

Оптимальный налог на выбросы парниковых газов в модели с перекрывающимися поколениями

Лоуренс Котликофф
Бостонский университет, Институт Гайдара

Феликс Кублер
Цюрихский университет

Андрей Полбин
Институт Гайдара, РАНХиГС

Джеффри Сакс
Колумбийский университет

Саймон Шейдеггер
Лозаннский университет

24 декабря 2020 г.

- Домохозяйства (перекрывающиеся поколения)
- Производители товаров конечного потребления
- Производители «зеленой» энергии
- Фирмы, добывающие газ
- Фирмы, добывающие уголь
- Фирмы, добывающие нефть
- Государство
- Климатический блок (экономическая деятельность -> выбросы парниковых газов -> глобальное потепление -> ущерб для экономической деятельности)

Модель - Производство товаров конечного потребления и энергии

Товары конечного потребления:

$$Y_t = A_t K_{y,t}^\alpha L_{y,t}^\beta E_t^{1-\alpha-\beta}, \quad (1)$$

Энергия:

$$E_t = S_t + \kappa_O O_t + \kappa_G G_t + \kappa_C C_t. \quad (2)$$

$$S_t = B_t K_{s,t}^\theta L_{s,t}^\varphi H_t^{1-\theta-\varphi}, \quad (3)$$

Из задачи максимизации прибыли:

$$\alpha A_t K_{y,t}^{\alpha-1} L_{y,t}^{\beta} E_t^{1-\alpha-\beta} = r_t + \delta, \quad (4)$$

$$\beta A_t K_{y,t}^{\alpha} L_{y,t}^{\beta-1} E_t^{1-\alpha-\beta} = w_t, \quad (5)$$

$$(1 - \alpha - \beta) A_t K_{y,t}^{\alpha} L_{y,t}^{\beta} E_t^{-\alpha-\beta} = p_t, \quad (6)$$

$$p_t \theta B_t K_{s,t}^{\theta-1} L_{s,t}^{\varphi} H_t^{1-\theta-\varphi} = r_t + \delta, \quad (7)$$

$$p_t \varphi B_t K_{s,t}^{\theta} L_{s,t}^{\varphi-1} H_t^{1-\theta-\varphi} = w_t, \quad (8)$$

$$p_t (1 - \theta - \varphi) B_t K_{s,t}^{\theta} L_{s,t}^{\varphi} H_t^{-\theta-\varphi} = n_t, \quad (9)$$

Издержки добычи энергии типа М:

$$c_t^M(R_t^M) = \left(\xi_1^M + \xi_2^M (R_0^M - R_t^M) + \xi_3^M (R_0^M - R_t^M)^2 + \xi_4^M (R_0^M - R_t^M)^3 + \left(\frac{1}{R_t^M} \right) \right) \quad (10)$$

Задача максимизации стоимости:

$$V_t^M = \sum_{j=0}^{\infty} \left[\left(p_{t+j}^M - c_{t+j}^M(R_{t+j}^M) - \tau_{t+j} \right) M_{t+j} + \mathcal{T}_t^M \right] \left(\prod_{i=0}^j \frac{1}{1 + r_{t+i}} \right), \quad (11)$$

при ограничениях

$$R_t^M = R_{t-1}^M - M_t, \quad (12)$$

$$-R_t^M \leq 0, \quad (13)$$

$$-M_t \leq 0, \quad (14)$$

Условия Куна-Таккера и прочие соотношения

$$p_t^M - c_t^M(R_t^M) - \tau_t - \ell_t^M + \mu_t^M = 0, \quad (15)$$

где

$$p_t^M = \kappa_M p_t. \quad (16)$$

$$\frac{\partial c_t^M(R_t^M)}{\partial R_t^M} M_t + \ell_t^M - \frac{\ell_{t+1}^M}{1 + r_{t+1}} - \psi_t^M = 0, \quad (17)$$

$$M_t \mu_t^M = 0, \quad (18)$$

$$R_t^M \psi_t^M = 0. \quad (19)$$

Стоимость земли определяется как:

$$Q_t = \sum_{j=0}^{\infty} n_{t+j} H \left(\prod_{i=0}^j \frac{1}{1 + r_{t+i}} \right). \quad (20)$$

