

ОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА НЕФТЕПРОДУКТОВ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ЗАВОДА

Маряшина Д.Н., Девятков В.В. (Казань), Марков С.А. (Санкт-Петербург)

Нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ) являются хорошо структурированной, отлаженной в организационно-техническом, транспортно-логистическом и маркетинговом плане системой. Производство нефтепродуктов должно быть ритмичным и соответствовать уровню продаж. Поставки сырья должны удовлетворять качеству в рамках технологических ограничений. Сбой в этой системе - поставок сырья, функционирования производства или реализации нефтепродуктов приводит к перепроизводству (или недостатку продукции). Поэтому на НПЗ очень сильно развиты системы планирования, позволяющие достаточно точно планировать и синхронизировать все эти процессы.

В настоящее время имеются различные системы автоматизации управления предприятием, связанные с планированием. Например, APS-системы (Advanced Planning and Scheduling) - системы оптимального производственного планирования и составления расписаний [1]. Такие системы созданы в разных компаниях: Symphonite Refining and Petrochemical Modeling System (RPMS) компании Honeywell [2], линейка продуктов компании Aspen, в частности Aspen ONEPIMS Platinum [3]. Тем не менее, с усложнением производства и ускорением времени принятия решений, задача текущего производственного планирования (планирования ресурсов) постоянно требует создания новых научных подходов и программных инструментов.

Для подтверждения эффективности использования имитационного моделирования (ИМ) в создании модели планирования ресурсов НПЗ нами была решена задача по реализации имитационной модели упрощенной работы нефтеперерабатывающего завода. Детальная постановка задачи была заимствована из книги Favennec J.P. [4].

Ставилась цель – увеличения прибыли предприятия Pr за счет вариации параметров закупки и производства, а также снижения суммы операционных затрат предприятия (обслуживание установок, стоимость приобретаемого сырья и продуктов) - $C_{затрат}$. При этом считается, что план продаж (запланированные объемы - $V_{пл. продаж}$ и возможные доходы от продаж $C_{продаж}$) уже рассчитан в рамках другого бизнес-процесса.

В выше указанной книге задача была решена с помощью программ, в которых реализованы методы линейного программирования. До настоящего времени ИМ практически не применялось из-за низкой скорости создания и исполнения модели. Но современные системы ИМ позволяют оперативно создавать модели, а время исполнения уже не является критическим параметром. Нами была успешно разработана имитационная модель НПЗ для решения данной задачи в среде GPSS Studio [5]. Анализ результатов моделирования показал, что они полностью совпадают с результатами аналитического моделирования, приведенного в книге Favennec J.P. Т.е. имитационная модель адекватна и ее можно использовать для решения задач планирования ресурсов. Детальные результаты разработки – сама модель, ее структурная схема, учитываемые ограничения и интерфейс программы, подробно описаны в [6].

Но существенным недостатком на момент разработки модели было отсутствие процедуры поиска оптимального решения. Искать наилучшее решение нужно было вручную посредством ручного перебора множества альтернативных вариантов. А с учетом большого числа ограничений и факторов (в сумме около 100), границ их изменения, следовательно, и многие тысячи их комбинаций, найти оптимальное решение для планирования было практически невозможно. Поэтому была необходимость использования дополнительных инструментов оптимизации процессов в комплексе с имитационной моделью.

В настоящее время в среду моделирования GPSS Studio включен комплекс программ оптимизации по технологии IOSO [7], [8]. И в данной статье описываются результаты апробации применения технологии оптимизации для задачи текущего производственного планирования НПЗ, с точки зрения времени принятия решений в процессе планирования ресурсов.

Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

Описание оптимизационного эксперимента

Как и при оптимизации любой системы необходимо описать факторы $X=\{x_i\}$, показатели (критерии) $Y=\{y_j\}$, ограничения $A=\{b_k < a_k < c_k\}$ и провести направленный поиск наилучшего решения (минимального или максимального).

Для проведения оптимизационного эксперимента в модели были выбраны 42 фактора, вариация которых влечет прямое изменение объема произведенных нефтепродуктов на заводе, и которые для упрощения работы были разбиты на несколько групп:

- Объемы поставок - нефти сорта 1, нефти сорта 2, тяжелой бензиновой фракции и вакуумного газойля. Всего в этой группе 8 факторов.
- Стоимость поставок – сырья, недостающих продуктов в процессе нефтепереработки и закупаемых готовых нефтепродуктов.

Параметры производительности установок. Всего в модели выделено 11 установок, каждая из которых имеет заданную производительность. Причем 2 варианта – для нефти типа 1 и для нефти типа 2.

Пропорции перенаправления промежуточных продуктов. Таких точек перенаправления для всех установок в модели 10.

