

Экономико-математическое моделирование на предприятиях химической промышленности

The Economic and Mathematical Modelling on the Chemical Enterprises

DOI 10.12737/2587-9111-2023-11-6-21-26

Получено: 15 октября 2023 г. / Одобрено: 25 октября 2023 г. / Опубликовано: 25 декабря 2023 г.

Кизимов М.Н.

Председатель совета директоров,
АО «Пластик»
Россия, 301600, г. Узловая, ул. Тульская, 1,
e-mail: kizimov.ru@mail.ru

Kizimov M.N.

Chairman, Board of Directors,
Open joint-stock company "Plastic",
1, Tulkaya St., Uzlovaya, 301600, Russia,
e-mail: kizimov.ru@mail.ru

Винниченко А.С.

Советник генерального директора по общим вопросам,
член совета директоров,
АО «Пластик»
Россия, 301600, г. Узловая, ул. Тульская, 1,
e-mail: avinnichenko@uzlplast.ru

Vinnichenko A.S.

General Director's Advisor for General Affairs.
Member of Board of Directors,
Open joint-stock company "Plastic",
1, Tulkaya St., Uzlovaya, 301600, Russia,
e-mail: avinnichenko@uzlplast.ru

Ломовцев Д.А.

Д-р экон. наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Тульский государственный педагогический
университет им. Л.Н. Толстого»,
Россия, 300026, г. Тула, проспект Ленина, д. 125,
e-mail: djlom@mail.ru

Lomovcev D.A.

Doctor of Economic Sciences, Associate Professor,
Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University,
125, Lenina St., Tula, 300026, Russia,
e-mail: djlom@mail.ru

Аннотация

В статье исследованы вопросы экономико-математического моделирования в химической промышленности: от оптимизации технологической загрузки производственного оборудования до отбора перспективных инвестиционных проектов. Разработан вычислительный инструментальный по совершенствованию плана диверсификации деятельности АО «Пластик» и программы развития индустриального парка, созданного на его основе.

Ключевые слова: химическая промышленность, экономико-математическое моделирование, технологические переделы, инженерная инфраструктура, современные российские тенденции.

Abstract

The economic and mathematical modelling questions for the chemical industry are investigated in the article: from the technological load optimization of the manufacturing equipment to the selection of the perspective investment projects. The authors develop computational tooling for the diversification arrangements plan of the JSC «Plastic» and the development program for the industrial park, based on it.

Keywords: chemical industry, economic and mathematical modelling, technological processing, engineering infrastructure, actual Russian tendencies.

В условиях внешнего санкционного давления экономика России сохраняет рост производства в базовых отраслях. На химическую промышленность, включая производство резиновых и пластмассовых изделий, по итогам 2022 г. приходится 10,7% общего оборота организаций обрабатывающего комплекса (см. рисунок). При этом в отечественной химии на протяжении 2022 г. и восьми месяцев 2023 г. индекс промышленного производства остается неизменно одним из самых высоких: 104,4% и 103,5% соответственно [1].

Глубокая кооперация отрасли со смежными оборонно-промышленным комплексом и гражданским машиностроением, строительством и сельским хозяйством, радиоэлектроникой и медициной подтверждает ее значимость для народного хозяйства. Опережающее развитие химии укрепляет потенциал всей промышленности и повышает возможности импортозамещения в ней и устойчивость к внешнеэкономическим санкциям.

Предприятия химического комплекса в современных условиях столкнулись со множеством проблем, начиная от запрета на импорт технологического оборудования и дефицита зарубежной продукции до высокой стоимости привлечения заемных средств и изношенности инженерной инфраструктуры [2].

Постоянный поиск оптимальных управленческих решений на химических предприятиях в условиях ограниченности финансовых и технологических ресурсов требует комплексного планирования на основе экономико-математического анализа, учитывающего влияние множества факторов на итоговый результат работы.

