

*Козлов А.В., канд. техн. наук, доц.,  
Захаров Д.А., аспирант,  
Животков И.О., аспирант  
Академия строительства и архитектуры  
Донского государственного технического университета*

## ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ЗОЛЫ-УНОСА НОВОЧЕРКАССКОЙ ГРЭС И ПОИСК ОБЛАСТИ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ

*В настоящей статье проведен сравнительный анализ характеристик золы Новочеркасской ГРЭС, получаемой по разным способам сжигания твердого топлива. Выполнены работы по рентгенофазовому, химическому и дифференциально-термическому анализу золы Новочеркасской ГРЭС, показавшие на возможность применения образующихся отходов в области производства строительных материалов. Рассмотрена возможность использования получаемой золы-уноса в производстве грубой строительной керамики. Проведены физико-механические испытания полученных материалов, показавшие на улучшение формовочных свойств глинистого сырья, снижение средней плотности материалов. Проведенные исследования подтвердили целесообразность применения золы-уноса девятого энергоблока Новочеркасской ГРЭС в производстве керамических стеновых материалов, что позволит улучшить формовочные свойства глиняной шихты и улучшить теплотехнические показатели получаемых материалов.*

**Ключевые слова:** зола-уноса, формовочные свойства, строительная керамика, рентгенофазовый анализ, отходы ТЭЦ.

**Введение.** Россия – один из самых крупных потребителей угля в мире [1]. Это связано с тем, что в условиях холодного климата необходимо обеспечивать надежный энергетический баланс страны. Частично энергетический потенциал страны обеспечивается за счет эксплуатации тепловых электростанций, которые вырабатывают тепловую и электрическую энергию путем сжигания твердых видов топлива, в основном каменного угля добываемого на территории страны. Существует различные типы тепловых электростанций, отличающиеся способом сжигания твердого топлива [2]. Современные ТЭС сжигание твердого топлива осуществляют в измельченном до пылевидного состояния в камерных топках. Неотъемлемой частью этого процесса является образование отходов в виде золы и золошлаковой смеси.

В настоящее время, в отвалах ТЭС России собралось около 1,4 млрд. т. золошлаковых отходов (ЗШО) и с каждым годом это количество пополняется 26,6 млн. т новых отходов. И только 18 % от общего объема образующихся отходов утилизируется в различных отраслях народного хозяйства [3]. Поэтому вопрос утилизации ЗШО с каждым годом становится все более острым, так как накопление их в отвалах создает угрозу экологической безопасности населению и стране в целом [4].

Традиционно Новочеркасская ГРЭС вырабатывает тепловую и электрическую энергию за

счет факельного сжигания предварительно измельченного твердого топлива в камерных топках [5]. Удаление образующихся продуктов горения осуществляется за счет жидкостного шлакоудаления. Очистка дымовых газов от твердых частиц (золы-уноса) на станции осуществляется сухим способом, в золоуловителях. Собранный зола-уноса по трубопроводу транспортируется в силосные склады хранения [6]. Образующиеся на станции отходы содержат небольшое количество несгоревшего топлива, что снижает эффективность работы станции.

В рамках программы модернизации энергетической промышленности в июле 2016 г. на Новочеркасской ГРЭС построен и запущен 9-й энергоблок, принципиально отличающийся от всех работающих. Отличительной особенностью, которого является сжигание топлива по технологии «кипящего слоя», которая предусматривает повторное сжигание несгоревших частиц топлива в отходах, что обеспечивает более полное выгорание угля и большую энергетическую эффективность котлов [7]. Образующиеся на 9-й энергоблоке отходы по внешнему виду отличаются от отходов, образующихся на других блоках, что вызывает необходимость изучения их физико-химических свойств перед началом промышленной переработки в народном хозяйстве.

Основной целью исследований является определение свойств образующихся отходов и

последующего выбора направления их использования в области производства строительных материалов.

**Основная часть.** При исследовании свойств золы, образующейся на Новочеркасской ГРЭС были проведены рентгенофазовый и дифференциально-термический анализ. Оценка фазового состава выполнена с использованием рентгенометрической картотеки PDF-2 и программы ProfileShow.

