

10. Читайя, Г. О. Факторный анализ промышленного развития макрорегионов России / Г. О. Читайя // Вопр. статистики. — 2006. — № 2.
Chitaya, G. O. Factor analysis of industrial development of macroregions in Russia / G. O. Chitaya // Statistics Iss. — 2006. — № 2.
11. Бараков, В. С. Многофакторная модель эмпирического анализа экономического развития макрорегионов с учетом потенциала модернизации / В. С. Бараков // Вестн. Волгоград. гос. ун-та. Сер. 3, Экономика. Экология. — 2013. — № 1 (22). — С. 72–76.
Barakov, V. S. Multifactor model of empirical analysis of economic development of macroregions, taking into account the potential for modernization / V. S. Barakov // Bull. of Volgograd State Univ. Ser. 3, Economy. Ecology. — 2013. — № 1 (22). — P. 72–76.
12. Мокеев, В. В. Об использовании метода главных компонент для анализа деятельности предприятия / В. В. Мокеев, К. Л. Соломахо // Вестн. Южно-Урал. гос. ун-та. — 2013. — № 3. — С. 41–45.
Mokeyev, V. V. On the use of the method of principal components for the analysis of the enterprise / V. V. Mokeyev, K. L. Solomaho // Bull. of the South Ural State Univ. — 2013. — № 3. — P. 41–45.
13. Малинецкий, Г. Г. Современные проблемы нелинейной динамики / Г. Г. Малинецкий, А. В. Потапов. — М.: УРСС, 2000. — 213 с.
Malinetskiy, G. G. Modern problems of nonlinear dynamics / G. G. Malinetskiy, A. V. Potapov. — Moscow: URSS, 2000. — 213 p.
14. Каханер, Д. Численные методы и программное обеспечение / Д. Каханер, К. Моулер, С. Нэш. — М.: Мир, 1998. — 351 с.
Kahaner, D. Numerical methods and software / D. Kahaner, K. Moler, S. Nesh. — Moscow: Mir, 1998. — 351 p.
15. Терещенко, О. В. Многомерный статистический анализ данных в социальных науках / О. В. Терещенко, Н. В. Курилович, Е. И. Князева. — Минск: БГУ, 2012. — 239 с.
Tereschenko, O. V. Multivariate statistical data analysis in social sciences / O. V. Tereschenko, N. V. Kurilovich, E. I. Knyazeva. — Minsk: BSU, 2012. — 239 p.
16. Тихомиров, Н. П. Эконометрика / Н. П. Тихомиров, Е. Ю. Дорохина. — М.: Изд-во Рос. экон. акад., 2002. — 640 с.
Tikhomirov, N. P. Econometrics / N. P. Tikhomirov, E. U. Dorohina. — Moscow: Publ. House of Russ. Econ. Acad., 2002. — 640 p.

Статья поступила в редакцию 20.12.2018 г.

УДК 330.45:519.8:633(476)

К. Nikitina
BSEU (Minsk)

OPTIMIZATION OF CROP STRUCTURE BASED ON FODDER BASE IN ORGANIC FARMING

The article is dedicated to the development of an optimization model of the structure of crop production, involving a phased transition to organic farming for the planned period, based on fodder base of cattle. The design of the optimality criterion was carried out from the standpoint of such a kind of crop rotation, which contributes to the growth of soil fertility on a fixed total area of farming. The linear optimization model for the enterprise in question includes 300 variables and 66 constraints in the form of equations and inequalities, as well as constraints on the nonnegativity of variables. The computer implementation of the model was carried out using the Octave program code.

Keywords: crop production; organic farming; crop rotation; humus layer in the soil; optimality criterion; model constraints; fodder base; optimal structure of crop production.

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ РАСТЕНИЕВОДСТВА С УЧЕТОМ ФОРМИРОВАНИЯ КОРМОВОЙ БАЗЫ В ОРГАНИЧЕСКОМ СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Статья посвящена разработке оптимизационной модели структуры растениеводства, предполагающей поэтапный переход к органическому хозяйству за планируемый период, с учетом сформированной кормовой базой для крупного рогатого скота. Конструирование критерия оптимальности осуществлено с позиции такого режима чередования высевания культур, который способствует росту плодородия почвы на фиксированной по величине общей площади ведения земледелия хозяйством. Линейная оптимизационная модель для рассматриваемого предприятия включает 300 переменных и 66 ограничений в виде уравнений и неравенств, а также ограничения на неотрицательность переменных. Компьютерная реализация модели осуществлена с использованием программного кода Octave.