Максимизация функции благосостояния:

$$U_t = \sum_{j=1}^{55} \frac{1}{(1+\rho)^j} \frac{C_{t+j-1,j}^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma}, \quad (21)$$

при бюджетном ограничении:

$$a_{t+1,j+1} = (1+r_t)a_{t,j} + w_{t,j} + \mathbb{T}_{t,j} - C_{t,j}. \quad (22)$$

Совокупное предложение активов:

$$\sum_{j=1}^{55} P_{t,j} a_{t,j} = K_t + V_t^O + V_t^G + V_t^C + Q_t + D_t, \quad (23)$$

Государственный долг и условия равновесия на рынках факторов

Государственный долг:

$$\mathcal{D}_{t+1} = (1 + r_t)\mathcal{D}_t + \sum_{j=1}^{55} P_{t,j} \mathbb{T}_{t,j}. \quad (24)$$

Условия равновесия на рынке факторов:

$$K_t = K_{y,t} + K_{s,t}. \quad (25)$$

$$L_t \equiv \sum_{j=1}^{55} P_{t,j} l_j = L_{y,t} + L_{s,t}. \quad (26)$$

Задача максимизации благосостояния

$$U_t = \sum_{t=1}^{\infty} P_t \frac{1}{(1+\rho)^t} \frac{C_t^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} \quad (27)$$

при бюджетном ограничении:

$$K_{t+1} + V_{t+1}^O + V_{t+1}^G + V_{t+1}^C + Q_{t+1} = (1+r_t)(K_t + V_t^O + V_t^G + V_t^C + Q_t) + w_t L_t - P_t C_t,$$

$$D_t = 1 - \frac{1}{1 + \pi (T_t^A)^2}. \quad (28)$$

$$A_t = (1 - D_t)Z_t, \quad (29)$$

$$\begin{pmatrix} J_t^A \\ J_t^U \\ J_t^L \end{pmatrix} = \Phi^J \begin{pmatrix} J_{t-1}^A \\ J_{t-1}^U \\ J_{t-1}^L \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} O_t + G_t + C_t \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (30)$$

$$F_t = \eta_1 \log \frac{J_t^A}{J^0}. \quad (31)$$

$$\begin{pmatrix} T_t^A \\ T_t^L \end{pmatrix} = \Phi^T \begin{pmatrix} T_{t-1}^A \\ T_{t-1}^L \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \eta_2 F_t \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (32)$$

Численный алгоритм решения модели с перекрывающимися поколениями

Делается первое приближение для траекторий агрегированного капитала K_t^1 и производительности A_t^1 . Далее до сходимости повторяется следующая процедура:

- При заданных K_t^i и A_t^i вычисляется распределение капитала и труда между секторами экономики, цены факторов производства, объемы добычи углеводородов на основе условий оптимального поведения фирм и условий равновесия
- Вычисляется предложение капитала K_t^* на основе решения задачи домохозяйств и траектория производительности A_t^* на основе выбросов парниковых газов и температуры
- Делается $i + 1$ приближение для траекторий агрегированного капитала и производительности: $K_t^{i+1} = 0.8K_t^i + 0.2K_t^*$,
 $A_t^{i+1} = 0.8A_t^i + 0.2A_t^*$

Численный алгоритм решения модели с перекрывающимися поколениями

- После окончания добычи углеводородов распределение капитала и труда между секторами находится аналитически:

$$K_{y,t} = \frac{\alpha}{\theta(1-\beta) + \alpha(1-\theta)} K_t, \quad (33)$$

$$K_{s,t} = \frac{(1-\alpha-\beta)\theta}{\theta(1-\beta) + \alpha(1-\theta)} K_t, \quad (34)$$

$$L_{y,t} = \frac{\beta}{\varphi(1-\alpha) + \beta(1-\varphi)} L_t, \quad (35)$$

$$L_{s,t} = \frac{\varphi(1-\alpha-\beta)}{\varphi(1-\alpha) + \beta(1-\varphi)} L_t. \quad (36)$$