Традиционно собственники промышленных активов стремятся к увеличению годовой чистой прибыли предприятий от операционной деятельности *ETP* (enterprise total profit) за счет оптимизации, в первую очередь, производственного ассортимента:

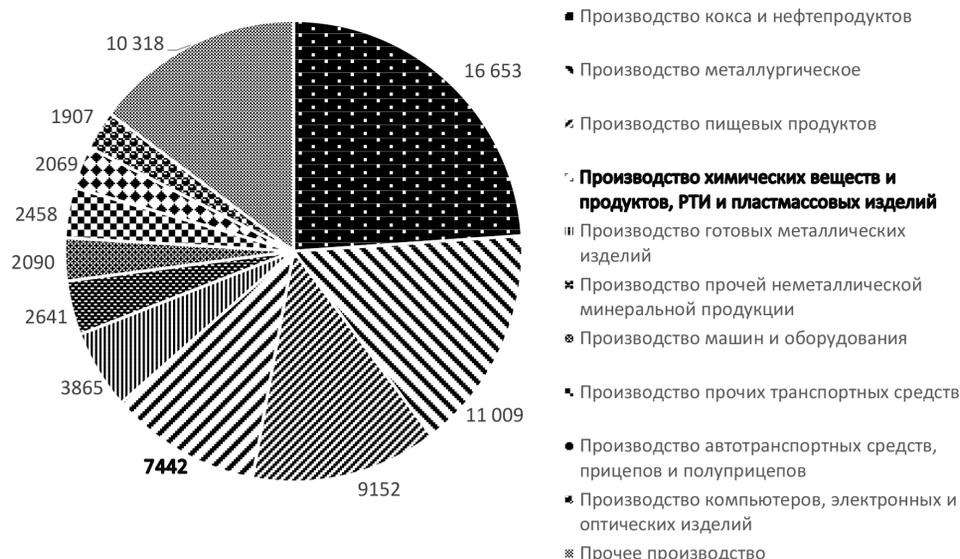


Рис. Оборот организаций обрабатывающей промышленности России в 2022 г., млрд руб. в действующих ценах

$$ETP = (1 - r_{np}) \left[\sum_{h=1}^l TP_h - FC \right] =$$

$$= (1 - r_{np}) \left[\sum_{h=1}^l f_h(Q_h^1, \dots, Q_h^N) - FC \right] \rightarrow \max (1),$$

где r_{np} — норма налога на прибыль, 0,20; TP_h — маржинальная прибыль (margin process profit) h -го технологического передела, тыс. руб.; l — количество технологических переделов на предприятии; FC — общепроизводственные, общехозяйственные, коммерческие и прочие постоянные затраты (fixed costs), тыс. руб.; Q_h^N — объем производства N -го продукта h -го технологического передела, тонн.

В процессе долгосрочного планирования помимо прогнозирования показателей операционной деятельности идет поиск оптимального сочетания перспективных инвестиционных проектов, реализация которых позволяет достигать наибольшей долгосрочной чистой прибыли предприятия $LTTP$ (long-term total profit):

$$LTTP = (1 - r_{np}) \left[\sum_{i=1}^m \left(\sum_{h=1}^l TP_h^i - FC^i \right) + \sum_{e=1}^k InvP^e \right] \rightarrow \max, \tag{2}$$

TP_h^i — маржинальная прибыль (margin process profit) h -го технологического передела в i -м году, тыс. руб.; FC^i — общепроизводственные, общехозяйственные, коммерческие и прочие постоянные затраты (fixed costs) предприятия в i -м году, тыс. руб.; $InvP^e$ — маржинальная прибыль e -го инвестиционного проекта,

тыс. руб.; k — количество рассматриваемых инвестиционных проектов.

При этом важно оценивать маржинальную прибыль на каждом технологическом переделе, чтобы выявить синергетический эффект от реализации нескольких проектов, обеспечивающих более равномерную загрузку оборудования на разных этапах производственного процесса.

Все инвестиционные проекты сопоставляются как по ряду показателей эффективности (объем капитальных вложений, чистая приведенная стоимость, индекс рентабельности инвестиций), так и по дополнительной нагрузке на основные технологические переделы. В результате каждый инвестиционный проект обладает уникальным сочетанием технико-экономических характеристик:

$$InvP^e \left(Capex^e; NPV^e; Q_{rm}^{proj.e}; Q_1^{proj.e}, \dots, Q_h^{proj.e}, \dots, Q_l^{proj.e} \right), \tag{3}$$

где $Capex^e$ — стоимость капитальных вложений, необходимых для реализации e -го инвестиционного проекта, тыс. руб.; NPV^e — чистая приведенная стоимость (net present value) e -го инвестиционного проекта, тыс. руб.; $Q_{rm}^{proj.e}$ — дополнительный объем перерабатываемого нефтехимического сырья (raw material) в результате реализации e -го инвестиционного проекта, тонн; $Q_h^{proj.e}, Q_l^{proj.e}$ — дополнительные объемы производства на h -м и l -м технологических переделах в результате реализации e -го инвестиционного проекта, тонн.