Ключевые слова: растениеводство; органическое хозяйство; севооборот; слой гумуса в почве; критерий оптимальности; ограничения модели; кормовая база; оптимальная структура растениеводства.

Республика Беларусь располагает обширными сельскохозяйственными угодьями, высоким потенциалом эффективного изменения структуры посевных площадей, возможностями ее ориентации к стимулированию производства экологически чистой продукции растениеводства и животноводства. Формирование рынка органических продуктов является перспективным направлением развития агропромышленного производства, так как здоровье населения и качество жизни во многом обусловлены производством и потреблением экологически чистых продуктов. Органическое земледелие в Республике Беларусь в настоящее время находится на начальной стадии развития. Это связано с существованием ряда проблем, не позволяющих наращивать его темпы, а именно низкая рентабельность производства (особенно на этапе переходного периода) из-за отсутствия технологий органического земледелия и нормативно-правовой базы в данной отрасли, предусматривающей господдержку органических сельхозпроизводителей, практикуемую во всех развитых странах мира, успешно развивающих органическое земледелие [1].

Актуальными проблемами являются выделение влияющих на структуру сельского хозяйства приоритетных факторов, разработка и реализация комплекса экономико-математических моделей, позволяющих обосновать направления увеличения выхода экологически чистой продукции. В зависимости от отраслевой ориентации хозяйства порядок перехода к органическому производству может существенно отличаться. Переход к производству органической молочной продукции целесообразно начинать с анализа существующей структуры растениеводства, оценки плодородности земель (слой гумуса, содержание питательных веществ, в том числе азота, в почве) и ее зависимости от внесения химических и органических удобрений. С учетом рекомендаций агрохимиков по рациону кормления крупного рогатого скота в органическом сельском хозяйстве и соблюдением рекомендаций по севообороту культур можно построить оптимизационную модель перехода к подобному типу хозяйства. Критерием оптимальности предлагается взять кумулятивное положительное влияние на вырабатываемый слой гумуса при дополнительных ограничениях по структуре растениеводства в хозяйстве, осуществляющем органическое животноводство молочного направления.

При рассмотрении сельскохозяйственного предприятия, ориентированного на органическое молочное производство (ОАО «Мядельское агропромэнерго»), целью которого

является максимизация выхода готовой продукции, ключевой составляющей в комплексе экономико-математических моделей выступает оптимизационная модель рациона кормления животных со стандартными ограничениями на площади под посев, а также содержание питательных веществ в рационе. Однако для перехода к органическому сельскому хозяйству необходимо выполнение ряда требований, которые формируют дополнительную группу ограничений. В связи с отсутствием Закона об органическом земледелии и животноводстве в Республике Беларусь на данном этапе информационной базой ограничений может выступать Директива ЕС № 834/2007 от 28 июня 2007 г. по органическому производству и маркировке органических продуктов и отмены Директивы (ЕС) № 2092/91 [2]. Например, условия содержания животных могут конфликтовать с экономическими целями, кроме того, органическое сельское хозяйство предполагает предоставление всем животным больших площадей по сравнению с традиционным сельским хозяйством, чтобы они могли вести себя, как свойственно их виду. Если для содержания молочных коров и откормочных быков в традиционном сельском хозяйстве не существует законодательных актов, то крупный рогатый скот в органическом сельском хозяйстве должен иметь регулярный выгул и может содержаться только на небольших предприятиях, где предоставляется пастбищное содержание или регулярный выгул [3].