При помощи рентгенофазового анализа был определен фазовый состав золы. Результаты исследований представлены на рисунке 1. Красным

цветом на графике показаны углы и интенсивность дифракции золы уноса получаемой по традиционной технологии на 1–8 блоках Новочеркасской ГРЭС.

Зеленый график показывает углы и интенсивность дифракции, характерные для кварца ( $\text{SiO}_2$ ). Как видно из представленной рентгенограммы в исследуемой золе-уноса основной фазой является кварц ( $\text{SiO}_2$ ), что подтверждается результатами ДТА (рис. 2).

На рисунке 1 основной фазой, присутствующей в золе-уноса является кварц ( $\text{SiO}_2$ ), что подтверждается результатами ДТА (рис. 2).

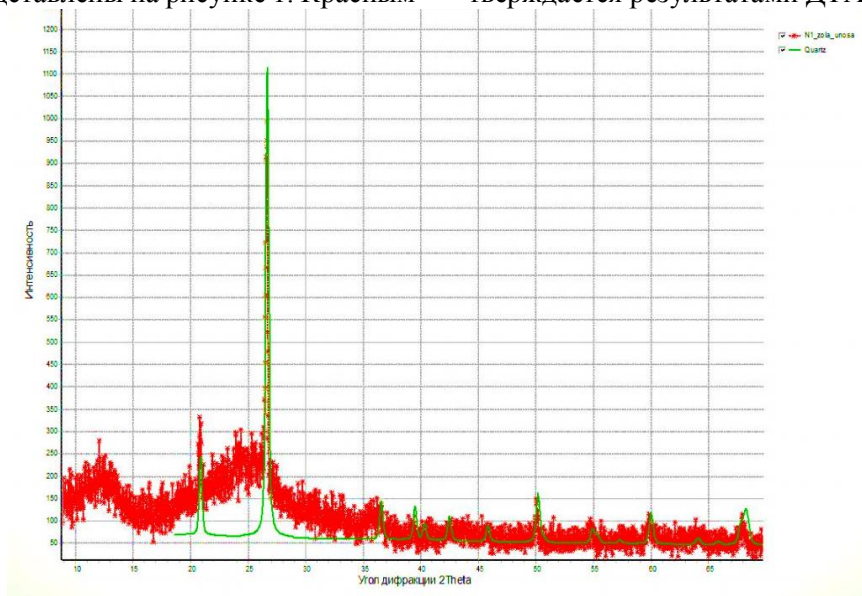


Рис. 1. Рентгенограмма золы-уноса 1-8 блоков Новочеркасской ГРЭС

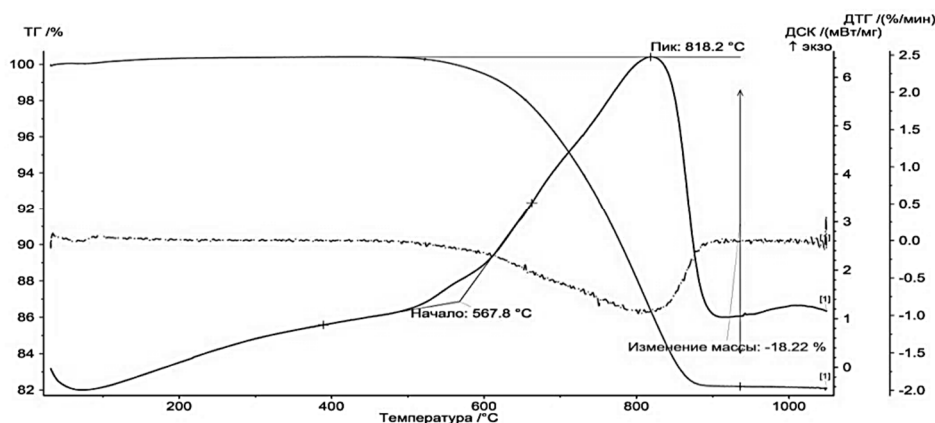


Рис. 2. ДТА золы-уноса 1-8 блоков Новочеркасской ГРЭС

Результаты рентгенофазового анализа золы-уноса получаемой на 9 энергоблоке Новочеркасской ГРЭС представлены на рисунке 3. На представленной рентгенограмме красным цветом показаны интенсивность и углы дифракции золы-уноса 9 энергоблока Новочеркасской ГРЭС, зеленый цветом кварца, желтым цветом выделен гематит и синим-слюда.

