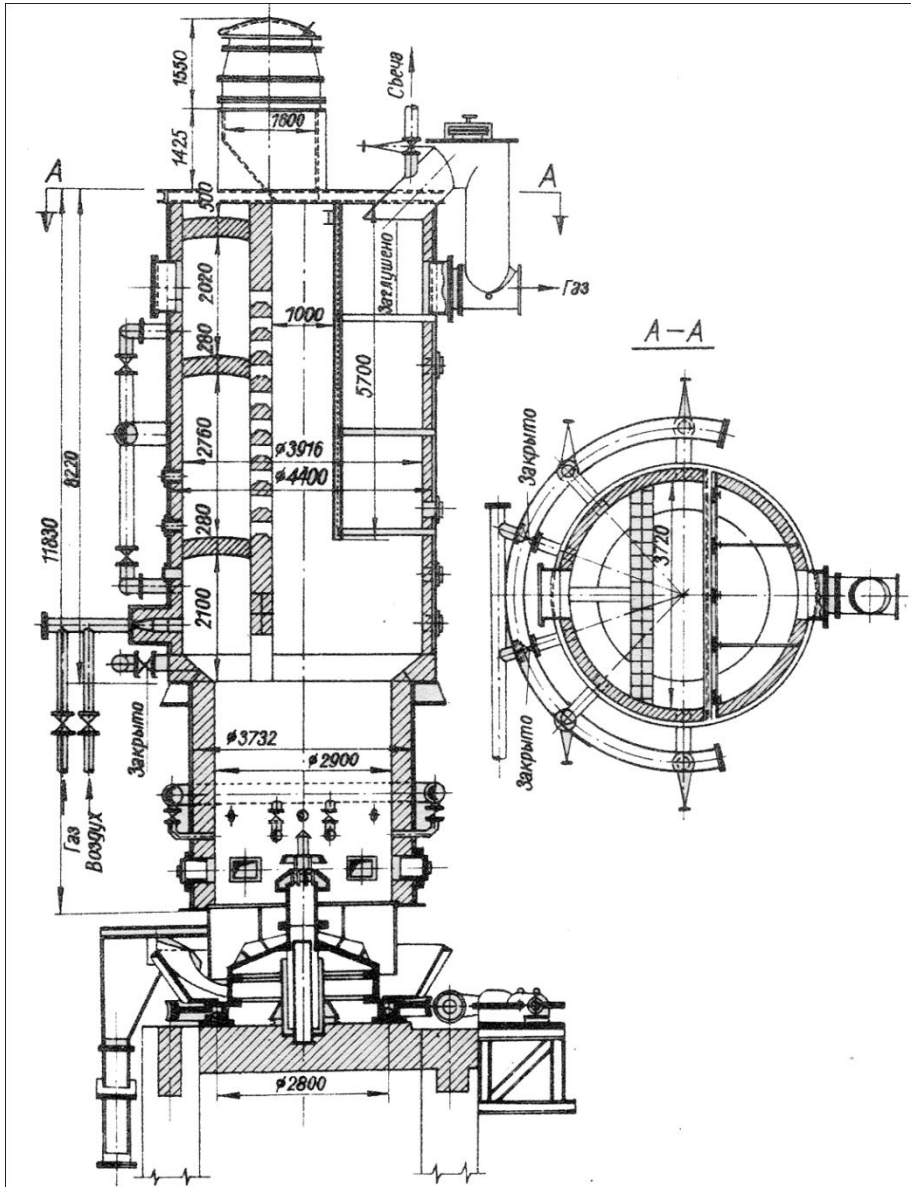


Все современные сланцевые генераторы представляют собой вертикальную печь в металлическом цилиндрическом корпусе, изнутри футерованном огнеупорным кирпичом и разделенный на три части вертикальными решетками горячую камеру, швельшахту и холодную камеру. Сверху швельшахты находится загрузочное устройство, внизу – механизм выгрузки полукокса.

Схема материальных потоков генератора сланцевой смолы

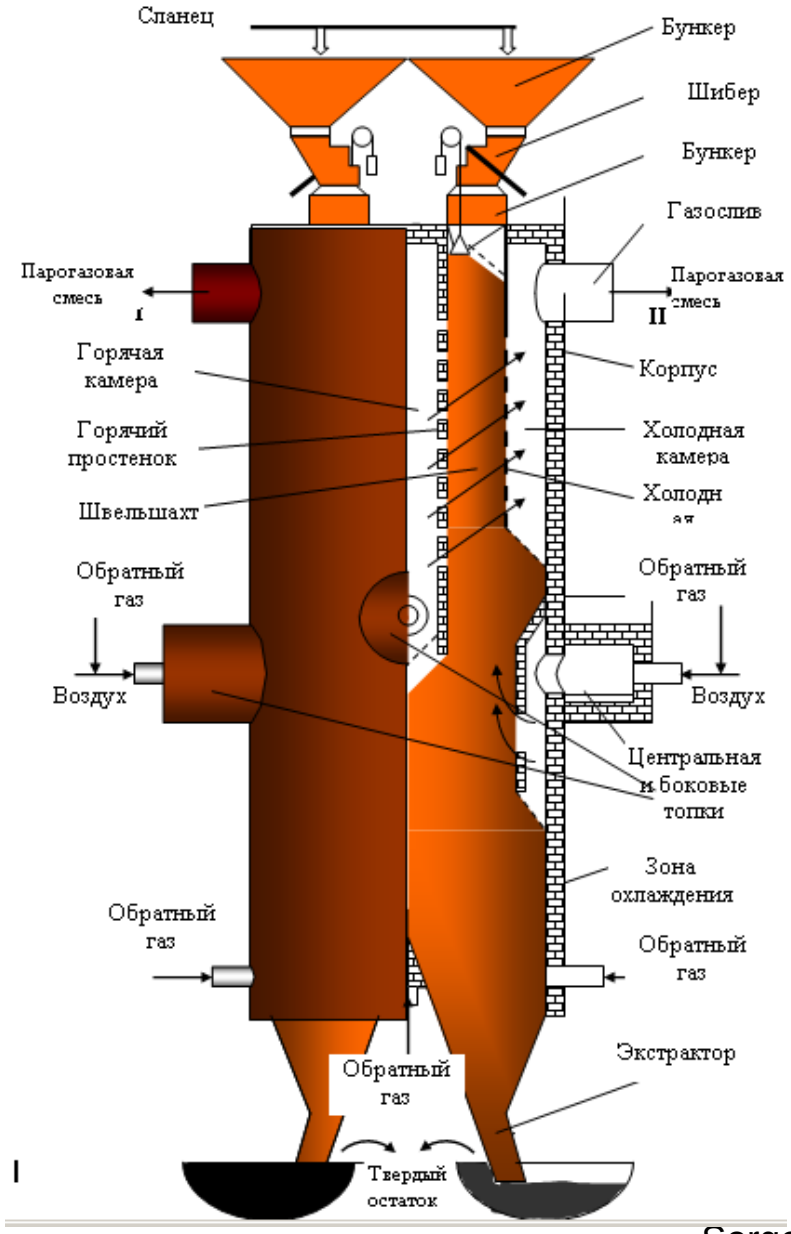


Принципиальная схема 200-тонного генератора с поперечным потоком теплоносителя.