Распределение капитала и труда между секторами при ненулевой добыче углеводородов

$$K_t = K_{y,t} + K_{s,t}, \quad (37)$$

$$L_t = L_{y,t} + L_{s,t}, \quad (38)$$

$$\alpha A_t K_{y,t}^{\alpha-1} L_{y,t}^{\beta} E_t^{1-\alpha-\beta} = r_t + \delta \quad (39)$$

$$\beta A_t K_{y,t}^{\alpha} L_{y,t}^{\beta-1} E_t^{1-\alpha-\beta} = w_t \quad (40)$$

$$(1 - \alpha - \beta) A_t K_{y,t}^{\alpha} L_{y,t}^{\beta} E_t^{-\alpha-\beta} = p_t, \quad (41)$$

$$E_t = S_t + \kappa_O O_t + \kappa_G G_t + \kappa_C C_t. \quad (42)$$

$$S_t = B_t K_{s,t}^{\theta} L_{s,t}^{\varphi} H^{1-\theta-\varphi}, \quad (43)$$

$$p_t \theta B_t K_{s,t}^{\theta-1} L_{s,t}^{\varphi} H^{1-\theta-\varphi} = r_t + \delta, \quad (44)$$

$$p_t \varphi B_t K_{s,t}^{\theta} L_{s,t}^{\varphi-1} H^{1-\theta-\varphi} = w_t, \quad (45)$$

$$\kappa_O p_t - c_t^O (R_t^O) - \tau_t - \ell_t^O + \mu_t^O = 0, \quad (46)$$

$$\kappa_G p_t - c_t^G (R_t^G) - \tau_t - \ell_t^G + \mu_t^G = 0, \quad (47)$$

$$\kappa_C p_t - c_t^C(R_t^C) - \tau_t - \ell_t^C + \mu_t^C = 0, \quad (48)$$

$$\frac{\partial c_t^O(R_t^O)}{\partial R_t^O} O_t + \ell_t^O - \frac{\ell_{t+1}^O}{1+r_{t+1}} = 0, \quad (49)$$

$$\frac{\partial c_t^G(R_t^G)}{\partial R_t^G} G_t + \ell_t^G - \frac{\ell_{t+1}^G}{1+r_{t+1}} = 0, \quad (50)$$

$$\frac{\partial c_t^C(R_t^C)}{\partial R_t^C} C_t + \ell_t^C - \frac{\ell_{t+1}^C}{1+r_{t+1}} = 0, \quad (51)$$

$$R_t^O = R_{t-1}^O - O_t, \quad (52)$$

$$R_t^G = R_{t-1}^G - G_t, \quad (53)$$

$$R_t^C = R_{t-1}^C - C_t, \quad (54)$$

$$O_t \mu_t^O = 0, \quad (55)$$

$$G_t \mu_t^G = 0, \quad (56)$$

$$C_t \mu_t^C = 0. \quad (57)$$

- Представленный алгоритм позволяет решить модель при "произвольной" траектории налогов.
- Задается сетка с шагом в 1\$ для начального уровня налога и с шагом 0.5% для его темпа прироста в год.
- В модели ILA в качестве оптимальной траектории налога выбирается та, которая дает максимум функции общественного благосостояния (27)
- В модели OLG – которая дает максимальное увеличение в благосостоянии по сравнению с политикой невмешательства а) для всех поколений, б) для нынеживущих поколений, с) для будущих поколений
- В модели OLG перераспределение благосостояния достигается за счет трансфертов и накопления государственного долга

- Параметры климатического, демографического и экономического блока калибруются на основе работы (Nordhaus, 2017).
- Издержки добычи углеводородов калибруются на основе работы (McGlade, Ekins, 2015)
- Расчеты проводятся при альтернативных вариантах калибровки чувствительности ущерба к глобальному потеплению

