

# 1 Домашнее задание №8: «обобщённые типовые системы»

1. Укажите тип (род) в исчислении конструкций для следующих выражений (при необходимости определите типы используемых базовых операций и конструкций самостоятельно) и докажите его:

(a) Функция возведения целого числа в квадрат:  $\text{sq } x = x \star x$

*Решение.*

$$\frac{\vdash \text{int} : \star \quad x : \text{int} \vdash x \star x : \text{int} \quad x : \text{int} \vdash \text{int} : \star}{\vdash (\lambda x^{\text{int}}. x \star x) : (\Pi x^{\text{int}}. \text{int})}$$

$$\frac{\vdash \text{int} : \star \quad x : \text{int} \vdash \text{int} : \star}{\vdash (\Pi x^{\text{int}}. \text{int}) : \star}$$

□

(b) `sizeof`

(c) `std::map`

`Compare`, `Allocate` опущены, там то же самое.

*Решение.*

$$\frac{\vdash \star : \square \quad \frac{\vdash \star : \square \quad \vdash \star : \square}{k : \star, v : \star \vdash \star : \square} \text{ослабл.} \quad \Pi}{\vdash \star : \square \quad \frac{k : \star \vdash \Pi v^*. \star : \square}{\vdash \Pi k^*. (\Pi v^*. \star) : \square} \Pi} \Pi$$

□

(d) Монада `ST` из Хаскеля.

*Решение.* Кажется, то же самое, что и `std::map`. Вся магия `ST` в `runST` — она второго `kinda`, но нас это не волнует. □

- (e) Пусть задано выражение рода **`nonzero`** :  $\star \rightarrow \star$ , выбрасывающее нулевой элемент из типа. Например, **`nonzero unsigned`** — тип положительных целых чисел. Определите, каков в коде

```
template<typename T, T x>
struct NonZero { const static std::enable_if_t<x ≠ T(0), T> value = x; };
```

будет тип (род) поля `value`.

*Решение.*  $\star \rightarrow \text{nonzero } \star$

$$\frac{\vdash \star : \square \quad x : \star \vdash \text{nonzero } x : \star}{\vdash (\Pi x^*. \text{nonzero } x) : \star}$$

□

2. Приведём следующее странное рассуждение: если мы рассмотрим правый нижний дальний угол лямбда-куба, соответствующий  $S = \{\langle \star, \star \rangle, \langle \star, \square \rangle, \langle \square, \star \rangle\}$ , то можем заметить, что теоретически возможно существование функций, отображающих тип в значение — а потом значение в тип (например, по типу вернуть его название в строке, изменить его, а потом по изменённому названию построить другой тип).

Поясните, почему тем не менее необходимо существование случая  $\langle \square, \square \rangle$  в аксиоматике, почему всё равно мы не сможем формально построить функции рода  $\Pi x^\star. F x$  в такой теории.

*Решение.* По какому правилу мы получим  $(\Pi x^\star. F x) : \square$ ?

$$\frac{\Gamma \vdash \star : \star \quad \dots}{\Gamma \vdash (\Pi x^\star. F x) : \square} \text{ П-правило}$$

Такого не может быть, потому что если  $\Gamma \vdash \star : \star$ , то  $\star \rightarrow \star : \star$ , но  $\star \rightarrow \star : \square$ .

- Очевидно по  $\lambda$ -правилу, аксиоме и начальному правилу не может быть.
- Применение откладывает доказательство искомого “на потом”:

$$\frac{\Gamma \vdash \varphi : (\Pi y^A. B) : s \quad \Gamma \vdash a : A}{\Gamma \vdash (\varphi a) \equiv \Pi q x^\star. F x : (B[y := A]) \equiv \square} \text{ применение}$$

$$B \equiv \Pi x^\star. F' y x$$

Нужно найти тип  $B$ , что сводится к исходной задаче.

- $\beta$ -редукция из преобразования не поможет — не работает на  $S$ .
- Для ослабления нужно опять доказать искомое.

□

3. Предложите выражение на языке C++ (возможно, использующее шаблоны), имеющее следующий род (тип):

(a) `int`  $\rightarrow$  `( $\star \rightarrow \star$ )`

```
#define bruh(n, t) std::array<t, n>
```

(b) `( $\star \rightarrow$  int)  $\rightarrow$   $\star$`

```
1  template<template <typename> typename T>
2      requires std::is_same_v<
3          std::decay_t<decltype(T<std::nullptr_t>::value)>, // no way to
           check template
```

```

4         int>
5     class answer
6     {};
7
8     template<typename T>
9     struct sizeof_v
10    {
11        static constexpr int value = sizeof(T);
12    };

```

(c)  $\Pi x^*. n^{\text{int}}. F(n, x)$ , где

$$F(n, x) = \begin{cases} \text{int}, & n = 0 \\ x \rightarrow F(n, x), & n > 0 \end{cases}$$

Решение.

```

template<typename x, unsigned n>
struct answer
{
    static constexpr auto get(x const&)
    {
        return answer<x, n-1>::get;
    }
};

template<typename x>
struct answer<x, 0>
{
    static constexpr int get()
    {
        return 0;
    }
};

#include <iostream>

int main()
{
    std::cout << answer<int, 2>::get(0)(1)() << std::endl; // prints 0
}

```

□

4. Аналогично типу  $\Pi$ , мы можем ввести тип  $\Sigma$ , соответствующий квантору суще-

ствования в смысле изоморфизма Карри-Ховарда.

- (a) Определите правила вывода для  $\Sigma$  в обобщённой типовой системе (воспользуйтесь правилами для экзистенциальных типов в системе  $F$ ).
- (b) Укажите способ выразить  $\Sigma$  через  $\Pi$  (также воспользуйтесь идеями для системы  $F$ ).

$$\text{pack } \tau, M \text{ to } \Sigma \alpha. \sigma = \lambda \beta^*. \lambda x^{\Pi \alpha^*. \sigma \rightarrow \beta}. x \tau M : \Pi \beta^*. (\Pi \alpha^*. \sigma \rightarrow \beta) \rightarrow \beta$$

5. Рассмотрим классы типов в Хаскеле (например, `Num`). Каким образом их можно представить в обобщённой типовой системе? Как формализовать запись типа функции `f :: Num a => a -> a`?