Нехватка собственных средств на химическом предприятии, стоимость внешнего заимствования

и альтернативного использования свободных финансовых ресурсов обуславливают в рамках ситуационного моделирования экономические ограничения при реализации инвестиционных проектов по освоению новой и диверсификации уже производимой продукции:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{e=1}^k Capex^e \leq Capex_0; \\ PI^1 \leq PI_0; \\ \dots; \\ PI^e \leq PI_0 \\ \dots; \\ PI^k \leq PI_0, \end{array} \right. \quad (4)$$

где $Capex_0$ — максимальная приемлемая общая стоимость капитальных вложений при диверсификации производства; PI^e, PI^k — индексы рентабельности инвестиций (profitability index) e -го и k -го инвестиционных проектов; PI_0 — приемлемый индекс рентабельности инвестиций.

Наряду с экономическими в российской химии существенны и технологические ограничения при реализации инвестиционных проектов:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{g=1}^N Q_{rm}^g + \sum_{e=1}^k Q_{rm}^{proj.e} \leq Q_{rm.0}; \\ \sum_{g=1}^N Q_1^g + \sum_{e=1}^k Q_1^{proj.e} \leq Q_{1.0}; \\ \dots; \\ \sum_{g=1}^N Q_h^g + \sum_{e=1}^k Q_h^{proj.e} \leq Q_{h.0}; \\ \dots; \\ \sum_{g=1}^N Q_l^g + \sum_{e=1}^k Q_l^{proj.e} \leq Q_{l.0}, \end{array} \right. \quad (5)$$

где Q_{rm}^g — объем перерабатываемого нефтехимического сырья, необходимого для производства g -го продукта, тонн; $Q_{rm.0}$ — максимально возможный объем перерабатываемого нефтехимического сырья, тонн; Q_1^g, Q_h^g, Q_l^g — объем загрузки 1-го, h -го и l -го технологических переделов, необходимых для производства g -го продукта, тонн; $Q_1^{proj.e}, Q_h^{proj.e}, Q_l^{proj.e}$ — дополнительные объемы загрузки на 1-м, h -м и l -м технологических переделах в результате реализации e -го инвестиционного проекта, тонн; $Q_{1.0}, Q_{h.0}, Q_{l.0}$ — максимальные производственные мощности 1-го, h -го и l -го технологических переделов, тонн.

В процессе экономико-математического моделирования предлагается проводить сопоставление сценариев развития предприятия по двум основным группам показателей: экономическим и характеризующим интенсивность использования технологического оборудования (табл. 1).

Таблица 1

Основные показатели экономико-математической модели, характеризующие деятельность химического предприятия

Наименование	Условное обозначение	Формула
Экономические показатели		
Долгосрочная чистая прибыль предприятия, тыс. руб.	LTP	$LTP = (1 - r_{np}) \left[\sum_{h=1}^l TP_h - FC \right]$
Годовая чистая прибыль предприятия от операционной деятельности, тыс. руб.	ETP	$ETP = (1 - r_{np}) \times \left[\sum_{i=1}^m \left(\sum_{h=1}^l TP_h^i - FC^i \right) + \sum_{e=1}^k InvP^e \right]$
Маргинальная прибыль h -го технологического передела, тыс. руб.	TP_h	$TP_h = \sum_{g=1}^N TP_h^g$
Маргинальная прибыль g -го производимого продукта, тыс. руб.	TP^g	$TP^g = \sum_{h=1}^l TP_h^g$
Показатели интенсивности использования оборудования		
Объем перерабатываемого нефтехимического сырья, тонн	Q_{rm}	$Q_{rm} = \sum_{g=1}^N Q_{rm}^g + \sum_{e=1}^k Q_{rm}^{proj.e}$
Доля исполнения контрактов по поставке нефтехимического сырья, %	$LoadQ_{rm}$	$LoadQ_{rm} = \frac{Q_{rm}}{\sum_{i=1}^M Q_{rm.con.i}}$
Объем производства на h -м технологическом переделе, тонн	Q_h	$Q_h = \sum_{g=1}^N Q_h^g + \sum_{e=1}^k Q_h^{proj.e}$
Загруженность производственных мощностей на h -м технологическом переделе, %	$LoadQ_h$	$LoadQ_h = \frac{Q_h}{Q_{h.0}}$

В этой таблице присутствует следующее условное обозначение:

$Q_{rm.con.i}$ — максимальное количество нефтехимического сырья, предусмотренное i -м годовым контрактом.