I - сланец;
II- воздух;
III – генераторный (обратный)газ;
IV- паровоздушная смесь;
V – парогазовая смесь;
VI – коксозольный остаток.

Принципиальная конструкция 1000 - тонного генератора смолы



Материальный баланс 40-тонного генератора в расчёте на 1 ч работы

Приход		Расход	
Исходный вещества	Масса, кг	Конечные продукты	Масса, кг
Сланец сухой	1500	Газ сухой	2340
Влага сланца	167	Газбензин	45
Воздух на дутьё	323	Пары смолы	306
Водяной пар на дутьё	8	Коксозольный остаток сухой	423
Обратный газ сухой	1300	Водяной пар	246
Газбензин	25		
Влага газа	37		
Всего	3360	Всего	3360

Материальный баланс процесса Kiviter -1000 тонного генератора

Наименование статей	кг/т сланца	тыс. т. год	%
Приход			
Сланец сухой	900	3022,2	34,5
Влага сланца	100	395,8	3,3
Воздух сухой, 339 $м^3$/т, γ = 1,21 кг/$м^3$	410	1376,8	15,7
Влага воздуха, 339 × 8	3	10,1	0,1
Обратный газ сухой, 905 $м^3$/т, γ = 1,21	1095	3677,0	41,9
кг/$м^3$	53	178,0	2,0
Влага обратного газа, 905 × 59	23	77,2	0,9
Газбензин и смола обратного газа, 905,25	30	100,7	1,1
Вода из Экстрактора			
Всего	2614	8777,8	100,0

Материальный баланс процесса Кивитер - 1000 тонного генератора

Расход			
Смола безводная	179	601,1	6,8
в т. ч. Товарная	(175)	(587,8)	0,3
фусов	(4)	(13,9)	0,3
Влага смолы и фусов	7	23,5	19,0
Механические примеси смолы и фусов	5	16,8	0,9
Газ генераторный сухой, 410 м^3/т, γ = 1,21 кг/м^3	496	1665,6	0,4
Влага газа, 410 × 59	24	80,6	41,9
Газбензин и смола газа, 410 × 25	10	33,6	2,0
Обратный газ сухой, 905 м^3/т, γ = 1,21 кг/м^3	1095	3677,0	0,9
Влага обратного газа, 905 × 59	53	178,0	6,2
Газбензин и смола обратного газа, 905 ×25	23	77,2	21,4
Подсмольная вода	162	544,0	
Твердый остаток сухой	560	1880,4	
Всего	2614	8777,8	100,0

Баланс химического тепла

Наименование статей	кДж	%
Приход		
Сланец, 0,9 кг × 13188 кДж/кг	11870	100,0
Итого	11870	100,0
Расход		
Смола, 0,175 кг × 39565 кДж/кг	6924	58,3
Газ с газбензином 0,41 м^3× 3977 кДж/м^3	1631	13,7
Всего в полезных продуктах	8555	72,0
Твердый остаток 0,56 кг × 2973 кДж/кг	1665	14,1
Затраты на процесс и потери (по разности)	1650	13,9
Итого	11870	100,0

Технологические факторы влияния на процесс полукоксования

На процесс термической переработки твердых топлив оказвают влияние следующие факторы:

- природа топлива;
- температура процесса;
- скорость нагрева частиц топлива;
- размер частиц топлива;
- давление.

Этапы термической деструкции керогена горючего сланца

Температура, °C	Процесс
100…105	Выделение механически связанной воды
170…180	Выделяются газы адсорбированные в сланце
270…290	Выделение пирогенетической воды, CO_2 и SO_2
325…350	Начало выделения смолы и углеводородных газов
325…390	Образование термобитума
420…450	Активная точка термического разложения
450…500	Полукоксования заканчивается, остаётся полукокс
>500	Вторичные процессы пиролиза продуктов полукоксования

Температурный режим полукоксования

- Генераторный процесс является сложным взаимосвязанным процессом, когда в одном аппарате со сланцем последовательно проходят тепловые процессы :
- нагревания,
- сушки,
- термического разложения (полукоксования)
- газификации ,
- теплообмена ,
- охлаждения.

Температурный режим

Температурный режим генераторов характеризуется :

- температурой теплоносителя,
- температурой в шахте полукоксования,
- температурой парогазовой смеси на выходе из газогенератора (температура в газосливе)

и определяет тепловые условия полукоксования сланца.

Температурный режим зависит от соотношения расходов теплоносителя и сланца и от действия возмущений.

Температурный режим полукоксования

- Максимальный выход смолы наблюдается при температуре внешней среды 500—600° С. Переработка при температурах выше и ниже этого значения приводит к понижению выхода жидких продуктов. Снижение выхода при высоких температурах сопровождается увеличением степени ее уплотнения и возрастанием выхода газа.
- Компоненты первичной парогазовой смеси термолабильны и склонны к дальнейшим термическим превращениям .
- Отсюда следует правило: ускорение эвакуации паро-газовой смеси из зоны высоких температур повышает выход смолы.
-

Влияние температурного режима

- Условия термического разложения можно характеризовать удельным расходом тепла на процесс или на тонну сланца.
- Для полукоксования сланца в генераторах удельный расход тепла составляет 1050-1130 кДж/кг.
- Расход тепла косвенно можно оценить удельным расходом воздуха, подаваемого на процесс, который составляет на основе опытных данных 400 $м^3$ на тонну перерабатываемого сланца.

Влияние температурного режима

- Слишком высокая температура в газосливе приводит к потерям смолы в результате вторичного пиролиза, образованию кокса и увеличению тепловой нагрузки на отделение конденсации.
- Температуру в газосливе регулируют изменением скорости выгрузки.

Влияние скорости золоудаления

- Скорость выгрузки коксозольного остатка (золоудаления), является важным управляющим воздействием.
- При высокой скорости выгрузки время нахождения куска сланца в генераторе сокращается и он не успевает нагреться до температуры разложения.
- В результате коксозольный остаток становится «сырым», то есть в нем присутствуют неразложившиеся куски сланца, при этом температура парогазовой смеси в газосливе уменьшается.

Основные возмущения процесса

В качестве возмущений выступают:

- останов системы золоудаления,
- отказ загрузочного устройства,
- изменение характеристик сланца.
- В случае первого возмущения прекращается выгрузка золы из генератора; если в этом случае не снизить расход теплоносителя, то возможны значительные перегревы в шахте полукоксования.
- При отказе загрузочного устройства сланец не поступает в генератор. В этом случае необходимо прекращать выгрузку полукокса, иначе горячий теплоноситель пойдет в конденсационную систему

Влияние разряжения в барильете

- Показатель разряжения в барильете для 200-тонного генератора составляет 1500 Па или 150 мм вод.ст.
- При более низком разряжении генератор начинает «газить», при увеличении разряжения увеличивается скорость теплоносителя, увеличивается унос пыли, а также подсос воздуха через неплотности, что также увеличивает нагрузку на конденсационную систему.
- Для снижения выбросов уменьшают расходы газа и воздуха в генератор.