Каждый вид сельскохозяйственных животных выполняет специфическую экологическую функцию во внутрихозяйственной производственной системе, хотя и имеет место тенденция специализации хозяйств на одном определенном виде животных. Жвачные могут употреблять как легкоперевариваемую пищу, так и содержащие волокна части растений, напрямую не пригодные для питания человека (например, молодая поросль на пастбищах, клеверозлаковая травосмесь). В связи с этим они имеют исключительное значение для органического сельского хозяйства, в котором большую долю сельскохозяйственных угодий составляют многолетние пастбища и посевы клеверозлаковой травосмеси. В целом уровень использования концентрированного корма значительно ниже, чем у интенсивных хозяйств, во-первых, по причине высокой стоимости органического концентрированного корма, а во-вторых, ввиду учета естественных потребностей и возможностей жвачных животных в потреблении грубых кормов. Разрешается использовать только те корма, которые прошли сертификацию в соответствии с Директивой ЕС об органическом производстве, которая регулирует процесс изготовления и маркировки органического комбикорма. Однако цель максимального самообеспечения кормами в большинстве хозяйств может быть достигнута лишь с оговорками, поскольку не везде представляется возможным выращивать все виды кормов, обеспечивающие взвешенный рацион. В таких случаях требуются дополнительная покупка высококачественных компонентов и сотрудничество с сертифицированными органическими производителями комбикормов [3].

В стабильных естественных экосистемах круговорот веществ в основном является замкнутым, а потери гумуса и его восстановление путем разложения отмерших частей растений и животных приблизительно уравниваются. Органические сельские хозяйства должны стремиться замкнуть круговорот веществ. Потери питательных веществ могут быть отчасти восполнены естественным путем за счет выветривания местных почвенных минералов и посредством биологической фиксации азота. Для плодородия почвы ключевое значение имеет сохранение и увеличение содержания гумуса за счет внесения необходимого количества органических удобрений. В животноводческих хозяйствах органические удобрения являются продуктом собственного производства, количество которого ограничено, так как размеры поголовья в хозяйстве привязаны к размерам имеющихся сельхозугодий. Первостепенная важность наращивания слоя гумуса становится отправным пунктом в конструировании критерия оптимальности в задаче оптимизации структуры растениеводства переходного периода. В органическом земледелии гумус и удобрения обеспечивают плодородие почвы и тем самым стимули-

руют его естественные процессы, позволяющие хорошо развиваться здоровым культурным растениям. Биологическая фиксация азота бобовыми культурами является основным поступлением азота в хозяйстве. Поскольку в результате продажи животноводческой и растениеводческой продукции питательные вещества выносятся из внутривозвращенного круговорота, то их запасы в почве приходится пополнять за счет специально подобранных органических и зеленых удобрений, а также путем введения севооборота. Критерий оптимальности, позволяющий соизмерять различные варианты увеличения слоя гумуса в почве, в оптимизационной задаче находит соответствующее выражение в целевой функции. Целевая функция, выраженная как разность между площадью, на которой выращиваются культуры с положительным влиянием на содержание гумуса в почве, и площадью под культуры с отрицательным, будет характеризовать эффект влияния найденной структуры на формирование слоя гумуса. К группе с положительным влиянием относятся зернобобовые и бобово-злаковые, однолетние и многолетние травы, с отрицательным — зерновые и масличные культуры, кукуруза, овощи.

Пусть рассматривается T периодов для перехода на производство органической продукции ($t = 1, T$), n — количество культур, которые целесообразно выращивать в рассматриваемом хозяйстве, m — количество полей в базовом периоде (базовый период отвечает этапу до введения новой структуры севооборота). Тогда x_{ijt} — площадь, отводимая под посев i -й культуры на j -й посевной площади (т.е. на которой в период $(t - 1)$ выращивалась j -я культура (для первого периода исходя из имеющейся информации о посевах в базисном периоде $j = 1, m$ для последующий лет $j = 1, n$, так как в рассмотрение включены все планируемые культуры) в году t ; c_i — коэффициент влияния i -й культуры на слой гумуса, причем:

$$c_i = \begin{cases} -1, & \text{при отрицательном влиянии } i\text{-й культуры на гумус,} \\ 1, & \text{при положительном влиянии } i\text{-й культуры на гумус.} \end{cases}$$

Целевую функцию можно записать следующим образом:

$$f(x) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n c_i x_{ij1} + \sum_{t=2}^T \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n c_i x_{ijt} \rightarrow \max. \quad (1)$$