При этом помимо производительности оборудования на технологических переделах важно учи-

тывать возможности заключения долгосрочных контрактов на поставку нефте- и газохимического сырья, дефицит которого может стать определяющим в планах производства новой продукции или диверсификации традиционного ассортимента.

Многие отечественные химические предприятия в результате проведенной модернизации располагают свободными производственными площадями и могут создавать на своей территории индустриальные парки, привлекая в них потенциальных резидентов.

В целях развития индустриального парка создается, как правило, управляющая компания, являющаяся дочерней для якорного производителя и отвечающая за максимизацию общего дохода от привлекаемых резидентов PTP (park total profit):

$$PTP = \sum_{j=1}^n PTP^j = \sum_{j=1}^n \left(LTP^j + 12 \sum_{i=1}^m MTP_i^j \right) \rightarrow \max, \tag{6}$$

где n — количество заявок потенциальных резидентов; PTP^j — доход индустриального парка в соответствии с заявкой j -го потенциального резидента, тыс. руб.; LTP^j — стоимость паушального дохода (lumpsum total profit) индустриального парка от j -го потенциального резидента, тыс. руб.; m — период долгосрочного планирования, лет; MTP_i^j — стоимость ежемесячного дохода (month total profit) индустриального парка от j -го потенциального резидента в i -м году, тыс. руб.

Доход, получаемый от резидентов индустриального парка, может быть разовым (паушальным) в виде платы за право размещения своего производства, а также ежемесячным, в который в зависимости от договоренности сторон входят арендная плата, стоимость потребления электроэнергии, природного газа, тепла, воды и услуг водоотведения, а также прибыль от реализации продукции якорного предприятия смежному резиденту.

Руководство индустриального парка должно осуществлять постоянный поиск новых резидентов, предлагать расширение уже размещенных производств, отдавая предпочтение наиболее прибыльным проектам с наименьшей дополнительной нагрузкой на имеющуюся инженерную инфраструктуру. При этом каждое предложение потенциального резидента рассматривается как уникальное сочетание плановых технико-экономических параметров:

$$\overline{R}^j \left(\begin{matrix} LTP^j; MTP_1^j, \dots, MTP_m^j; WA^j; APA^j; \\ EP^j; GP^j; HC^j; WR^j; SC^j \end{matrix} \right), \tag{7}$$

где WA^j — объем площади, необходимой для размещения основного технологического производства (working area) j -го потенциального резидента, кв. м; APA^j — объем площади, необходимой для размещения обслуживающих и вспомогательных производств (auxiliary process area) j -го потенциального резидента, кв. м; EP^j — суммарная проектная мощность потребления электроэнергии (electric power) j -го потенциального резидента, МВт; GP^j — суммарная проектная мощность потребления природного газа (gas power) j -го потенциального резидента, тыс. куб. м; HC^j — суммарная проектная мощность потребления тепла (heat consumption) j -го потенциального резидента, Гкал; WR^j — суммарная проектная мощность потребления воды (water requirement) j -го потенциального резидента, тыс. куб. м; SC^j — суммарный проектный объем промышленных стоков (sewage capacity) j -го потенциального резидента, тыс. куб. м.

Стоимость ежемесячного дохода управляющей компании индустриального парка помимо обычной аренды может включать плату за пользование оборудованием НИОКР-лаборатории, серверными мощностями; за предоставление охранных услуг, а также доход от реализации продукции якорного предприятия смежному резиденту:

$$MTP_i^j = RP_i^j + RDR_i^j + SR_i^j + GP_i^j + ASTP_i^j, \tag{8}$$

где RP_i^j — среднемесячная стоимость арендной платы (rental payment) от j -го потенциального резидента в i -м году, тыс. руб.; RDR_i^j — среднемесячная стоимость платы за пользование оборудованием НИОКР-лаборатории (research and development rental) от j -го потенциального резидента в i -м году, тыс. руб.; SR_i^j — среднемесячная стоимость платы за аренду серверного оборудования (server rental) от j -го потенциального резидента в i -м году, тыс. руб.; GP_i^j — среднемесячная стоимость охранных услуг индустриального парка (guard payment) от j -го потенциального резидента в i -м году, тыс. руб.; $ASTP_i^j$ — среднемесячная прибыль якорного предприятия от дополнительных продаж смежной продукции (total profit of additional sales) в результате реализации проекта j -го потенциального резидента в i -м году, тыс. руб.

