

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к протоколам измерений
Высокопрочные метизы



Летом 2010г. НИИ Мостов и наше предприятие (ООО «НПК ЭПТ») провели испытания высокопрочных болт-комплектов, произведённых ОАО «Мостовик». Фотография болт-комплекта представлена на рис. 1.

Работа по испытаниям крепёжных изделий инициирована Мостовой инспекцией ОАО «РАО РЖД». В г. Сочи на ряде олимпийских объектов были построены железнодорожные

мосты с применением высокопрочного крепежа ОАО «Мостовик». При расчётном сроке службы крепёжных изделий 50-60 лет, более 30% болтов пришлось заменить в течение первых трёх месяцев эксплуатации мостов из-за их полного разрушения (около 0,4% от расчётного ресурса).

При испытаниях выяснилось, что изделия с клеймом ОАО «Мостовик» изготовлены в Китае. Механические испытания комплектов из партий, использованных при сборке пролётов железнодорожных мостов, показали значительный разброс параметров.

Нашему предприятию было поручено исследовать содержание водорода в различных частях болтов, гаек и шайб.

Суммарное содержание водорода в теле болта оказалось около $1 \text{ см}^3/100 \text{ г}$, что соответствует требованиям ГОСТ Р 52643/44/45/46-2006.

Вместе с тем, разработанная нами экспериментальная методика позволяет определить содержание водорода в антикоррозионном покрытии толщиной 10 мкм, выполненном по технологии «Dakromet».

Измеренное нами содержание водорода в покрытии превысило $1000 \text{ см}^3/100 \text{ г}$. Даже в случае равномерного распределения в теле болта всего избыточного водорода из покрытия, среднее содержание водорода составит $3 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ (выше требований ГОСТа). Необходимо учесть, что механические напряжения в различных частях болта будут существенно различаться, следовательно, будет происходить локальное накопление водорода в местах максимальных напряжений. Это приведет к развитию классической водородной хрупкости в этих местах.

Таким образом, используя данный крепёж, мы закладываем потенциальную опасность массового выхода болтов из строя и обрушения конструкций мостов уже через 5-10 лет от начала их эксплуатации. Известны аналогичные случаи. Так растяжка крыши велотрека в Крылатском (Москва) лопнула через 20 лет после монтажа вследствие водородной хрупкости, развившейся в результате диффузии водорода из слоя антикоррозионного цинкового покрытия.

Результатом проведенных испытаний явилось решение о замене болт-комплектов в конструкции моста на о. Русский на высокопрочный крепеж отечественного производства. Стратегически важный объект спасён. Вместе с тем, проблемы высокопрочного крепежа остались:

1. Один из крупнейших подрядчиков ОАО «Мостовик» продолжает использовать крепеж производства КНР при строительстве других сооружений.
2. Существующие ГОСТы не требуют проверки содержания водорода в антикоррозионных покрытиях высокопрочного крепежа. Согласно сертификационным испытаниям, выполненным в ЦНИИ ПСК им. Мельникова, комплекты болтов ОАО «Мостовик» полностью соответствуют требованиям ГОСТ Р 52643/44/45/46-2006, что подтверждается сертификатом № РОСС RU.АЯ04.Н01322, выданным органом по сертификации высокопрочных метизов ФГУП «ВНИИНМАШ».

Выводы.

1. Необходимо исследовать проблему развития водородной хрупкости в несущих конструкциях и высокопрочном крепеже с различными видами антикоррозионных покрытий. Экспериментальная база и результаты предварительных исследований у нас есть, их можно обсуждать.
2. Полученные результаты должны найти отражение в нормативных документах РФ.

Директор, к.ф.-м.н.

Полянский А.М.

Зам. директора по науке, д.т.н.

Полянский В.А.

| ООО «НПК Электронные и Пучковые Технологии» |
| 198188 Россия, С.Петербург, ст. Броневая, 6. |
| тел: +7 812 297-94-51 |
| факс: +7 812 555-63-41 |
| e-mail: info@electronbeamtech.com |
| www.electronbeamtech.com |
| Директор |
Анатолий Митрофанович Полянский

моб.+79112936866

«СОГЛАСОВАНО»

Директор ООО «НПК ЭПТ»

А.М.Полянский



Протокол измерений

по определению содержания растворенного водорода в образцах из стали высокой прочности методом вакуум-нагрева от 11 февраля 2010г.

Испытания проводились: на анализаторе водорода АВ-1 с 10.02.10 по 11.02.10

При испытаниях дополнительно использовались:

1. Возгоночный образец из сплава АМГ-6
2. Калибровочный образец из сплава Д-16, массой 1,96 гр. и аттестованным содержанием водорода

$$0,35 \frac{\text{н см}^3}{100 \text{ гр}}$$

Содержание испытаний:

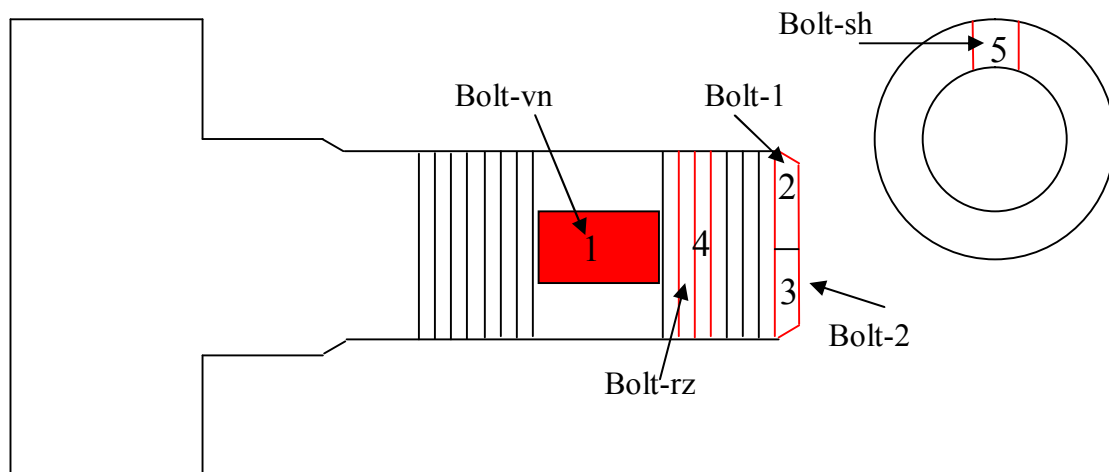


Схема выбора образцов для анализа

С образцами имеющие маркировку Bolt-vn, Bolt-1, Bolt-2, Bolt-rz, Bolt-sh проводился анализ содержания водорода при температурах от 530 °С и 800 °С.

В соответствии со схемой

Bolt-vn – часть болта, выпиленная из внутренней части, на схеме этот образец обозначит цифрой 1.