Положительное влияние на слой гумуса может быть оказано с помощью тщательного планирования севооборота — последовательность формирующих гумус культур и культур, потребляющих гумус на поле на протяжении цикла в течение нескольких лет. Основной задачей севооборота является обеспечение рентабельности хозяйств путем формирования плодородия почвы для долгосрочной производительности. Для животноводческого хозяйства основной целью введения севооборота является производство органических высококачественных кормов, что может получиться из комбинации различных положительных влияний севооборота: улучшение структуры почвы, воспроизведение гумуса, мобилизация питательных веществ, минимизация эрозии, сокращение сорняков. Построение модели оптимизации системы севооборотов в хозяйстве предлагает соблюдение требований, предъявляемых к севооборотам, учет их роли в экономике предприятия. С точки зрения агротехнических мероприятий севообороты служат средством сохранения и повышения плодородия почвы. Вместе с тем севообороты представляют собой конкретную форму размещения посевов сельскохозяйственных культур на полях, в которых заложена основа структуры посевных площадей в хозяйстве [4, 5].

Так как структура посевов до оптимизации известна, то группа ограничений на площадь посевов с учетом севооборота для первого года (периода), будет представлена равенствами (2), где S_j — площадь посева j -й культуры за базовый год и S — общая площадь посевов ($\sum_{j=1}^m S_j = S$) и может быть представлена в виде:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_{ij1} = S_j, \quad j = \overline{1, m}, \quad (2)$$

где $a_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{при нецелесообразности посева культуры } i \text{ на участке } j \\ & \text{(т. е. после посева } j\text{-й культуры в период } (t-1)); \\ 1, & \text{при целесообразности посева культуры } i \text{ на участке } j \\ & \text{(т. е. после посева } j\text{-й культуры в период } (t-1)). \end{cases}$

В той связи, что площадь, отведенная под i -ю культуру в году t может быть использована в году $(t+1)$ под посев нескольких культур и наоборот, то появляется необходимость введения ограничений на площадь посевов для последующих лет, которые будут иметь следующий вид:

$$-\sum_{i=1}^n x_{ij(t-1)} + \sum_{i=1}^n a_{ij} x_{ijt} = 0, \quad j = \overline{1, n}, \quad t = \overline{2, T}. \quad (3)$$

Добавляем ограничения на общую площадь посевов:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij1} &= S; \\ \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n x_{ijt} &= S, \quad t = \overline{2, T}. \end{aligned} \quad (4)$$

Существует ограничение, которое позволяет выделять под зерновые культуры не более 52 % посевных площадей. Примем обозначения:

$$b_i = \begin{cases} 0, & \text{если } i\text{-я культура не принадлежит к зерновым культурам;} \\ 1, & \text{если } i\text{-я культура принадлежит к зерновым культурам.} \end{cases}$$

В общем виде ограничения запишутся следующим образом:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n b_i x_{ij1} &\leq 0,52 \cdot S; \\ \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n b_i x_{ijt} &\leq 0,52 \cdot S, \quad t = \overline{2, T}. \end{aligned} \quad (5)$$

В модели целесообразно учесть рациональное использование машинно-тракторного парка, который принимает участие в посеве культур и сборе урожая. Очевидно, что использование машин для обслуживания небольших площадей будет нерентабельным и окажет негативное влияние на конечный экономический результат. Предлагается добавить группу ограничений на минимальную площадь посева культур, которую можно взять как минимальную из площадей под кормовые культуры в базовом периоде.

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^m x_{ij1} &\geq \min(S_j), \quad i = \overline{1, n}; \\ \sum_{j=1}^n x_{ijt} &\geq \min(S_j), \quad i = \overline{1, n}, \quad t = \overline{2, T}. \end{aligned} \quad (6)$$

Также необходимо включить в модель ограничения на неотрицательность переменных:

$$\begin{aligned} x_{ij1} &\geq 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}; \\ x_{ijt} &\geq 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, n}, \quad t = \overline{2, T}. \end{aligned} \quad (7)$$

Для апробации модели была проанализирована бухгалтерская отчетность ОАО «Мядельское агропромэнерго» по растениеводству. К уже выращиваемым культурам: рожь,

тритикале, кукуруза, овес, однолетние и многолетние травы — были добавлены отдельной графой горох, вико-бобовая смесь (в основном сено), люцерна (в основном сенаж) и зерновые на производство комбикормов с целью анализа их включения в севооборот как кормовых культур для уже составленных рационов крупного рогатого скота молочного направления агрохимиком рассматриваемого хозяйства, которые можно представить в таблице как структуру кормовой площади для крупного рогатого скота (табл. 1).