Информационная характеристика процесса

- **Газовый режим** характеризуется значениями расходов, давлений и разрежений в различных точках генераторов и конденсационной системы и определяется количеством подаваемого в генераторы теплоносителя, а также степенью потребления генераторного газа другими установками.
- Основным возмущением является неравномерное потребление побочного продукта - генераторного газа.

Информационная характеристика процесса

- При уменьшении потребления генераторного газа начинает расти давление в шахте полукоксования и в газификаторе. В этом случае необходимо сразу же снижать расходы теплоносителя на газогенераторы, чтобы установить новое соотношение между входами и выходом установки.
- Это соотношение определяется новым значением выхода (потребления генераторного газа) и технологическими регламентными нормами на величину параметров газового режима – давлений и разрежений в системе.

ГЛАВА 2. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ СЛАНЦЕВЫМ ГЕНЕРАТОРОМ

Во второй главе рассмотрены общие принципы автоматизированного управления сланцевым генератором.

- На основе анализа процессов, проходящих в основных узлах генератора, показана их сильная взаимосвязь и взаимозависимость.
- Выявлены основные управляющие и возмущающие параметры, которые позволяют оценивать состояние генератора и целенаправленно управлять им.
- Сформулирована задача управления процессом, которая сводится к задаче управления всей генераторной станцией и управлением отдельным генератором.
- Показано, что обе эти задачи относительно инвариантны, что дает возможность произвести декомпозицию общей задачи управления генераторной станции на локальные подзадачи. Координация выявленных локальных задач управления обеспечивает и выполнение целевой функции процесса – увеличением выхода сланцевой смолы.

Постановка задачи управления

- Для решения задач автоматизированного управления генераторной станцией необходимо было провести:
- исследование температурного режима отдельных генераторов в статическом режиме;
- исследование газового режима генераторной станции как единого технологического комплекса также в статическом режиме;
- обеспечить координацию этих двух задач в рамках иерархической системы управления статическим режимом работы генераторной станции;
- исследование и оптимизация температурного режима генераторов в динамических режимах.
- Задача управления всей генераторной установкой оказалась более важной, чем управление отдельным генератором.
- Однако еще более важным вопросом явилась увязка этих задач, которые тесно друг с другом взаимосвязаны.

Анализ системы управления генераторной станцией

- Началом интенсивных исследований принципов управления термической переработки сланца в генераторах послужило решение о создании АСУТП генераторной станцией в начале 70-х годов прошлого века.
- Управляющая вычислительная машина (УВМ–УМ-1) была поставлена на установке переработки сланца (ГГС-5) в Кохтла–Ярве в 1974 году.
- АСУТП ГГС-5 была первой в сланцевой промышленности системой, которая решала задачи управления процессом с помощью УВМ в реальном масштабе времени

Выходные параметры процесса

- В качестве выходов объекта управления-генератора будем рассматривать выходы целевых продуктов:
- $G_{см}$– количество выпускаемой сланцевой смолы (основной целевой продукт);
- $G_{фв}$ - количество получаемой фенольной воды (побочный целевой продукт);
- $G_{ген}$ - количество генераторного газа (побочный целевой продукт).

Вектор управлений процессом

- Вектор управлений для всей установки складывается из компонент векторов управлений U^i для каждого *i* генератора:
- - расход обратного газа;
- - расход воздуха на горение;
- - расход воздуха на дутье;
- - расход сланца.

Вектор состояний генератора

Вектор состояний для отдельного генератора имеет компоненты:

- - расход теплоносителя;
- - температура теплоносителя;
- - температура в газосливе;
- - температура в горячей камере;
- - давление воздуха на дутье;
- - разрежение в газосливе.

Вектор возмущений процесса

- Вектор возмущений $F = F^j$, $j = 1, 2, 3$ включает следующие компоненты:
- F^1-изменение потребления генераторного газа;
- F^2 – остановка системы золоудаления;
- F^3 – изменение характеристик сланца по калорийности, крупности, влажности.

Ограничения на управления по расходу теплоносителя:

$$G_{г}^{i} \geq G_{г}^{\min} \qquad G_{г3}^{i} \geq G_{г3}^{i\min}$$

Ограничения на переменные состояния:

$$T_{T}^{i\min} \leq T_{T}^{i} \leq T_{T}^{i\max} \qquad T_{г}^{i\min} \leq T_{г}^{i} \leq T_{г}^{i\max} \qquad P_{k}^{i} \leq P_{k}^{i\max} \qquad P_{г}^{i} \leq P_{г}^{i\min} \qquad P_{\partial}^{i} \leq P_{\partial}^{i\max}$$

- Выше перечисленные переменные и ограничения в совокупности определяет информационную структуру объекта управления.

Обоснование иерархической структуры управления

- Газовый режим всей системы почти не зависит от температурного режима каждого генератора и наоборот, газовый режим в значительной степени влияет на температурный.
- Это обстоятельство обуславливает , что управление газовым режимом является центральной задачей и соответствует более высокому уровню в иерархической структуре управляющего алгоритма, а управление температурным режимом генератора является локальной задачей и соответствует более низкому уровню.

Система с иерархической структурой включает пять подсистем

- подсистема управления газовым режимом всей станции;
- подсистемы реализации оптимального режима (координирующая);
- подситема управления скоростью движения сланцезольной массы;
- подсистема управления режимом теплоносителя;
- подсистемы управления температурным режимом .

Структура иерархической системы управления газогенераторной станцией

ГЛАВА 3. ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АСУТП ПРОИЗВОДСТВА СЛАНЦЕВЫХ СМОЛ

В третьей главе рассмотрены вопросы технической реализации автоматизированной системы управления ГГС-5 VKG Oil Кохтла-Ярве Эстония.

Представлена структура и архитектура комплекса технических средств АСУТП действующего производства,

технический и программный интерфейсы,

система визуализации процесса.

История создания АСУТП ГГС-5

- Управляющая вычислительная машина (УВМ–УМ-1) была поставлена на установке переработки сланца (ГГС-5) в Кохтла–Ярве в 1974 году.
- АСУТП ГГС-5 была первой в сланцевой промышленности системой, которая решала задачи управления процессом с помощью УВМ в реальном масштабе времени [46].
- Первоначально АСУТП производства сланцевых смол выглядела как двухуровневая система,в которой нижний уровень отвечал за сбор информации, а верхний - за принятие решения.
- АСУТП создавалась путем объединения существующей системы контрольно-измерительных приборов , контурами автоматического регулирования и УВМ, причем оператор становился одновременно и оператором УВМ и диспетчером

История создания АСУТП ГГС-5

- В 2004 году управляющая система ГГС-5 была полностью модернизирована.
- Был осуществлён переход от централизованной к распределенной системе управления (DCS): 12 программируемых контроллеров Wincon 873).
- Для визуализации использовалась Scada система TraceMode [58]. Компьютеры и контроллеры обменивались информацией по сети Ethernet.