Bolt-1 - кусочек, выпиленный из края болта, после с него механическим путем было удалено покрытие, на схеме он обозначен цифрой 2

Bolt-2 - кусочек, выпиленный из края болта, с покрытием, на схеме он обозначен цифрой 3

Bolt-rz – часть резьбы с покрытием, на схеме обозначен под цифрой 4

Bolt-sh – часть шайбы, с механически удаленным покрытием.

Порядок проведения эксперимента.

Подготовка экстракционной системы проводилась с тщательным удалением адсорбированной на стенках воды. Аналитический экстрактор отжигался на воздухе при помощи промышленного фена с температурой газовой струи 500-600 °С. При вакуумировании экстрактора аналитический отросток отжигался в течение 1 часа при температуре 900 °С. После отжига на стенках экстрактора наводились возгоны магния.

После наведения возгонов проводилась калибровка. Для калибровки использовались ГСО сплава Д16.

Результаты эксперимента представлены в таблице №1. Где Т-температура экстракции, Q₁- содержание водорода в первом пике экстракционной кривой, Q₂-содержание водорода во втором пике экстракционной кривой, Q₃-содержание водорода в третьем пике экстракционной кривой, ΣQ – сумма содержания водорода по всем пикам экстракционной кривой, при данной температуре экстракции, Q – суммарное содержание водорода.

Таблица №1. Результаты анализа содержания водорода

маркировка	Т, °С	$\frac{Q_1, \text{ н см}^3}{100 \text{ гр}}$	$\frac{Q_2, \text{ н см}^3}{100 \text{ гр}}$	$\frac{Q_3, \text{ н см}^3}{100 \text{ гр}}$	$\frac{\Sigma Q, \text{ н см}^3}{100 \text{ гр}}$	$\frac{Q, \text{ н см}^3}{100 \text{ гр}}$
bolt-vn	530	0,09	0,37	0,291	0,751	0,972
	800	0,037	0,184		0,221	
bolt-1	530	0,123	0,268	0,633	1,024	1,255
	800	0,064	0,167		0,231	
bolt-2	530	0,855	1,849		2,704	3,925
	800	0,156	0,075	0,49	0,721	
bolt-rz	530	0,106	0,34	2,785	3,431	4,511
	800	0,179	0,15	0,751	1,08	
bolt-sh	530	0,14	0,63		0,77	1,051
	800	0,04	0,032	0,209	0,281	

Экстракционные кривые, полученные при испытаниях приведены в Приложении 1
 В таблицах над экстракционными кривыми указаны:
 -дата и время получения кривой,
 -шаг регистрации по времени в с (частота измерений величины потока водорода составляет 50 Гц, при регистрации экстракционной кривой производится усреднение измерений в течение 1 шага),
 -номер (маркировка) сплава,
 -порядковый номер образца,
 -масса образца в г,
 -коэффициент чувствительности,
 -содержание водорода в н.см³/100г,
 -уровень фона,
 -значение интеграла экстракционной кривой во внутренних единицах анализатора,
 -временные пределы интегрирования.

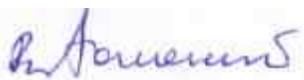
На экстракционных кривых серым цветом показана площадь интегрирования под экстракционной кривой, изображена прямая линия фона, по горизонтальной оси отложено время в с, по вертикальной – величина потока водорода во внутренних единицах анализатора водорода.

Стажер-исследователь



Яковлев Ю.А.

Зам.директора по науке



Полянский В.А.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

к протоколу измерений по определению содержания растворенного водорода в образцах из высокопрочной стали от 11 февраля 2010г.

Экстракционные кривые, полученные во время эксперимента

На рисунках 1-10 представлены экстракционные кривые, полученные во время анализа. По горизонтальной оси отложено время анализа в секундах. По вертикальной оси отложены значения потока водорода, в верхней части графиков – результаты анализа. Закрашена площадь под кривой пропорциональная содержанию водорода в пике.