Таблица 1. Состав и структура кормовой площади для КРС

Культура	Площадь, га
Ячмень	27
Тритикале	61
Кукуруза (в том числе на силос)	96
Люпин	63
Овес	25
Горох	63
Люцерна	104
Многолетние бобово-злаковые травы	236
Вико-овсяная смесь	21
Зерновые культуры, убранные в стадии молочно-восковой спелости	224
Итого	920

Источники: составлено автором на основе [6].

Таким образом, на основании данных табл. 1 были приняты следующие величины: $S = 920$ га. В связи с тем что переход на органическое производство продукции растениеводства осуществляется не менее чем за два года принято $T = 3$. В базовом году было выделено $m = 10$ посевных площадей и $n = 10$ культур, которые целесообразно выращивать в переходном к органическому производству периоде. Таким образом, формируется 300 переменных (100 для каждого периода), 33 ограничения в виде равенств (2)–(4), отражающие требования севооборотов и общей площади посевов, 33 ограничения в виде неравенств (5), отражающих требования к структуре выращиваемых культур, ориентированного на производство органической молочной продукции и соответственно 300 ограничений на неотрицательность типа (6). Представленные в табл. 2 данные отражают полученные результаты, которые можно рассматривать как рекомендации по планированию посевов и поголовья, в виде:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij1}, \quad i = \overline{1, n}, \quad \text{для первого столбца;}$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ijt}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{2, T}, \quad \text{для второго и третьего столбцов.}$$

Таблица 2. Рекомендации по планированию посевов по годам

Культура	1 год	2 год	3 год
1	2	3	4
Ячмень	87,47	102,10	77,04
Тритикале	97,55	111,26	74,36

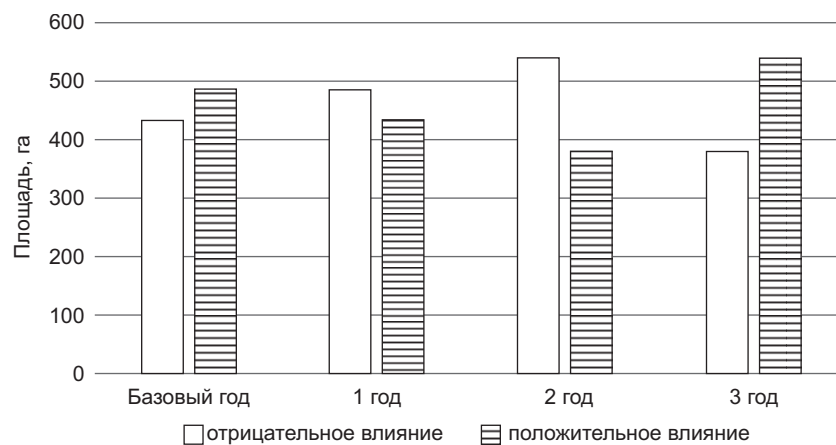
Окончание табл. 2

1	2	3	4
Кукуруза (в том числе на силос)	103,83	111,02	74,65
Люпин	84,74	70,45	94,38
Овес	100,27	107,68	76,91
Горох	87,06	77,36	111,43
Люцерна	87,06	77,36	111,43
Многолетние бобово-злаковые травы	87,06	77,36	111,43
Вико-овсяная смесь	87,06	77,36	111,43
Зерновые культуры, убранные в стадии молочно-восковой спелости	97,89	108,03	76,94
Итого	920,00	920,00	920,00

Источники: составлено автором.

В таблице представлена общая площадь (га) культуры за год t без информации о том, какая культура или культуры ей предшествовали.

Значение целевой функции равно -54 (га), т.е. суммарно за три года площадь посевов культур, отрицательно влияющих на слой гумуса, превышает площадь культур с положительным влиянием на слой гумуса на 54 га, что может свидетельствовать о сохранении плодородия почвы, так как такое преобладание не может считаться значительным для заключения о наличии деградации почв. Анализируя график влияния показанной структуры (см. рисунок) на слой гумуса, видно, что в последний год положительное влияние начало превышать отрицательное, что является закономерным результатом введения севооборота.