Из полученных результатов видно, что фазовый состав золы-уноса 1-8 блоков значительно отличается от золы-уноса 9 блока. В ней присутствуют несколько фаз: примерно на 70 % она состоит из кварца ( $\text{SiO}_2$ ); 15–20 % составляет гематит ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ); остальные 10–15 % составляет слюда. Ориентировочный химический состав слюды  $\text{KMgAlSi}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ , что подтверждается результатами ДТА, представленными на рисунке 4.

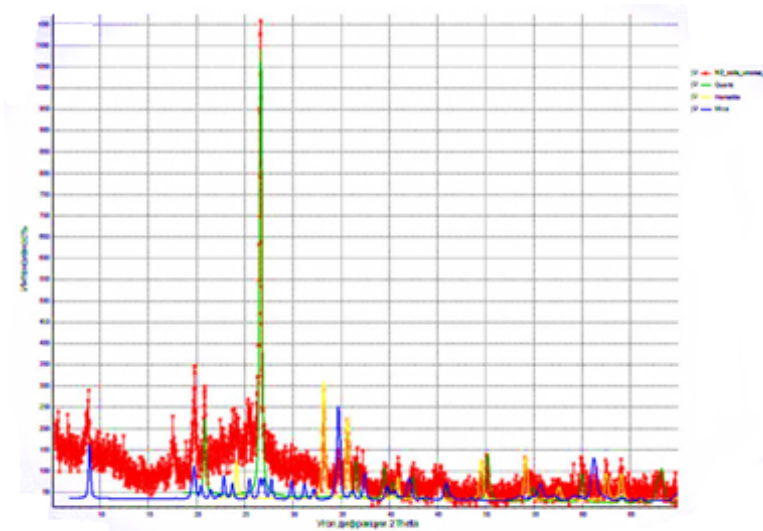


Рис. 3. Рентгенограмма золы-уноса 9 блока Новочеркасской ГРЭС

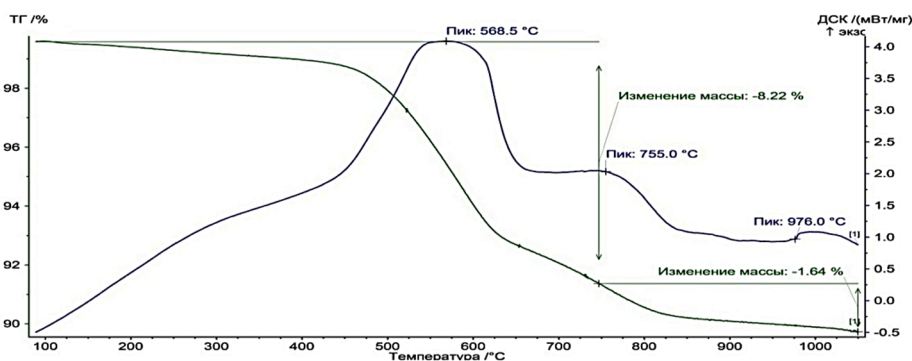


Рис. 4. ДТА золы-уноса 9 блока Новочеркасской ГРЭС

Проведенные исследования позволяют с уверенностью сказать о том, что свойства золы-уноса 9 блока значительно отличаются от ранее образующихся отходов, что требует находить новые пути ее использования в строительном материаловедении.