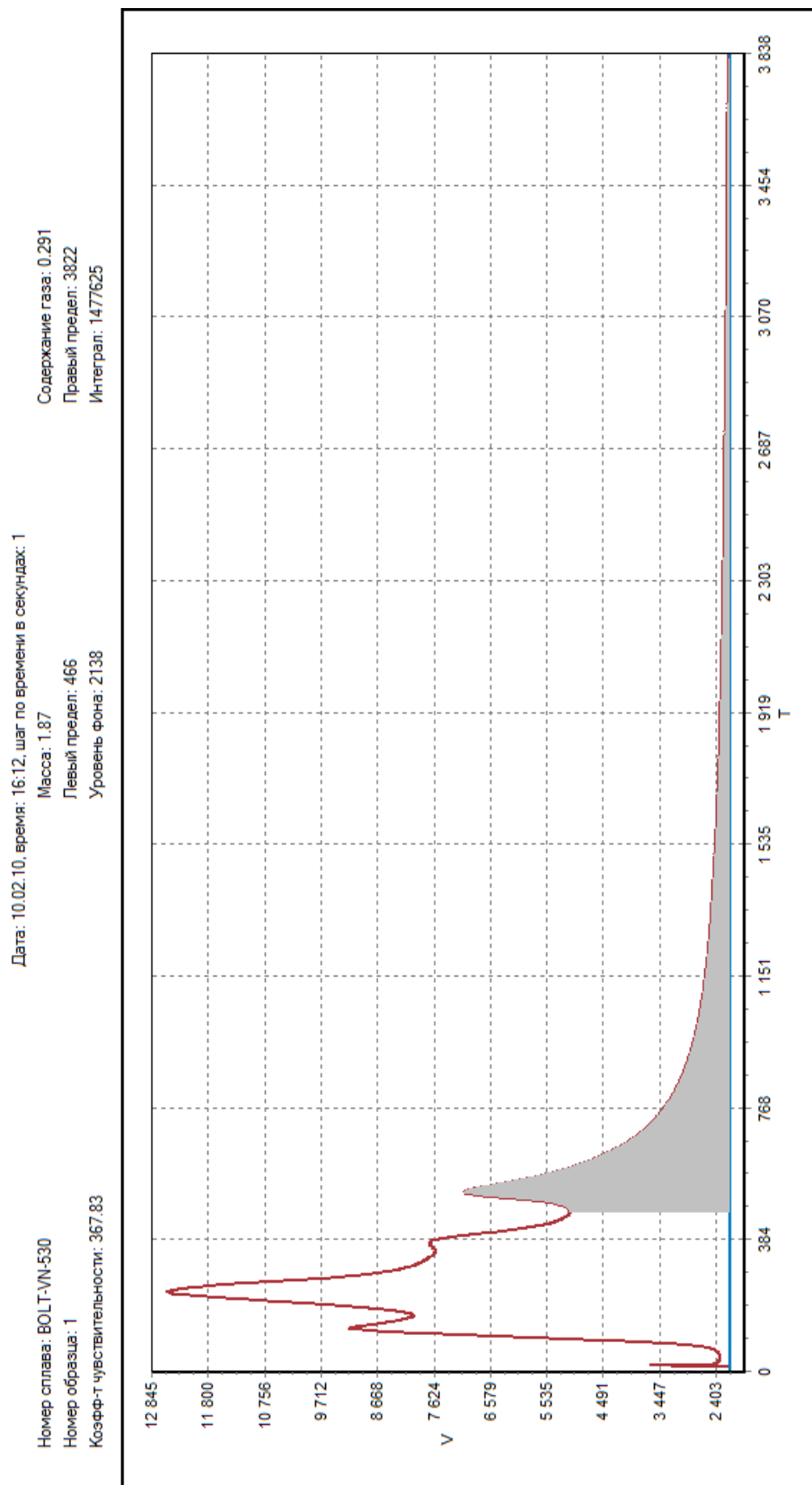


Рис.1. Volt-vn. температура экстракции 530 °С

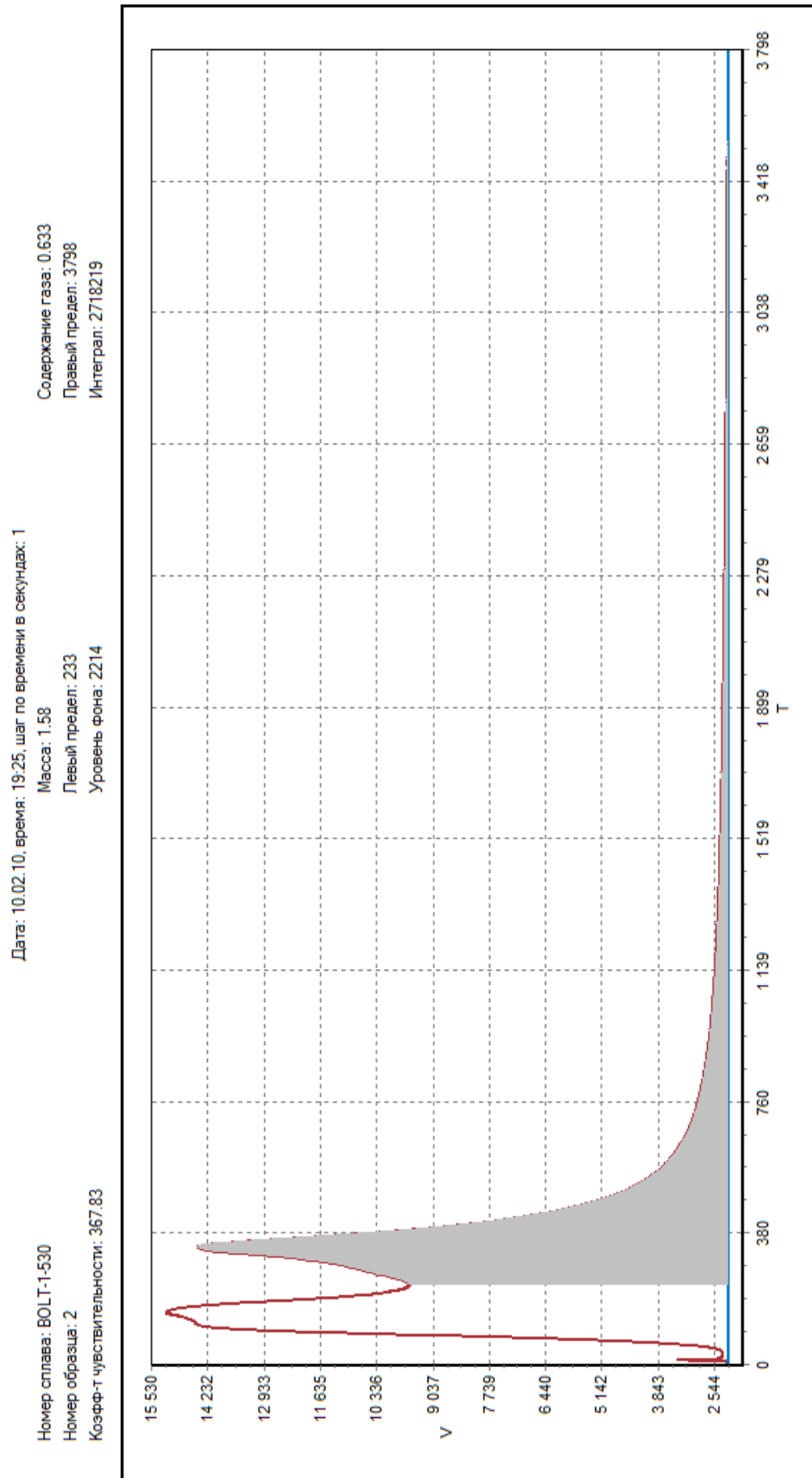


Рис.2. Volt-1. температура экстракции 530⁰С

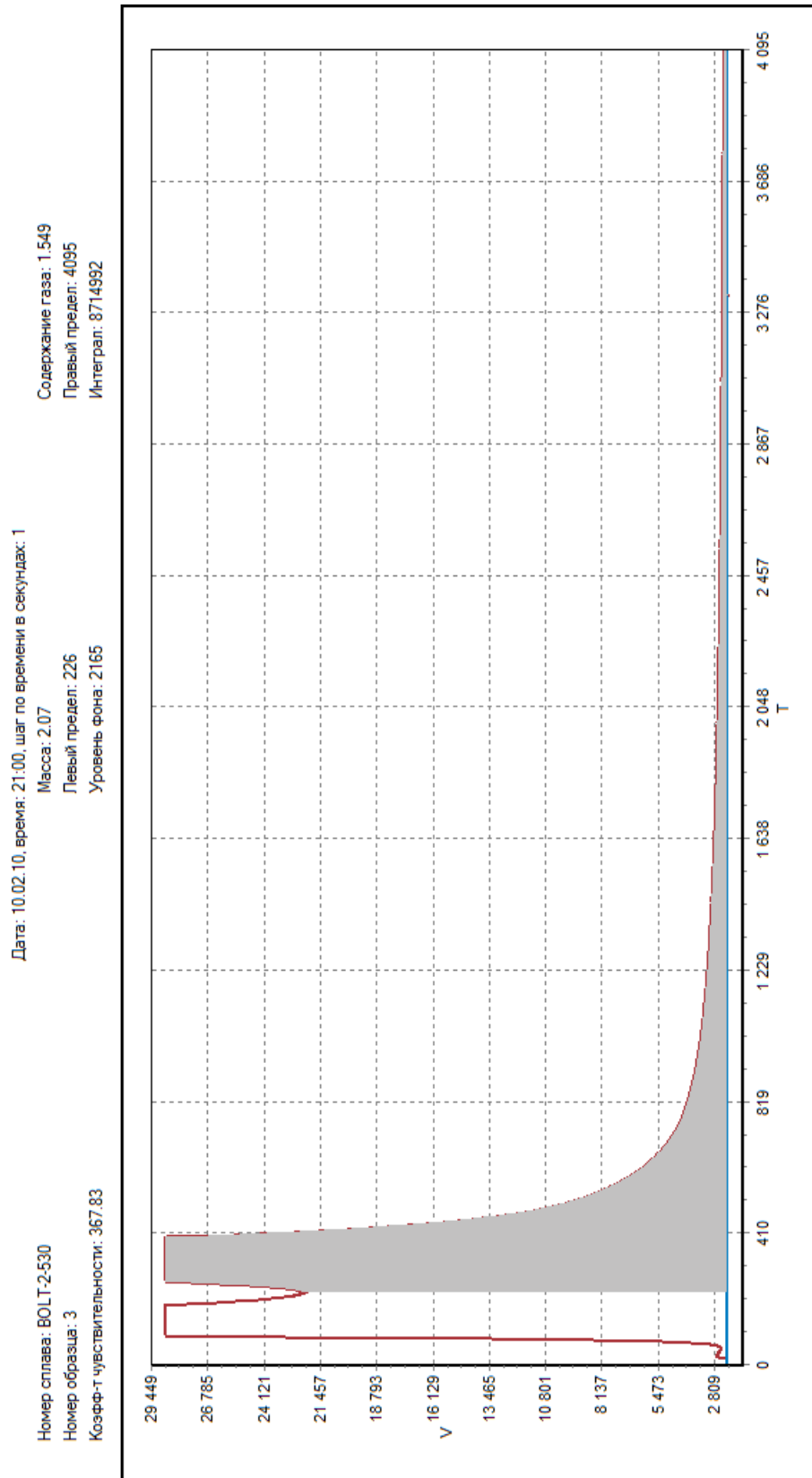


Рис.3. Volt-2. температура экстракции 530⁰С

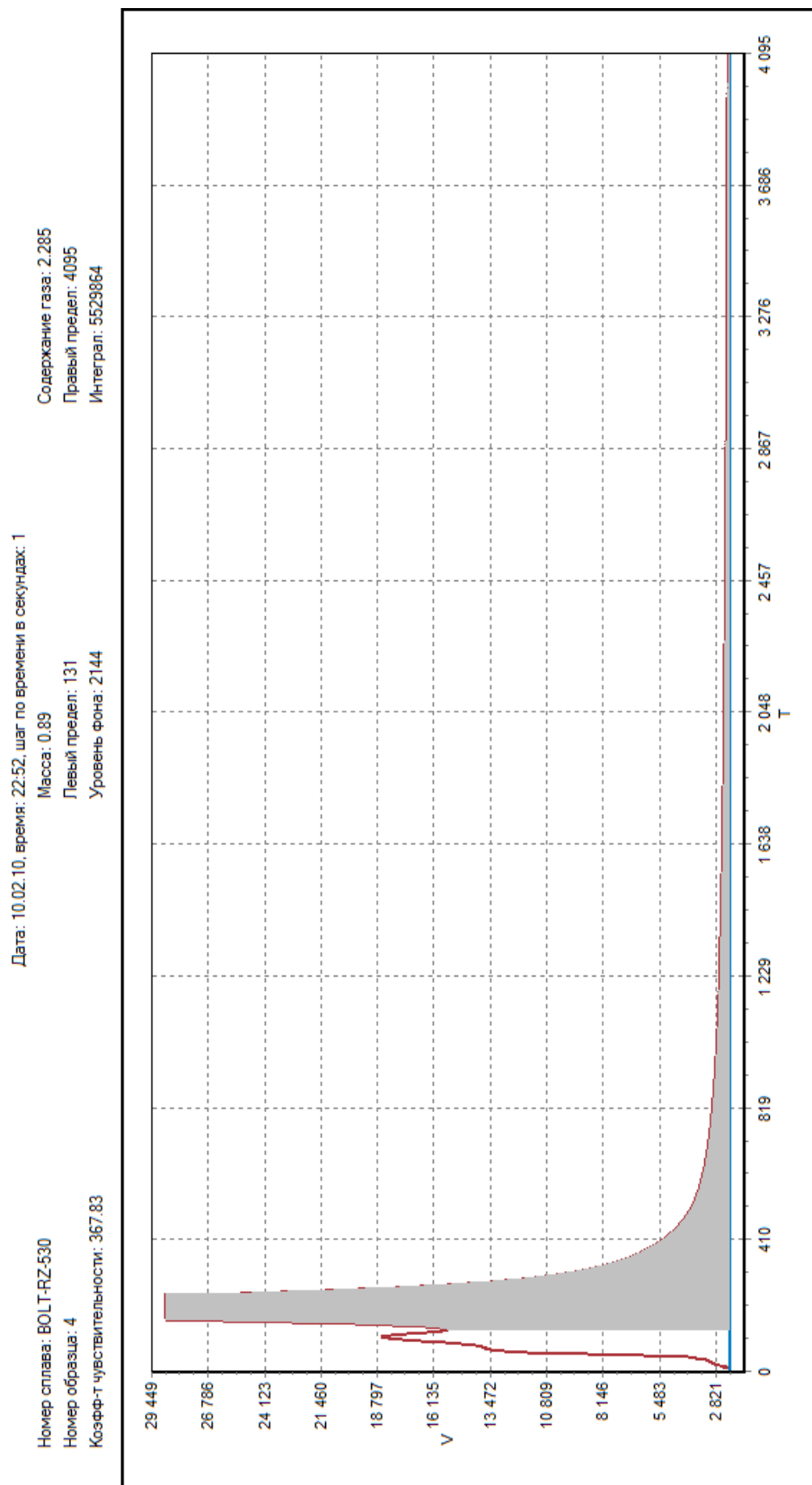


Рис.4. Bolt-rz. температура экстракции 530 °С

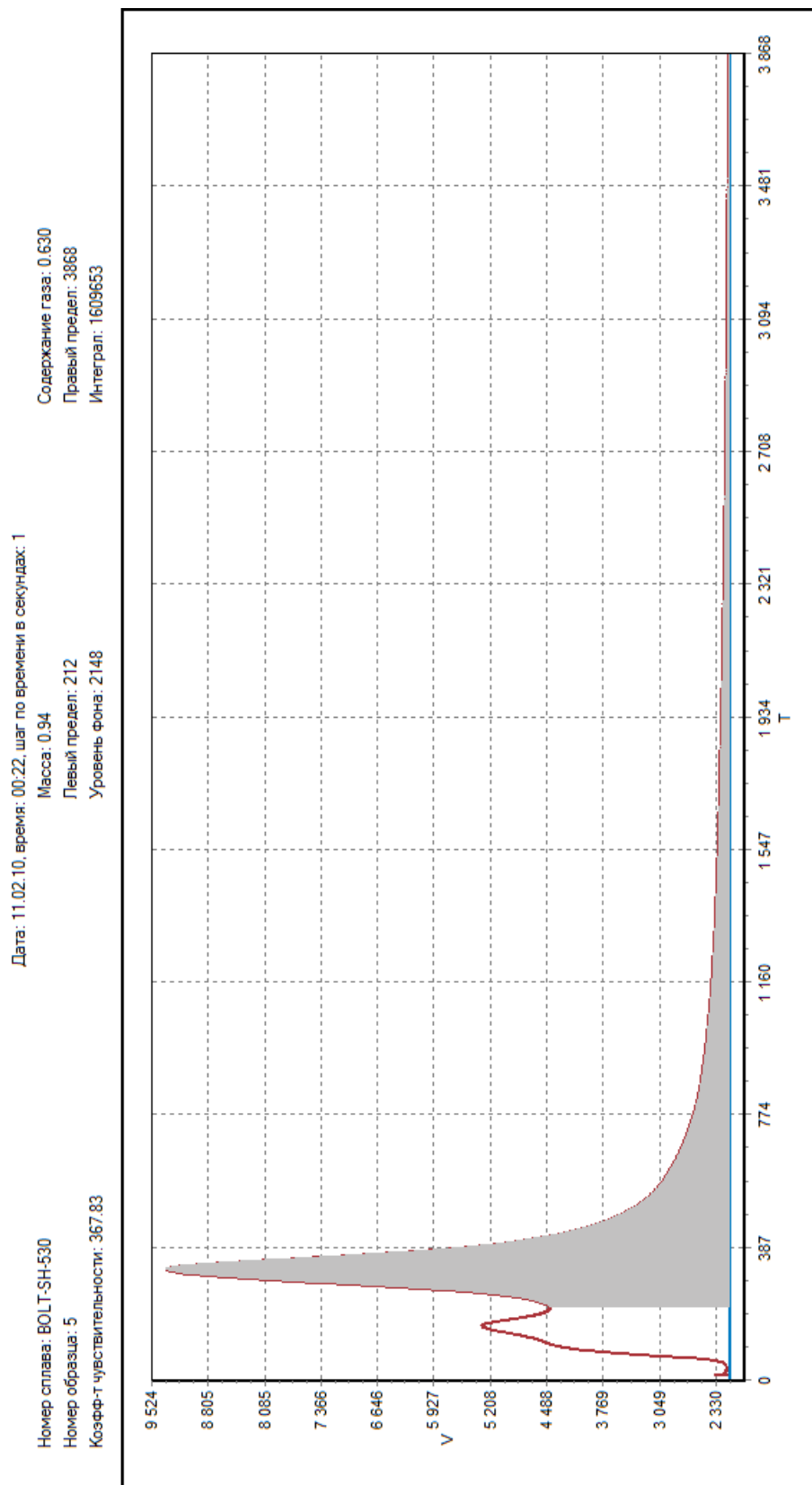


Рис.5. Bolt-sh. температура экстракции 530 °С

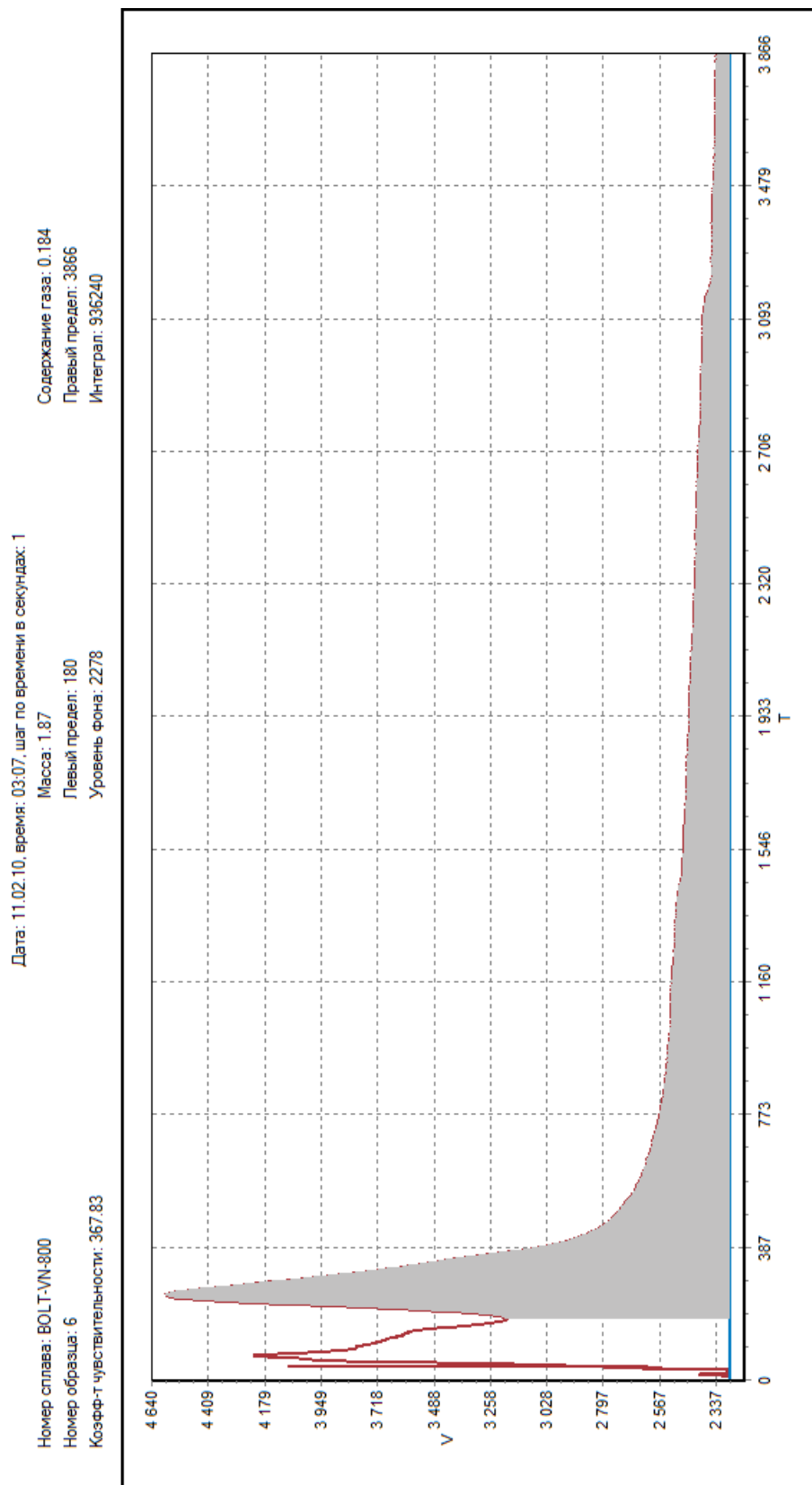


Рис.6. Volt-vn. температура экстракции 800 °C

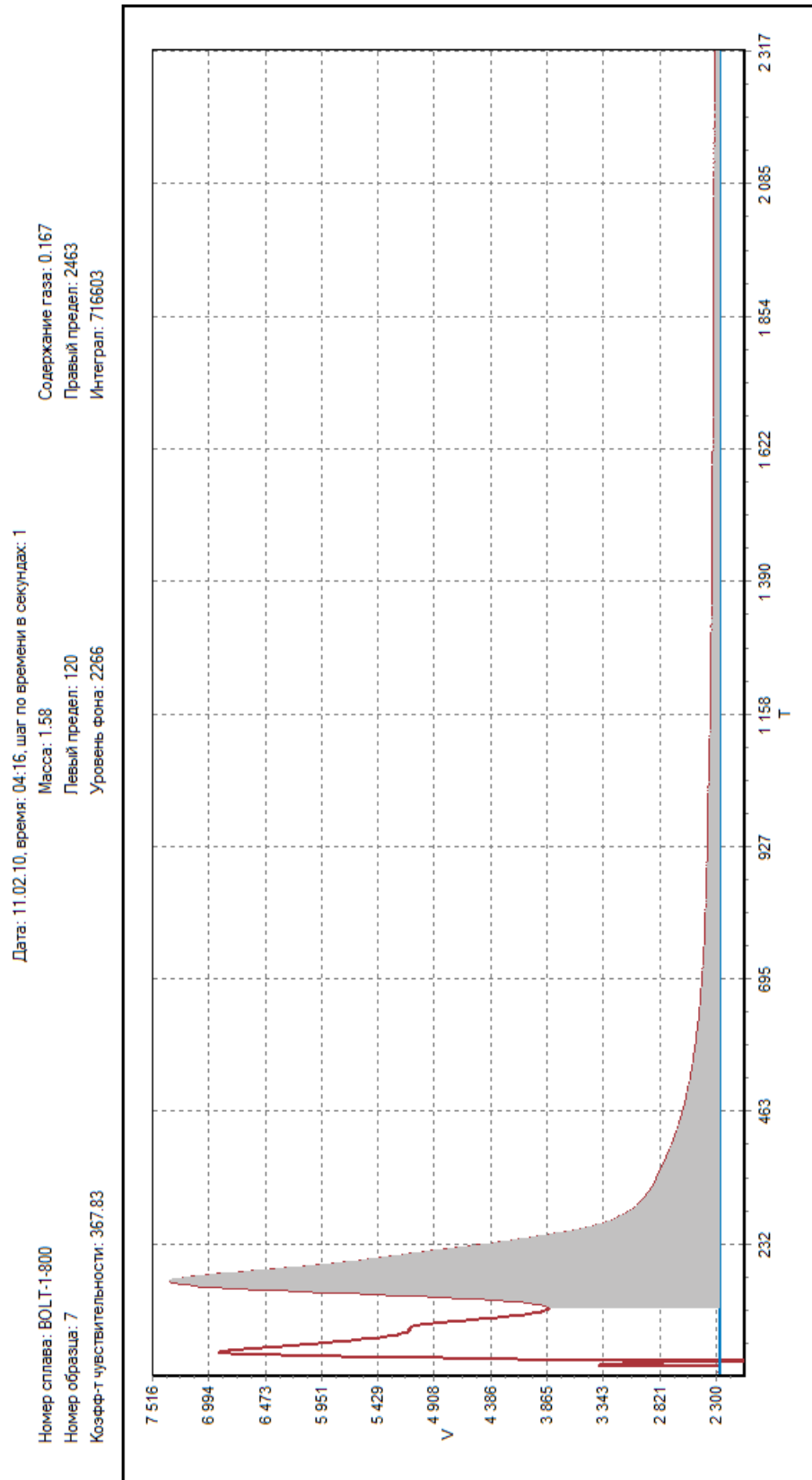