Архитектура системы управления ГГС 5

- В настоящее время в системе управления генераторной станцией используется горизонтальная объектная декомпозиция, когда каждый объект автоматизации (генератор) оборудован локальным технологическим контроллером, решающим задачи в пределах этого объекта.
- Для координации взаимодействий объектов реализована иерархическая структура управления.

Полевые средства контроля процессом

На каждом из шестнадцати генераторов по месту расположены следующие *средства контроля*: датчик разрежения в газосливе,

- термопара температуры в газосливе,
- термопара температуры горячей камеры,
- измерительные узел расходов воздуха на горение в основную горячую камеру,
- газа на горение в основную горячую камеру,
- газа на охлаждение,
- газа на дутье,
- датчик уровнемера сланца в промежуточной коробке,
- датчик уровня воды в поддоне.

На генераторах с дополнительными боковыми топками так же установлены: термопара температуры в дополнительной боковой камере и измерительные узлы расходов воздуха и газа в дополнительную камеру.

Полевые средства контроля *регулирования* процессом

На каждом генераторе по месту расположены следующие *средства регулирования и управления*:

• регулирующие заслонки расходов воздуха на горение в основную горячую камеру,

•газа на горение в основную горячую камеру,

•газа на охлаждение в основную горячую камеру,

•газа на дутье;

система автоматического управления загрузками в зависимости от уровня сланца в промежуточной коробке;

•система включения и отключения электродвигателя насоса гидропривода поддона,

•регулирующая заслонка на линии заполнения поддона водой.

На генераторах с дополнительными боковыми камерами так же установлены регулирующие заслонки расходов воздуха и газа в дополнительную камеру.

Система второго уровня управления

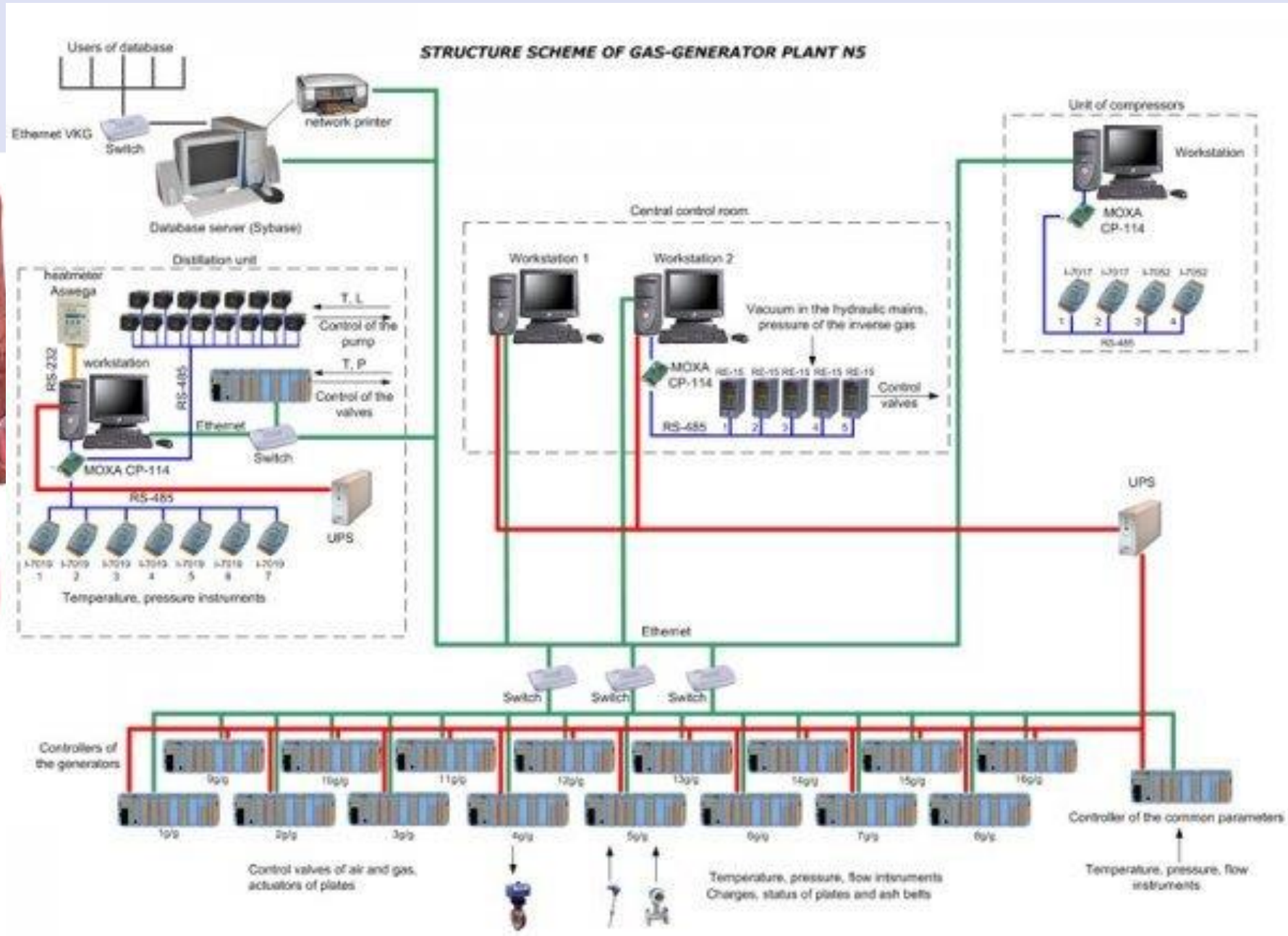
- На втором уровне системы АСУТП располагаются программируемые логические контроллеры (PLC) Wincon.
- На них возлагается задача сбора информации и автономного управления объектом в реальном масштабе времени. Большинство программных регуляторов реализуется в этих контроллерах.
- В настоящее время в системе АСУТП ГГС 5 используется 16 программируемых контроллеров Wincon, по одному на каждый из 16 генераторов. Один программируемый контроллер предназначен для управления зольными лентами и ещё один для контроля за общецеховыми и хозрасчетными параметрами.

Система второго уровня управления

- Каждый из контроллеров, управляющий процессом в генераторе, имеет стандартный набор модулей, рассчитанный на подключение 16 входных аналоговых параметров, 16 входных дискретных параметров, 8 выходных аналоговых параметров и 8 выходных дискретных параметров.
- Программы сбора и обработки параметров, регулирования и управления, выдачи управляющих воздействий одинаковы для этих 16 контролеров.
- Такой подход позволяет оперативно менять местами модули и контроллеры при возникновении различных нештатных ситуаций, связанных с нарушениями в работе датчиков, дискретных устройств и устройств питания.