Развитие индустриального парка сталкивается преимущественно с территориальными ограничениями:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n WA^j \leq WA_0; \\ \sum_{j=1}^n APA^j \leq APA_0, \end{cases} \tag{9}$$

где WA_0 — общая свободная площадь для размещения основных технологических производств в индустриальном парке, кв. м; APA_0 — общая свободная площадь для размещения обслуживающих и вспомогательных производств в индустриальном парке, кв. м.

Помимо территориальных ограничений значимым препятствием в максимизации дохода индустриального парка являются технологические ограничения:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n EP^j \leq EP_0; \\ \sum_{j=1}^n GP^j \leq GP_0; \\ \sum_{j=1}^n HC^j \leq HC_0; \\ \sum_{j=1}^n WR^j \leq WR_0; \\ \sum_{j=1}^n SC^j \leq SC_0, \end{cases} \quad (10)$$

где EP_0 — общая свободная мощность для технологического присоединения к электросетям индустриального парка, МВт; GP_0 — общая свободная мощность для технологического присоединения к газораспределительным сетям индустриального парка, тыс. куб. м; HC_0 — общая свободная мощность для технологического присоединения к теплосетям индустриального парка, Гкал; WR_0 — общая свободная мощность для технологического присоединения к водораспределительным сетям индустриального

ного парка, тыс. куб. м; SC_0 — общий свободный объем очистных сооружений индустриального парка, тыс. куб. м.

Экономико-математическая модель химического индустриального парка включает ряд территориальных и технологических показателей, неразрывно связанных с планировкой территории и инженерной инфраструктурой якорного предприятия (табл. 2). Возможности развития базовой производственной площадки определяют перспективы создания новых производств (собственных и принадлежащих резидентам) и обеспечения оптимальной загрузки основных технологических переделов [3].

В табл. 2 присутствуют принятые условные обозначения:

$WA_{Tech}, WA_{Ent}, WA_{Res}$ — объем площадей производственной площадки, якорного предприятия и резидентов индустриального парка соответственно, необходимых для размещения основного технологического производства, кв. м; $APA_{Tech}, APA_{Ent}, APA_{Res}$ — объем площадей производственной площадки, якорного предприятия и резидентов индустриального парка соответственно, необходимых для размещения обслуживающих и вспомогательных производств, кв. м; $EP_{Tech}, EP_{Ent}, EP_{Res}$ — мощность электросетевого комплекса производственной площадки, якорного предприятия и резидентов индустриального парка соответственно, МВт; $GP_{Tech}, GP_{Ent}, GP_{Res}$ — мощность газораспределительного комплекса производственной площадки, якорного предприятия и резидентов индустриального парка соответственно, тыс. куб. м; $HC_{Tech}, HC_{Ent}, HC_{Res}$ — технологическая мощность теплосетей производственной площадки, якорного предприятия и резидентов индустриального парка

Таблица 2

Основные экономико-математические характеристики индустриального парка

Наименование	Условное обозначение	Формула
Территориальные показатели		
Площадь индустриального парка для размещения основных технологических производств, кв. м	WA_{IP}	$WA_{IP} = WA_{Tech} - WA_{Ent} = WA_{Res} + WA_0$
Площадь индустриального парка для размещения обслуживающих и вспомогательных производств, кв. м	APA_{IP}	$APA_{IP} = APA_{Tech} - APA_{Ent} = APA_{Res} + APA_0$
Технологические показатели		
Мощность электросетевого комплекса индустриального парка, МВт	EP_{IP}	$EP_{IP} = EP_{Tech} - EP_{Ent} = EP_{Res} + EP_0$
Мощность газораспределительного комплекса индустриального парка, тыс. куб. м	GP_{IP}	$GP_{IP} = GP_{Tech} - GP_{Ent} = GP_{Res} + GP_0$
Технологическая мощность теплосетей индустриального парка, Гкал	HC_{IP}	$HC_{IP} = HC_{Tech} - HC_{Ent} = HC_{Res} + HC_0$
Мощность водораспределительного комплекса индустриального парка тыс. куб. м	WR_{IP}	$WR_{IP} = WR_{Tech} - WR_{Ent} = WR_{Res} + WR_0$
Мощность очистных сооружений индустриального парка, тыс. куб. м	SC_{IP}	$SC_{IP} = SC_{Tech} - SC_{Ent} = SC_{Res} + SC_0$

соответственно, $WR_{Tech}, WR_{Ent}, WR_{Res}$ — мощность водораспределительного комплекса производственной площадки, якорного предприятия и резидентов индустриального парка соответственно, $SC_{Tech}, SC_{Ent}, SC_{Res}$ — мощность очистных сооружений производственной площадки, якорного предприятия и резидентов индустриального парка соответственно, тыс. куб. м.