Рис.7. Volt-1. температура экстракции 800⁰С

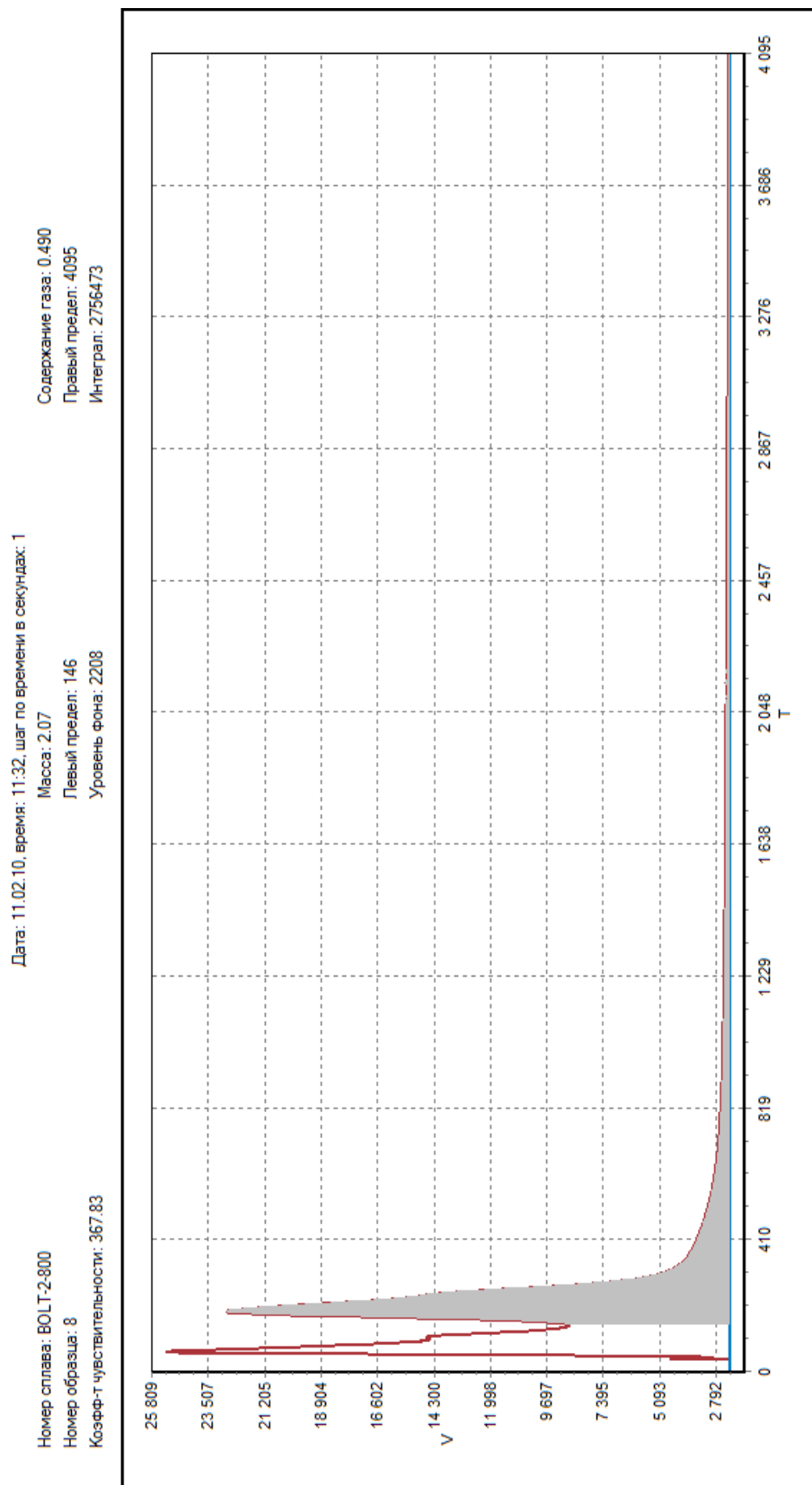


Рис.8. Volt-2. температура экстракции 800 °С

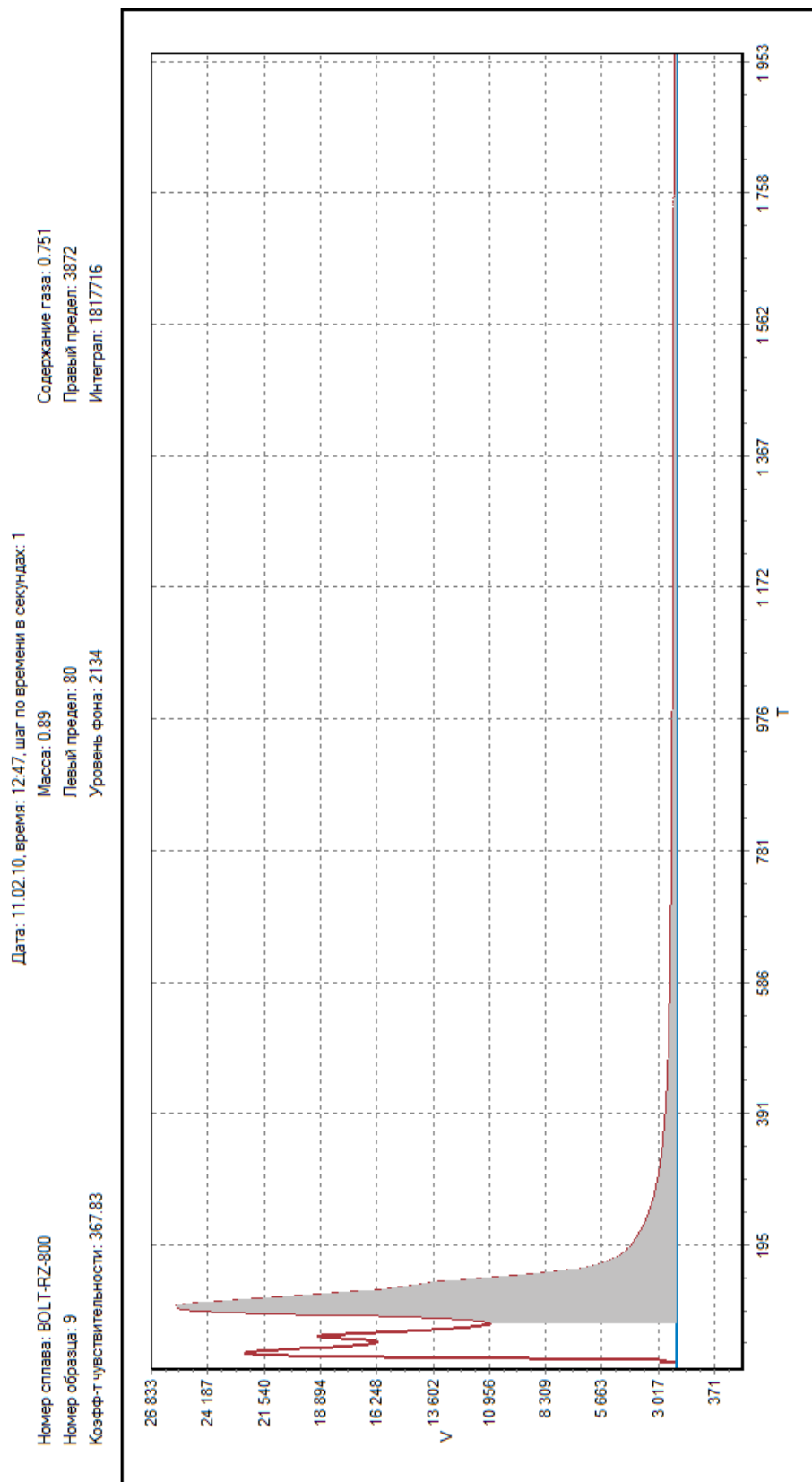


Рис.9. Bolt-rz. температура экстракции 800 °С

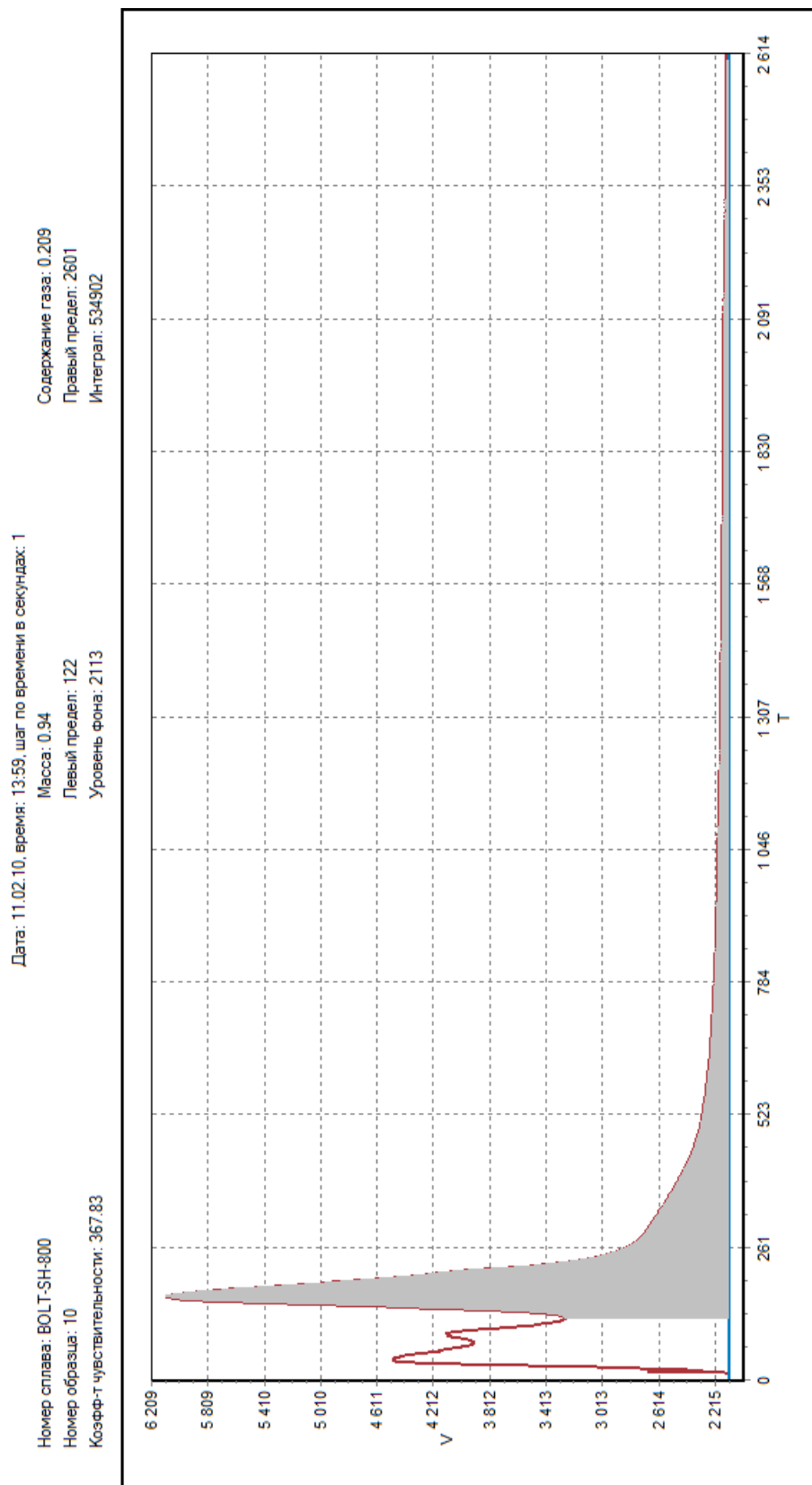


Рис.10. Volt-sh. температура экстракции 800⁰С

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

к протоколу измерений по определению содержания растворенного водорода в образцах из высокопрочной стали от 11 февраля 2010г.

Оценочный расчет содержания водорода в алюмо-цинковом покрытии высокопрочных болтов.