Система второго уровня управления

- Отдельно и параллельно работает сеть из 20 контроллеров - электронных приборов ВТС-9300 и Honeyweel. Локальные сети этих контроллеров подключены к промышленным компьютерам станций оператора по интерфейсу RS485 Modbus.


STRUCTURE SCHEME OF GAS-GENERATOR PLANT N5
Users of database
Ethernet VKG
Switch
network printer
Database server (Sybase)
Distillation unit
heatmeter Asvega
RS-232
workstation
RS-485
T, L
Control of the pump
T, P
Control of the valves
Ethernet
Switch
MOXA CP-114
RS-485
UPS
Temperature, pressure instruments
Central control room
Workstation 1
Workstation 2
Vacuum in the hydraulic mains, pressure of the inverse gas
MOXA CP-114
RS-485
Control valves
Unit of compressors
Workstation
MOXA CP-114
RS-485
UPS
Ethernet
Switch
Switch
Switch
Controllers of the generators
Control valves of air and gas, actuators of plates
Temperature, pressure, flow intenuments
Charges, status of plates and ash belts
Controller of the common parameters
Temperature, pressure, flow instruments

Программные технологии и интерфейсы системы

- В системе управления станцией ГГ5 для контроллеров используется два программных продукта.
- Один распространенный комплекс разработки SoftLogic-ISaGRAF. Фирма “ICPDAS” модернизировала систему ISaGRAFv под контроллеры WinCON 8000.
- Для реализации непрерывных алгоритмов аналоговой обработки данных и цифрового регулирования, использован язык функциональных блоков FBD.
- Другим пакетом программирования контроллеров для системы управления ГГС5 является программный пакет - инструментальная среда GoodHelp.
- Коммуникации между операторными станциями (промышленными компьютерами) и контроллерами, в том числе программируемыми, выполняются через последовательные интерфейсы. Связь с контроллерами и электронными регуляторами производится по интерфейсу RS-485. Связь с программируемыми логическими контроллерами (PLC) - по интерфейсу Ethernet.

Программные технологии и интерфейсы системы

- В средах (ISaGRAF и GoodHelp**)** разработки программ контроллеров предусмотрен обмен информацией со SCADA системами, через программную технологию «OPC», относящуюся к группе клиент/серверных технологий.
- Технология OPC определяет способ обмена данными между программами на PLC и внешними устройствами под управлением ОС Windows. Обмен информацией производится по интерфейсу Ethernet и основан на протоколах Modbus TCP/IP.
- SCADA система выступает в роли «OPC клиента».
- В системе АСУТП ГГС- 5 OPC- клиентом является SCADA «TraseMode».

Архитектура системы управления

Технологическая цепочка используемых программ и интерфейсов имеет следующую структуру:

- аналоговые и дискретные средства полевого уровня и интерфейс RS485 Modbus на уровне сбора информации и реализации управляющих воздействий.
- среды разработки и исполнительные среды ISaGRAF и GoodHelp, применяемые для разработки программ в контроллерах Wincon. **Система контроллеров является вторым уровнем в архитектуре системы управления ГГС.**
- интерфейсы RS485 и RS232 используются для загрузки скомпилированных объектов в исполнительную среду контроллеров. После компиляции программы пользователя работают в средах исполнения в каждом контроллере.
- Обмен информацией контроллеров с вышестоящим уровнем во время работы происходит по интерфейсу Ethernet. Используется витая пара и группа маршрутизаторов. Для работы с отдельно используемыми электроннными регуляторами применяется интерфейс RS485.

Архитектура системы управления

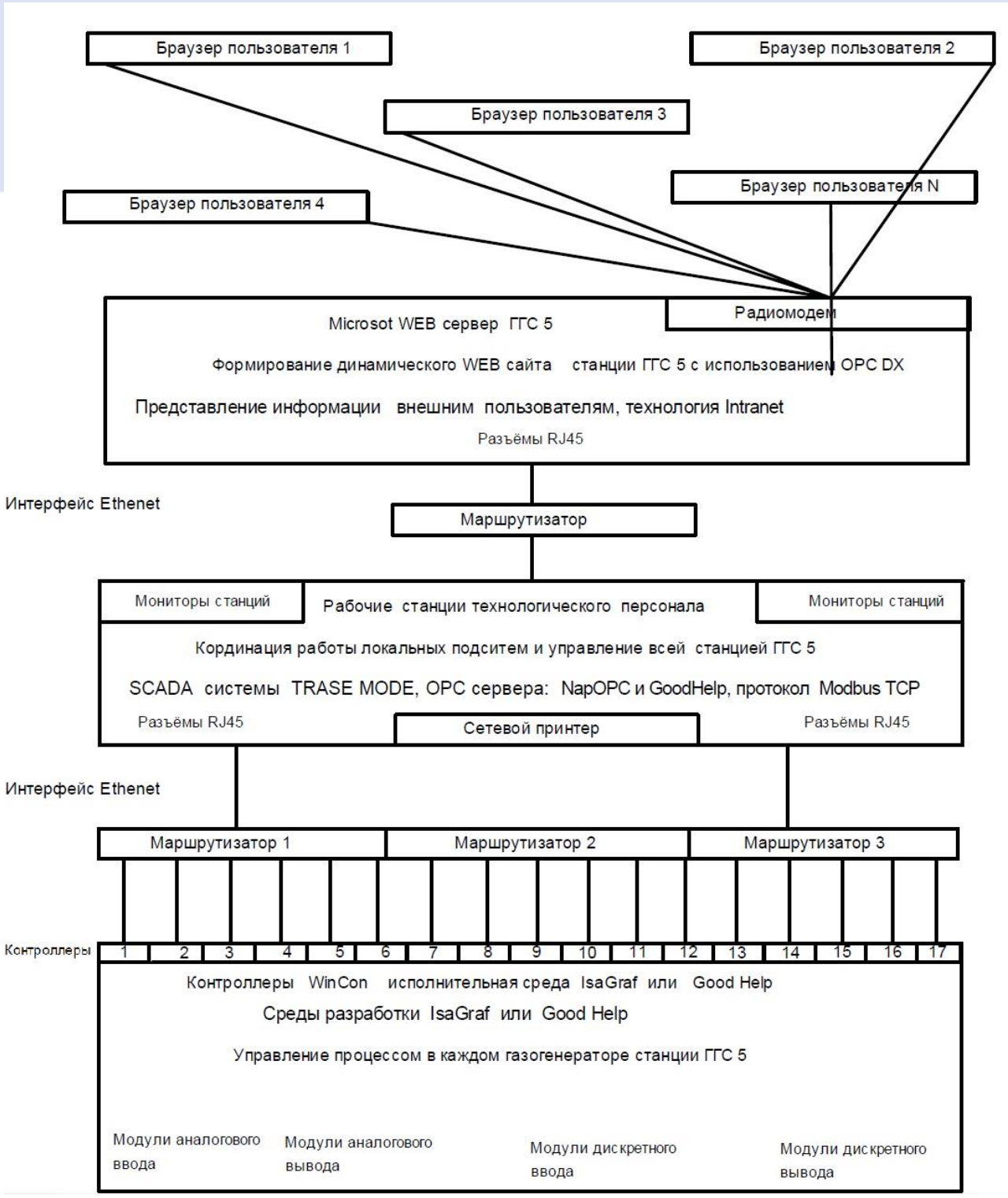
- К третьему уровню архитектуры относятся рабочие станции операторов технологического процесса. На этих станциях установлены SCADA системы «TraseMode», являющиеся «OPC клиентом» «OPC сервером» одновременно. SCADA системы обеспечивают «человеко машинный интерфейс» для связи технологического персонала и технологического процесса.
- Связь с программами в контроллерах обеспечивают OPC сервера NAPOPC и «OPC сервер GoodHelp». Эти программы поставлены Заказчику фирмами изготовителя контроллеров.
- Для вывода часовых, сменных и суточных рапортов из SCADA систем на принтер используется интерфейс USB и страницы, созданные редактором в формате HTML.