Влияние сельскохозяйственных культур на формирование слоя гумуса

Источники: разработано автором.

Источники

1. Практические рекомендации по ведению органического сельского хозяйства в Республике Беларусь / сост.: С. А. Тарасенко, В. В. Ушкевич, Е. М. Хващевская. — Брест : Полиграфика, 2018. — 82 с.

Practical recommendations on the conduct of organic agriculture in the Republic of Belarus / comp. by: S. A. Tarasenko, V. V. Ushkevich, E. M. Khvaschetskaya. — Brest : Polygraphica, 2018. — 82 p.

2. Нормативы органического производства Европейского Сообщества : с изм. и доп. по состоянию на 01.09.13 г. : пер. / материалы подгот.: И. С. Кысса [и др.]. — Минск : Донарит, 2013. — 183 с.

The standards of organic production in the European Community : with changes and add. as of 01.09.13 : transl. / materials prepared : I. S. Kissa [et al.]. — Minsk : Donarite, 2013. — 183 p.

3. 25 вопросов и ответов по органическому сельскому хозяйству : пер. с нем. / Coalition Clean Balt., Центр экол. решений ; сост.: Д. Синицкий, Н. Поречина. — [Б. м. : б. и., 2012?]. — 46 с.

25 questions and answers on organic agriculture : transl. from germ. / Coalition Clean Balt., Center ecological decisions ; comp. by: D. Sinitsky, N. Porechina. — [Without a place : without a publ., 2012?]. — 46 p.

4. Математическое моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве : учебник по экон. спец. / А. М. Гатаулин [и др.]. — М. : Агрпромиздат, 1990. — 431 с.

Mathematical modeling of economic processes in agriculture : textbook on econ. specialties / A. M. Gataulin [et al.]. — Moscow : Agropromizdat, 1990. — 431 p.

5. Кравченко, Р. Г. Экономико-математические методы в организации и планировании сельскохозяйственного производства / Р. Г. Кравченко. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Колос, 1973. — 328 с.

Kravchenko, R. G. Economic-mathematical methods in the organization and planning of agricultural production / R. G. Kravchenko. — 2nd ed., rev. and add. — Moscow : Kolos, 1973. — 328 p.

6. Разработка концепции развития органического сельского хозяйства и механизма его реализации в ОАО «Мядельское агропромэнерго» Мядельского района / Л. В. Корбут [и др.]. — Минск : Белорус. гос. экон. ун-т, 2018. — 132 с.

Development of a concept for the development of organic agriculture and the mechanism for its implementation in «Myadelskoye Agropromenergo» Myadelsky District / L. V. Korbut [et al.]. — Minsk : Belarus State Econ. Univ, 2018. — 132 p.

7. Органическое сельское хозяйство с замкнутым циклом питательных веществ: руководство для фермеров и специалистов : в 4 т. : пер. с англ. — Минск : Полиграфкомбинат, 2015. — Т. 1 : Руководство по управлению фермой / К. Стейн-Бахингер, М. Реклинг, А. Гранштедт. — 136 с.

Organic farming with a closed cycle of nutrients: handbook for farmers and specialists : in 4 t. : transl. from Engl. — Minsk : Polygraphcombinat, 2015. — Т. 1 : Farm Management Guide / K. Stein-Bakhinger, M. Reckling, A. Hrangstedt. — 136 p.

Статья поступила в редакцию 26.12.2018 г.

УДК 339.92 (1-67 ЕАЭС)

V. Ozhigina
BSEU (Minsk)

COOPERATION BETWEEN THE EAEU AND THE CIS IN CONDITIONS OF FORMATION THE GREATER EURASIAN PARTNERSHIP

Characterized the status, opportunities, directions of pairing and complementarity of the CIS and EAEU. The signing of a comprehensive III-generation integration agreement for the inclusion of CIS countries in the common market of goods, services, capital and labor of the EAEU without participation in customs union have been proposed. Individual approaches to cooperation with the countries of the Caucasus, Central Asia, Ukraine and Moldova have been developed.

Keywords: integration; Eurasian economic union (EAEU); Commonwealth of Independent States (CIS); free trade area (FTA); customs union (CU), common market (CM); Greater Eurasian Partnership (GEAP).