В качестве исходных данных примем данные по содержанию водорода в образцах bolt-1 (без покрытия), bolt-2 (с покрытием), вырезанных из одного места болта.

Для bolt-1 содержание водорода $Q_{полн}$ (без покрытия) = 1,255 [н.см³ / 100г]

Для bolt-2 содержание водорода $Q_{полн}$ = 3,925 [н.см³ / 100г]

Расчетная схема для оценки массы покрытия приведена на рис. 1.

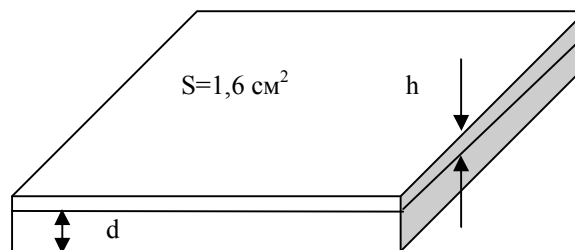


Рис. 1. Расчетная схема для оценки массы покрытия.

$h=10$ мкм - толщина покрытия;

$d=1,63$ мм - примерная толщина образца с покрытием (bolt-2);

$S = 1,6$ см² – примерная площадь покрытия

Количество водорода в образце с покрытием составляет:

$$\begin{aligned} C_{\Sigma} &= m [\text{г}] / 100 [\text{г}] \cdot Q_{полн} [\text{н.см}^3 / 100\text{г}] = \\ &= 2,07 / 100 \cdot 3,925 = 0,0812 [\text{н.см}^3] H_2 \end{aligned}$$

Количество водорода в образце той же массы без покрытия с пересчетом на массу второго образца (bolt-2) составит:

$$\begin{aligned} C_{ст} &= m [\text{г}] / 100 [\text{г}] \cdot Q_{полн} (\text{без покрытия}) [\text{н.см}^3 / 100\text{г}] = \\ &= 2,07 / 100 \cdot 1,255 = 0,0260 [\text{н.см}^3] H_2 \end{aligned}$$