Архитектура системы управления

- К четвертому уровню архитектуры системы относится компьтер баз данных. На нем установлен Microsoft SQL Server, система управления реляционными базами данных. Построенная база технологических параметров ГГС обновляется периодически раз в минуту. Для передачи, информации в базу данных используется клиентская OPC программа, установленная на компьютере базы данных. Связь со SCADA системами осуществляется по интерфейсу Ethernet, по специальной сетевой карте. Программы приёма и обработки информации а базе данных MicroSoftSQL разработана работниками VKG.
- Другая сетевая карта предназначена для передачи информации на компьютер пятого уровня архитектуру системы контроля и управления генераторными станциями, где располагается WEB сервер. Программы передачи информации на динамические страницы технологического сайта, использующие MicroSoftWEB сервер, разработан работниками VKG. Здесь также используется интерфейс Ethernet.

Архитектура системы управления

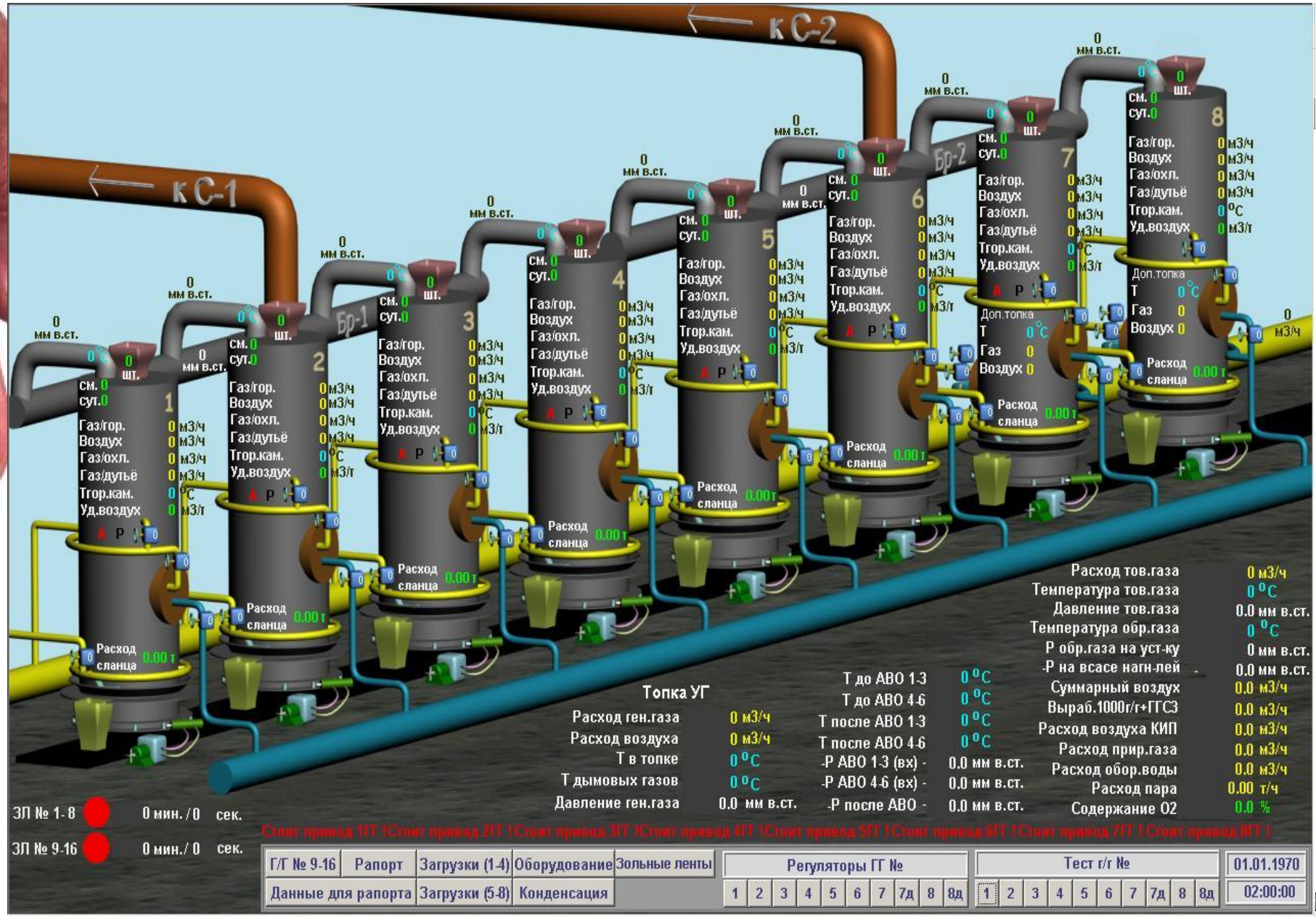
- Шестой уровень архитектуры системы, Intranet, составляют внешние пользователи. Они используют стандартные браузеры для подключения к WEB серверу ГГС.
- При отключении компьютеров управление процессом будут осуществлять контроллеры по заданиям, которые установлены на них на момент отключения. Структура АСУТП ГГС-5 позволяет проводить ее расширение и добавление новых элементов. На ЦПУ ГГС-5 так же имеется панель контроля и управления, на которой размещены контролеры для регулирования разрежения в барильетах, контроллеры и ключи управления дублирующей системы управления приводами поддонов и кнопки управления загрузками генераторов в ручном режиме.