Для более точного определения свойств образующихся отходов был проведен химический анализ по оксидам, а также физико-механические характеристики, результаты, которых приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Химический анализ и физико-механические характеристики золы-уноса Новочеркасской ГРЭС**

Показатели	Новочеркасская ГРЭС 9 энергоблок	Новочеркасская ГРЭС 1-8 энергоблоки
	Величина, %	
SiO <sub>2</sub>	45,92	53,82
TiO <sub>2</sub>	0,87	0,91
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25,9	22,12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,38	9,77
CaO	0,81	3,71
MgO	1,35	2,27
MnO	0,36	0,14
K <sub>2</sub> O	5,29	4,59
Na <sub>2</sub> O	0,93	1,26
SO <sub>3</sub>	1,28	0,35
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,15	0,23
п.п.п	7,37	22,8
Удельная поверхность, см <sup>2</sup> /г	9200	2800
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	480	1050
Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	2600	2650

Высокое содержание оксида кремния в двух видах золы-уноса говорит о возможности ее применения в производстве силикатных строительных материалов, а также строительной керамики. Также обращает на себя внимание показатель удельной поверхности, который значительно выше, чем у золы-уноса, образующейся по традиционной технологии сжигания угля. Как видно из таблицы 1 показатель насыпной плотности у золы-уноса девятого энергоблока Новочеркасской ГРЭС значительно ниже, чем аналогичный показатель у золы-уноса, образующейся на 1-8 энергоблоках.

Для изучения влияния золы уноса на качество керамического черепка была использована зола-уноса 9 энергоблока Новочеркасской ТЭЦ

и суглинок Большелогского месторождения Ростовской области. Все испытания были выполнены в соответствии с действующей нормативной документацией [8–10].

Было изготовлено четыре состава шихты, содержащие 10 %, 20 %, 40 % золы-уноса и эталонный состав на чистом суглинке. Из приготовленной пластичной массы формовались образцы – кубики, кирпичики, балочки на которых был проведен комплекс испытаний, демонстрирующий влияние золы-уноса на показатели материала.

Результаты определения физико-механических свойств образцов, изготовленных на основе золы-уноса девятого энергоблока приведены в таблице 2.

Таблица 2

### Результаты определения физико-механических свойств

Состав массы, г			Формовочная влажность, %	Воздушная усадка, %	Общая усадка, %	Огне-вая усадка, %	Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	R <sub>сж</sub> , МПа	R <sub>изг</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	Водопоглощение, %
Гл. сырье	Добавка	Вода								
1120	0	215	19,2	8,3	9,1	0,8	1,83	375,6	86,1	14,56
1008	48	208	19,7	8,2	9,1	0,9	1,81	305,2	92,3	15,07
896	96	186	18,7	7,5	8,2	0,7	1,75	281	98,8	16,16
672	192	162	18,7	5,9	6	0,1	1,65	262	69,5	18,71

Из представленных результатов видно, что введение золы уноса не существенно влияет на формовочную влажность (19,2 %–18,7 %), но существенно снижает усадку (на 3,1 %), приводит к уменьшению средней плотности черепка с 1,83 г/см<sup>3</sup> до 1,65 г/см<sup>3</sup>). Также было замечено увеличение водопоглощения (с 14,56 % до 18,71 %).

Для более полного понимания свойств, на которые оказывает влияние зола-уноса девятого энергоблока Новочеркасской ГРЭС было так же изготовлено четыре состава на основе золы-уноса 1–8 блоков Новочеркасской ГРЭС.

Результаты определения физико-механических свойств образцов, изготовленных на основе золы-уноса 1–8 блоков Новочеркасской ГРЭС приведены в таблице 3

Таблица 3

### Результаты определения физико-механических свойств

Состав массы, г			Формовочная влажность, %	Воздушная усадка, %	Общая усадка, %	Огне-вая усадка, %	Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	R <sub>сж</sub> , МПа	R <sub>изг</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	Водопоглощение, %
Гл. сырье	Добавка	Вода								
1120	0	215	19,2	8,3	9,1	0,8	1,83	375,6	86,1	14,56
1008	105	228	20,5	8,2	8,9	0,7	1,83	298,2	85,2	15,78
896	210	236	21,3	8,1	8,5	0,4	1,81	285	78,8	17,32
672	420	240	22	7,8	8,1	0,3	1,76	271	71,1	18,17

Как видно, из приведенных выше результатов, зола-уноса девятого энергоблока оказывает положительное влияние на ряд физико-механических свойств строительной керамики, превосходя в некоторых показателях (сушильные свойства, предел прочности при сжатии, водопоглощение) образцы, изготовленные на основе золы-уноса, полученной традиционным путем.