Разница в количестве содержащегося в образцах водорода составит:

$$C_{покрытия} = C_{\Sigma} - C_{ст} = 0,0812 [\text{н.см}^3] H_2 - 0,0253 [\text{н.см}^3] H_2 = 0,055 [\text{н.см}^3] H_2 .$$

Оценка массы покрытия основана на предположении состава покрытия

80% Al:20% Zn.

В этом случае плотность покрытия составит

$$\rho_{\text{покрытия}} = 0,8\rho_{Al} + 0,2\rho_{Zn} = 3,2 [\text{г}/\text{см}^3].$$

Оценочная масса покрытия составит:

$$m_{\text{покрытия}} = \rho_{\text{покрытия}} \cdot S \cdot h = 3,2 [\text{г}/\text{см}^3] \cdot 1,6 [\text{см}^2] \cdot 0,001 [\text{см}] = 0,0051 [\text{г}].$$

Тогда содержание водорода в покрытии составит:

$$\begin{aligned} Q_{\text{покрытия}} &= C_{\text{покрытия}} [\text{н.см}^3] \cdot 100 [\text{г}]/m_{\text{покрытия}} [\text{г}] = \\ &= 0,055 \cdot 100 / 0,0051 = 1080 [\text{н.см}^3 / 100\text{г}]H_2 \end{aligned}$$

Так как образцы имели не прямоугольную форму, сделанная оценка является приближенной и имеет смысл рассматривать только ее первый знак.

Таким образом, в покрытии содержится около 1000 $[\text{н.см}^3 / 100\text{г}]H_2$.