Браузер пользователя 1
Браузер пользователя 2
Браузер пользователя 3
Браузер пользователя N
Браузер пользователя 4
Радиомодем
Microsot WEB сервер ГГС 5
Формирование динамического WEB сайта станции ГГС 5 с использованием OPC DX
Представление информации внешним пользователям, технология Intranet
Разъёмы RJ45
Интерфейс Ethenet
Маршрутизатор
Мониторы станций
Рабочие станции технологического персонала
Мониторы станций
Кординация работы локальных подситем и управление всей станцией ГГС 5
SCADA системы TRASE MODE, OPC сервера: NapOPC и GoodHelp, протокол Modbus TCP
Разъёмы RJ45
Сетевой принтер
Разъёмы RJ45
Интерфейс Ethenet
Маршрутизатор 1
Маршрутизатор 2
Маршрутизатор 3
Контроллеры
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17
Контроллеры WinCon исполнительная среда IsaGraf или Good Help
Среды разработки IsaGraf или Good Help
Управление процессом в каждом газогенераторе станции ГГС 5
Модули аналогового ввода
Модули аналогового вывода
Модули дискретного ввода
Модули дискретного вывода

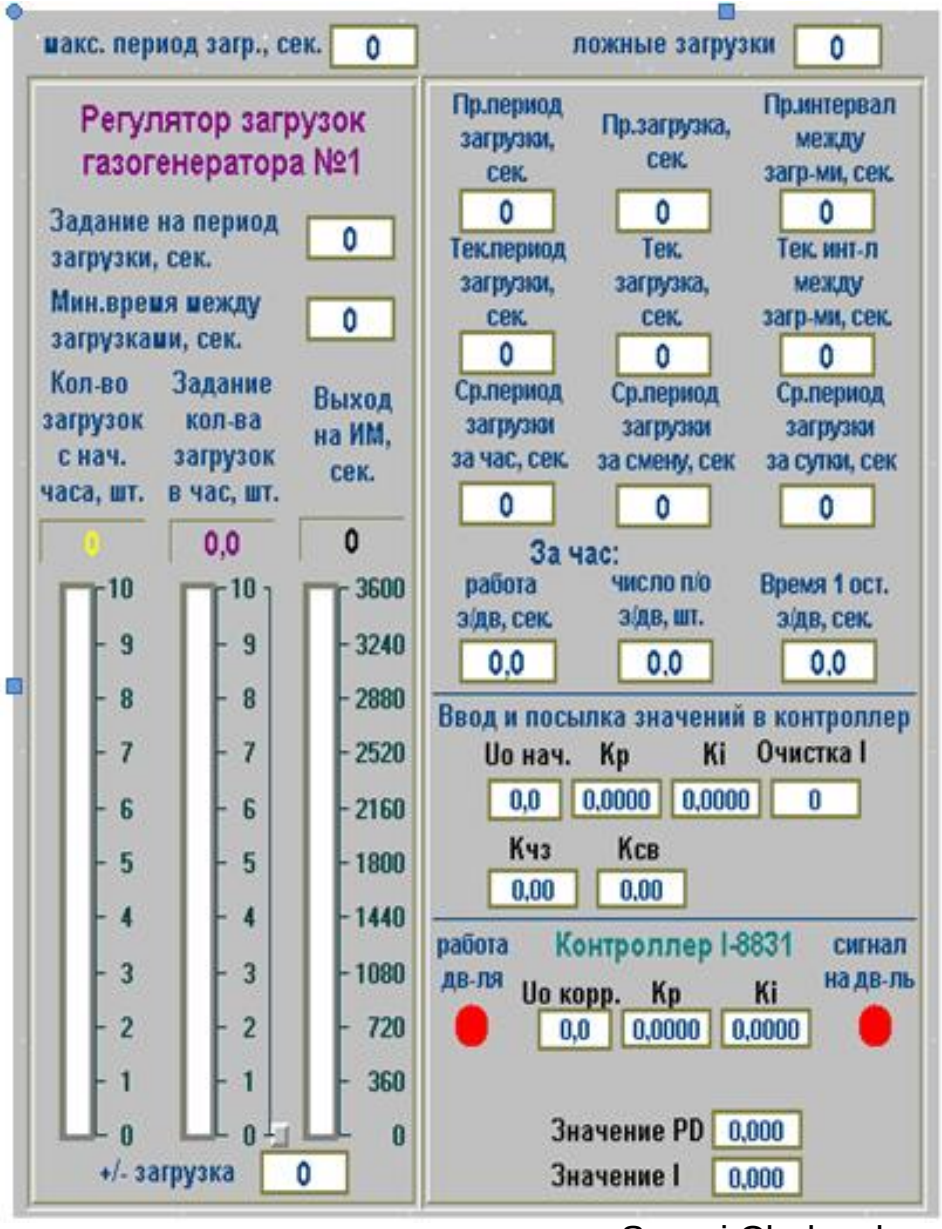
ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ (ВИЗУАЛИЗАЦИЯ) НА КОМПЬЮТЕРАХ