Таким образом, руководство химического предприятия, сообразуясь с действующими ограничениями:

- экономическими ($Capex_0, PI_0$);
- производственно-технологическими ($Q_{rm,0}, Q_{rm,0}, Q_{1,0}, \dots, Q_{h,0}, \dots, Q_{l,0}$);
- инфраструктурно-технологическими ($WA_0, APA_0, EP_0, GP_0, HC_0, WR_0, SC_0$),

на основе экономико-математического моделирования осуществляет отбор собственных перспективных инвестиционных проектов и предложений потенциальных резидентов с целью оптимизации долгосрочной чистой прибыли LTP , рассчитанной с учетом своей инвестиционной программы и возможностей развития индустриального парка:

$$LTP = (1 - r_{np}) \times \left[\sum_{i=1}^m \left(\sum_{h=1}^l TP_h^i - FC^i + \sum_{j=1}^n PTP^{j,i} \right) + \sum_{e=1}^k InvP^e \right] \rightarrow \max, \quad (11)$$

где $PTP^{j,i}$ — доход индустриального парка в соответствии с заявкой j -го потенциального резидента в i -м году, тыс. руб.

В Тульской области успешно развиваются индустриальные парки, созданные на базе ведущих химических предприятий: АО «Пластик» [4] и ОАО «Щекиноазот» [5]. Их руководство активно инвестирует, выстраивая вертикальные технологические цепочки, в том числе с привлечением смежных резидентов. К их числу относятся ООО «Адвентум Технолоджис» [6], ООО «Производственная компания «Фабрикс»» [7], ООО «Геа Фарм Техноло-

джис Рус» [8] и ряд других инновационных предприятий.

Разработанный экономико-математический аппарат был успешно внедрен на базе АО «Пластик», входящего в состав системообразующих предприятий и крупнейших налогоплательщиков Тульской области, при активном сотрудничестве с резидентами индустриального парка, развивающегося свыше десяти лет. Примененная экономико-математическая модель является универсальной и может быть использована на других предприятиях химической промышленности.

Литература

1. Официальный Интернет сайт Федеральной службы государственной статистики (<https://rosstat.gov.ru/>).
2. Официальный Интернет сайт информационного агентства «РИА Новости» (<http://www.rian.ru/>).
3. Ломовцев Д.А., Федорова Т.А. Государственно-частное партнерство в реальном секторе на современном этапе развития экономики России: монография. — Тула: ООО РИФ «ИНФРА», 2010. — 151 с.
4. Официальный Интернет сайт АО «Пластик» (<http://www.oaoplastic.ru/>).
5. Официальный Интернет сайт АО «Щекиноазот» (<http://n-azot.ru/>).
6. Официальный Интернет сайт ООО «Адвентум Технолоджис» (<https://adventumtech.ru/>).
7. Официальный Интернет сайт ООО «Производственная компания «Фабрикс»» (<https://fabreex.ru/>).
8. Официальный Интернет сайт ООО «Геа Фарм Технолоджис Рус» (<https://www.gea.com/russia>).

References

1. Official Internet-site of the Federal State Statistics Service (<https://rosstat.gov.ru/>).
2. Official Internet site of information agency "RIA Novosti" (<http://www.rian.ru/>).
3. Lomovcev D.A., Fedorova T.A. Public-private partnership in real Russian economy during the current stage of development: monograph. — Tula: UCC RIF «INFRA», 2010. — 151 p.
4. Official Internet-site of JSC «Plastic» (<http://www.oaoplastic.ru/>).
5. Official Internet-site of JSC «Shchekinoazot» (<http://n-azot.ru/>).
6. Official Internet-site of LLC «Adventum Technologies» (<https://adventumtech.ru/>).
7. Official Internet-site of LLC «Manufacturing company «Fabreex»» (<https://fabreex.ru/>).
8. Official Internet-site of LLC «GEA Farm Technologies Rus» (<https://www.gea.com/russia>).