Ущерб в сценариях нулевого и оптимального налога

Таблица: Ущерб в процентах ВВП по годам

	t=0	t=10	t=50	t=100	t=150	t=200	t=250	t=300
1x, BAU	0.17	0.29	1.77	5.08	7.28	7.70	7.72	7.65
1x, UWI	0.17	0.27	1.16	2.53	2.89	2.93	2.89	2.84
3x, BAU	0.51	0.87	5.09	13.49	18.01	18.77	18.79	18.62
3x, UWI	0.51	0.79	2.56	4.96	5.52	5.56	5.49	5.38
6x, BAU	1.01	1.72	9.58	23.05	28.69	29.55	29.53	29.27
6x, UWI	1.01	1.55	4.66	7.99	8.61	8.62	8.49	8.31

BAU - политика невмешательства (нулевой налог), UWI - сценарий оптимального налога с равномерным увеличением благосостояния для всех поколений, 1x, 3x, и 6x соответствуют однократному, трехкратному и шестикратному значению параметра ущерба π из работы (Nordhaus, 2017)

Оптимальная политика с равномерным увеличением благосостояния

Таблица: Оптимальные траектории налога и соответствующие выигрыши в благосостоянии

ρ	g_P	1x π_{DICE}			3x π_{DICE}			6x π_{DICE}		
		τ_0	g_τ	λ	τ_0	g_τ	λ	τ_0	g_τ	λ
0.8%	-0.5%	\$33	1.5%	1.08%	\$56	1.5%	3.25%	\$78	1.5%	5.58%
1.5%	-0.5%	\$23	2%	0.73%	\$49	1.5%	2.59%	\$70	1.5%	4.68%
3%	-0.5%	\$13	2%	0.24%	\$34	1.5%	1.27%	\$51	1.5%	2.75%
1.5%	-0.1%	\$28	1.5%	0.71%	\$49	1.5%	2.52%	\$70	1.5%	4.58%
1.5%	-1%	\$23	2%	0.73%	\$49	1.5%	2.60%	\$70	1.5%	4.74%
1.5%	-2%	\$23	2%	0.66%	\$50	1.5%	2.46%	\$73	1.5%	4.61%

ρ норма межвременных предпочтений, g_P долгосрочный темп прироста цен на энергию, τ_0 начальное значение налога, g_τ темп прироста налога, λ выигрыш в благосостоянии, измеренный в терминах эквивалентной вариации потребления

Оптимальная политика в зависимости от вариантов распределения выигрыша

Таблица: Оптимальные траектории налога и соответствующие выигрыши в благосостоянии в зависимости от вариантов распределения выигрыша*

	1x π_{DICE}			3x π_{DICE}			6x π_{DICE}		
	τ_0	g_T	λ	τ_0	g_T	λ	τ_0	g_T	λ
Равномерно	\$23	2%	0.73%	\$49	1.5%	2.59%	\$70	1.5%	4.68%
Нынеживущим	\$22	2%	1.82%	\$43	1.5%	5.44%	\$59	1.5%	8.90%
Будущим	\$24	2%	1.20%	\$55	1.5%	4.70%	\$83	1.5%	9.22%

* $\rho = 1.5\%$, $g_P = -0.5\%$

Оптимальная политика - OLG против ILA

Таблица: Оптимальные траектории налога и соответствующие выигрыши в благосостоянии в модели с перекрывающимися поколениями (OLG) и в модели с бесконечно живущим экономическим агентом (ILA)

Model	ρ	1x π_{DICE}			3x π_{DICE}			6x π_{DICE}		
		τ_0	g_T	λ	τ_0	g_T	λ	τ_0	g_T	λ
OLG	0.8%	\$33	1.5%	1.08%	\$56	1.5%	3.25%	\$78	1.5%	5.58%
ILA	0.8%	\$34	2%	1.29%	\$83	2.5%	5.73%	\$144	3%	12.38%
OLG	1.5%	\$23	2%	0.73%	\$49	1.5%	2.59%	\$70	1.5%	4.68%
ILA	1.5%	\$19	2.5%	0.50%	\$57	2%	3.16%	\$99	2.5%	7.24%
OLG	3%	\$13	2%	0.24%	\$34	1.5%	1.27%	\$51	1.5%	2.75%
ILA	3%	\$7	2.5%	0.07%	\$30	2%	1.00%	\$43	2.5%	2.77%