Это позволяет сделать вывод о возможности использования золы-уноса 9 энергоблока Новочеркасской ТЭЦ в качестве добавки при производстве строительной керамики. Ее использование позволяет улучшить формовочные свойства массы, снизить среднюю плотность изделий без существенного снижения прочностных свойств материала.

**Заключение.** На основе проведенных исследований можно с уверенностью сказать, что отходы образующиеся в результате работы 9 энергоблока, пригодны для использования в области производства строительной керамики. А, следовательно, их следует рассматривать не как отход, а как техногенное сырье, для производства строительных материалов. Физико-химические характеристики золы указывают на возможность ее использования в производстве силикатных строительных материалов, строительной керамики, а также в производстве искусственных пористых высокоэффективных заполнителей.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Краснянский Г.Н., Зайденварг В.Е., Ковальчук А.Б., Скрьль А.И. Уголь в экономике России. Изд-во Экономика. 2010. 383 с.
2. Беликов С.Е. Котлер В.Р. Котлы тепловых электростанций и защита атмосферы. М.: Издательский центр Аква-Терм, 2008. 360 с.
3. Федеральная служба государственной статистики, данные за 2016 г. // [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/environment/](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/environment/) (дата обращения 26.11.17)
4. Лошкарева А.В., Губонина З.И. Экологические проблемы при хранении золоотходов от сжигания твердого топлива на тепловых электростанциях [Электронный ресурс] Системные требования AdobeAcrobatReader. URL <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskie-problemy-pri-hranenii-zolotohodov-ot-szhiganiya-tvyordogo-topliva-na-teplovyyh-elektrostantsiyah>
5. Жихар Г.И. Котельные установки тепловых электростанций. Минск: Вышэйшая школа, 2015. 523 с
6. Ужов В.Н. Очистка промышленных газов электрофильтрами 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1967. 344 с.
7. Глейзер И.Ш. Котлы энерготехнологических и тепловых электростанций. М.: Изд-во Электросервис, 2010. 248 с.
8. ГОСТ 25818-91 Золо-уноса тепловых электростанций для бетона. Введен 1991.07.01.
9. ГОСТ 530-2012 Кирпич и камень керамические. Общие технические условия. Введен 2013.07.01
10. ГОСТ 21216-2014 Сырье глинистое. Методы испытаний. Введен 2015.07.01

#### Информация об авторах

**Козлов Александр Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры Строительные материалы.  
E-mail: [kozlov\\_rgsu@mail.ru](mailto:kozlov_rgsu@mail.ru)  
Академия строительства и архитектуры Донского государственного технического университета.  
Россия, 344022, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, д. 162.

**Захаров Дмитрий Александрович**, аспирант кафедры Строительные материалы.

E-mail: [mity.zakharov@yandex.ru](mailto:mity.zakharov@yandex.ru)

Академия строительства и архитектуры Донского государственного технического университета.  
Россия, 344022, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, д. 162.

**Животков Олег Игоревич**, аспирант кафедры Строительные материалы.

E-mail: [zvoleg@list.ru](mailto:zvoleg@list.ru)

Академия строительства и архитектуры Донского государственного технического университета.  
Россия, 344022, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, д. 162.