ЦПУ

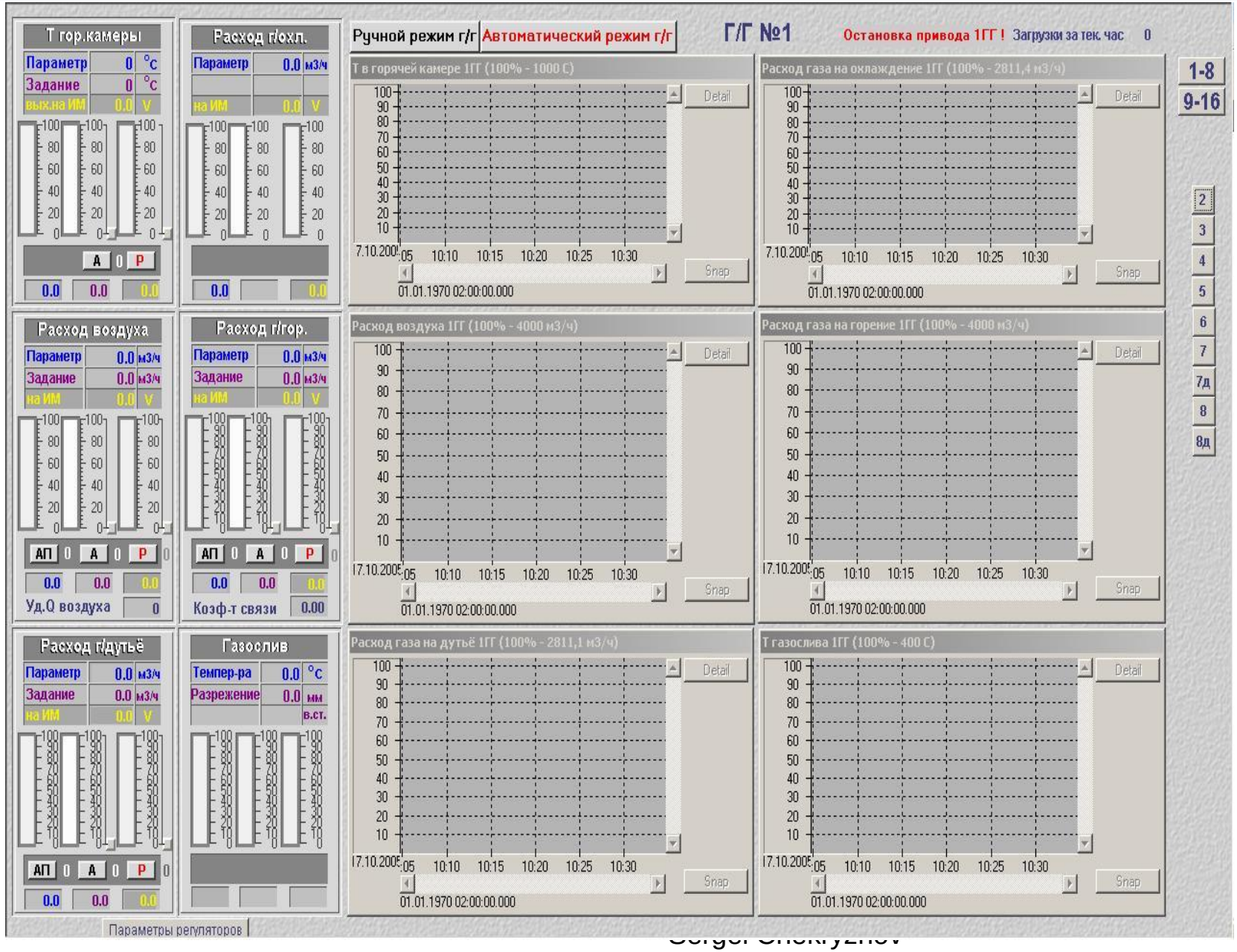
Основной экран оператора ЦПУ



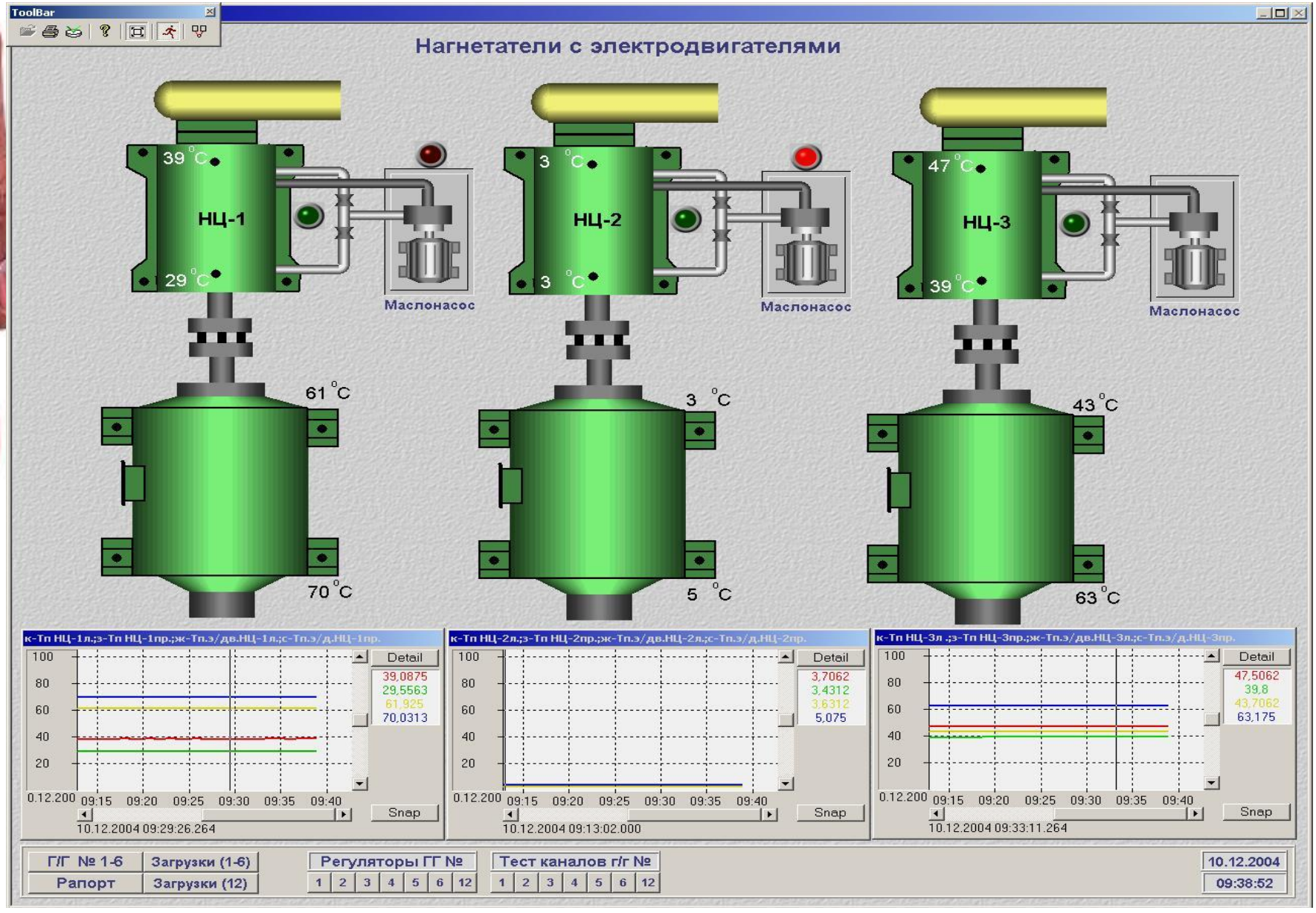
Регулятор загрузок генератора.



Экран регуляторов газогенератора.



Экран “Оборудование”



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Термическая переработка сланца в генераторах имеет почти столетнюю историю. В настоящий момент на VKG Oil успешно эксплуатируются генераторы разной производительности и построенные в разные годы. Эстония единственная в мире страна, которая обладает уникальным опытом промышленной переработки горючего сланца. Спроектированы и построены промышленные агрегаты ретортинга сланца и в первую очередь процесс “Kiviter”, который обладает патентной чистотой и интеллектуальной собственностью Эстонии. Подчеркнём, что генераторный процесс является наулучшей доступной технологией переработки крупнокускового сланца-кукерсита.

- Технический уровень современных технологий термической переработки горючего сланца во многом определяется уровнем их автоматизации и управления. В учебном пособии обобщены особенности термической переработки горючего сланца кукерсита в реторте-генераторе и сформулированы основные принципы и целевые задачи автоматизированной системы управления процессом производства смол, дано описание архитектуры комплекса технических средств, технического и программного интерфейсов и системы визуализации. Достаточно длительный опыт эксплуатации АСУТП производства сланцевых смол на VKG Oil с использованием технических средств разного поколения показал надёжность алгоритмов управления и системы в целом.

- Сланцевая реторта-генератор и генераторная станция в целом является многомерным объектом управления, в котором происходят распределенные в и связанные между собой процессы тепло- и массообмена, поэтому накопленный опыт по исследованию процесса и созданию автоматизированной системы управления имеет не только большое практическое, но научное значения для последующего совершенствования и создания принципиально новых агрегатов и систем управления термической переработки горючего сланца.

- Учебное пособие содержит 72 страницы,
- 15 рисунков и 11 таблиц.
- Указатель литературы даёт 59 ссылок на цитируемые источники.
- Каждая из трёх глав учебного пособия завершается вопросами самоконтроля , которые позволяют студенту оценить уровень усвоения материала.

Авторы