Процентные ставки в моделях OLG и ILA

Таблица: Процентные ставки (процентов в год)

	t=0	t=10	t=50	t=100	t=150	t=200	t=250
OLG, BAU, 1x π_{DICE} , $\rho = 0.8\%$	4.3	4.0	3.3	3.3	3.5	3.6	3.6
OLG, OP, 1x π_{DICE} , $\rho = 0.8\%$	4.1	4.1	3.8	4.5	5.0	5.1	5.1
ILA, BAU, 1x π_{DICE} , $\rho = 0.8\%$	4.3	3.6	3.4	3.5	3.7	3.7	3.7
ILA, OP, 1x π_{DICE} , $\rho = 0.8\%$	4.1	3.5	3.5	3.7	3.7	3.7	3.7
OLG, BAU, 1x π_{DICE} , $\rho = 1.5\%$	4.3	4.3	3.7	3.8	4.0	4.0	4.0
OLG, OP, 1x π_{DICE} , $\rho = 1.5\%$	4.2	4.4	4.1	4.8	5.3	5.4	5.4
ILA, BAU, 1x π_{DICE} , $\rho = 1.5\%$	4.3	4.1	4.1	4.2	4.4	4.4	4.5
ILA, OP, 1x π_{DICE} , $\rho = 1.5\%$	4.2	4.1	4.2	4.4	4.4	4.5	4.5
OLG, BAU, 1x π_{DICE} , $\rho = 3\%$	4.4	5.3	5.0	5.2	5.4	5.4	5.4
OLG, OP, 1x π_{DICE} , $\rho = 3\%$	4.3	5.4	5.3	5.7	6.1	6.2	6.2
ILA, BAU, 1x π_{DICE} , $\rho = 3\%$	4.4	5.3	5.6	5.7	5.9	6.0	6.0
ILA, OP, 1x π_{DICE} , $\rho = 3\%$	4.3	5.3	5.7	5.8	6.0	6.0	6.0
OLG, BAU, 6x π_{DICE} , $\rho = 0.8\%$	4.2	3.9	2.9	2.9	3.4	3.5	3.6
OLG, OP, 6x π_{DICE} , $\rho = 0.8\%$	3.9	4.4	5.0	7.1	8.2	8.3	8.4
ILA, BAU, 6x π_{DICE} , $\rho = 0.8\%$	4.2	3.4	2.9	3.0	3.6	3.7	3.7
ILA, OP, 6x π_{DICE} , $\rho = 0.8\%$	3.8	3.4	3.5	3.7	3.7	3.7	3.7
OLG, BAU, 6x π_{DICE} , $\rho = 1.5\%$	4.2	4.2	3.3	3.4	3.9	4.0	4.1
OLG, OP, 6x π_{DICE} , $\rho = 1.5\%$	3.9	4.6	5.3	7.3	8.3	8.5	8.5
ILA, BAU, 6x π_{DICE} , $\rho = 1.5\%$	4.2	4.0	3.6	3.7	4.3	4.4	4.5
ILA, OP, 6x π_{DICE} , $\rho = 1.5\%$	3.9	3.9	4.0	4.4	4.4	4.5	4.5
OLG, BAU, 6x π_{DICE} , $\rho = 3\%$	4.3	5.2	4.5	4.8	5.3	5.4	5.4
OLG, OP, 6x π_{DICE} , $\rho = 3\%$	4.0	5.5	6.2	8.1	9.0	9.2	9.2
ILA, BAU, 6x π_{DICE} , $\rho = 3\%$	4.3	5.1	5.1	5.3	5.9	6.0	6.0
ILA, OP, 6x π_{DICE} , $\rho = 3\%$	4.0	5.1	5.5	5.9	6.0	6.0	6.0

*BAU - политика невмешательства, OP - оптимальная политика

Спасибо за внимание!