*Поступила в апреле 2018 г.*

© Козлов А.В., Захаров Д.А., Животков И.О., 2018

### A.V. Kozlov, D.A. Zakharov, O.I. Zhivotkov STUDY OF FLY-ASH PROPERTIES OF THE NOVOCHERKASSK STATE DISTRICT HYDROELECTRIC POWER STATION AND SEARCHING OF THE SPHERE OF ITS APPLICATION

*In the present article the comparative analysis of characteristics of Novocherkassk ashes of the state district hydroelectric power plant is received according different ways of combustion of solid fuel is carried out. Works on X-ray phase, chemical and differential thermally to the analysis of Novocherkassk ashes of state district hydroelectric power plant are carried, the applications of the formed waste which have shown on an opportunity in the field of production of construction materials are performed. The possibility of the received ashes ablation usage in production of rough construction ceramics is considered. The physicomechanical tests of the received materials which have shown the improvement of forming properties of clay raw materials, decrease in average density of materials are carried out. The conducted researches have confirmed expediency*

*of ashes ablation usage of the ninth power unit of the Novocherkassk state district hydroelectric power plant in production of ceramic wall materials that will allow to improve forming properties of clay furnace charge and to improve heat technical indicators of the received materials.*

**Keywords:** fly-ashes, forming properties, construction ceramics, X-ray phase analysis, waste of combined heat and power plant.

## REFERENCES

1. Krasnyansky G.N., Zaydenvarg V.E., Kovalchuk A.B., Skryl A.I. Coal in economy of Russia. Economy publishing house, 2010, 383 pages.
2. Belikov S.E., Kotler V.R. Coppers of thermal power plants and protection of the atmosphere. Moscow, Publishing center Akwa Term, 2008, 360 p.
3. Federal State Statistics Service, given for 2016. // [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/environment/](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/environment/) (date of the address 26.11.17)
4. Loshkareva A.V., Gubonin Z.I. Environmental problems at storage of zolotookhod from combustion of solid fuel on thermal power plants [An electronic resource] System requirements of AdobeAcrobatReader. URL <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskie-problemy-pri-hranenii-zolotookhodov-ot-szhiganiya-tvyordogo-topliva-na-teplovyyh-elektrostantsiyah>
5. Zhikhar G.I. Boiler installations of thermal power plants. Minsk, Vysheyshey school, 2015, 523 p.
6. Uzhov V.N. Purification of industrial gases with electric precipitators. M.: Chemistry, 1967, 344 p.
7. Glazer I.Sh. Coppers of power technological and thermal power plants. Moscow, Elektroservice Publishing house. 2010, 248 p.
8. GOST 25818-91 of Ashes ablation of thermal power plants for concrete. 1991.07.01 are entered.
9. GOST 530-2012 Brick and stone ceramic. General specifications. 2013.07.01 are entered
10. GOST 21216-2014 Raw materials clay. Test methods. 2015.07.01 are entered

### Information about the author

**Aleksandr V. Kozlov**, PhD, Assistant professor.

E-mail: [kozlov\\_rgsu@mail.ru](mailto:kozlov_rgsu@mail.ru)

Academy of construction and architecture of Don state technical university.

Russia, 344022, Rostov-on-Don, st. Sotsialisticheskaya, 162.

**Dmitry A. Zakharov**, Postgraduate student.

E-mail: [mity.zakharov@yandex.ru](mailto:mity.zakharov@yandex.ru)

Academy of construction and architecture of Don state technical university.

Russia, 344022, Rostov-on-Don, st. Sotsialisticheskaya, 162.

**Oleg I. Zhivotkov**, Postgraduate student.

E-mail: [zvoleg@list.ru](mailto:zvoleg@list.ru)

Academy of construction and architecture of Don state technical university.

Russia, 344022, Rostov-on-Don, st. Sotsialisticheskaya, 162.

*Received in April 2018*

### Для цитирования:

Козлов А.В., Захаров Д.А., Животков И.О. Изучение свойств золы-уноса Новочеркасской ГРЭС и поиск области ее применения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №7. С. 12–17. DOI: 10.12737/article\_5b4f02b0ad1bf3.90578520.

### For citation:

Kozlov A.V., Zakharov D.A., Zhivotkov O.I. Study of fly-ash properties of the novocherkassk state district hydroelectric power station and searching of the sphere of its application. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no.7, pp. 12–17. DOI: 10.12737/article\_5b4f02b0ad1bf3.90578520.