Далее, среди множества показателей работы системы, в модели были выделены наиболее значимые для производства группы показателей и заданы допустимые границы их изменений:

Операционные затраты и доход от продаж. Текущий и итоговый показатели - операционных продаж, доходы от продаж произведенных нефтепродуктов и суммы полученной прибыли.

Планируемые объемы произведенной продукции.

Запасы хранилищ нефти, другого сырья и нефтепродуктов.

Степень выполнения плана выпуска по каждому типу нефтепродуктов.

Кроме того, были учтены все ограничения, которые должны обязательно исполняться – материальный баланс по каждому продукту, технологические ограничения и т.д. Необходимо отметить, что граница между критериями и ограничения размыта. Некоторые критерии могут быть переведены в группу ограничений и наоборот, ограничения в группу критериев.

В каждом оптимизационном эксперименте может быть выбрано исследователем разное количество критериев, для которых необходимо найти минимальное или максимальное значение. Для однопараметрической оптимизации это один критерий, для многопараметрической – несколько критериев. В случае нашего исследования был выбран один критерий – минимизация операционных затрат. При этом плановые показатели выпуска нефтепродуктов были отнесены к группе ограничений, которые обязательно нужно исполнять в процессе поиска решения с минимальными операционными затратами.

Для описания оптимизации при исследовании в среде GPSS Studio была разработана специальная форма планирования экспериментов – оптимизирующий эксперимент. В рамках данной формы, используя уже имеющиеся инструменты выделения факторов и показателей, был добавлен диалог выбора критериев и ограничений. Детальное описание и возможный алгоритм всех вариантов оптимизационного эксперимента производится при разработке имитационного приложения (на основе работающей модели). А формирование той или иной конфигурации оптимизирующего эксперимента можно проводить в рамках работы с имитационным экспериментом и проводить его может специалист, не являющийся профессионалом ИМ.

Для проведения оптимизационного эксперимента в среде GPSS SRTUDIO необходимо перейти в раздел «Планирование», выбрать метод планирования эксперимента – оптимизация и последовательно ввести факторы, целевые показатели (критерии и ограничения). На рисунке 1 представлен первый этап - ввода факторов.

Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

Название	Начальное значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Участует в эксперименте
DISC1	0	0	400	<input checked="" type="checkbox"/>
DISC2	260	260	700	<input checked="" type="checkbox"/>
REF95	2	2	60	<input checked="" type="checkbox"/>
REF100	0	0	58	<input checked="" type="checkbox"/>
FCCNA	0,1	0,1	136	<input checked="" type="checkbox"/>
FCCGO	0	0	136	<input checked="" type="checkbox"/>
DESG01	0	0	150	<input checked="" type="checkbox"/>
DESG02	0	0	150	<input checked="" type="checkbox"/>
DESGO	0	0	150	<input checked="" type="checkbox"/>
ISOM	0	0	400	<input checked="" type="checkbox"/>
JPF1	0	0	400	<input checked="" type="checkbox"/>
JPF2	0	0	400	<input checked="" type="checkbox"/>
IMHN	0	0	400	<input checked="" type="checkbox"/>
IMVG	0	0	400	<input checked="" type="checkbox"/>
IMES95	0	0	400	<input checked="" type="checkbox"/>
EXES95	0	0	400	<input checked="" type="checkbox"/>
IMJP	0	0	400	<input checked="" type="checkbox"/>
EXJP	0	0	400	<input checked="" type="checkbox"/>
IMGO	0	0	400	<input checked="" type="checkbox"/>
EXGO	0	0	400	<input checked="" type="checkbox"/>
IMHF	0	0	400	<input checked="" type="checkbox"/>
EXHF	0	0	400	<input checked="" type="checkbox"/>

Название	Начальное значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Участует в эксперименте
k1_LPG	0	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>
k2_LPG	0	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>
k3_LPG	0	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>
k4_LPG	0	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>
k1_LN	0	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>
k2_LN	0	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>
k5_LN	0	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>
k6_LN	0	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>
k1_HF	0	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>
k2_HF	0	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>
k1_REF95	0	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>
k2_REF95	0	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>
k1_REF100	0	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>
k2_REF100	0	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>
k2_CGO_KK	0	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>
k3_CGO_KK	0	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>
k1_CN_KK	0	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>
k2_CN_KK	0	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>
k1_ISOM	0	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>
k2_ISOM	0	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>

Рис.1 - Форма ввода данных оптимизации.

Обычно, к моменту оптимизирующего эксперимента, исследователь уже задает перечень факторов и границы их изменений в процессе подготовки и проведения обычных экспериментов. Остается только выбрать, участвует или нет фактор в эксперименте. Технология IOSO позволяет решать задачи нелинейной оптимизации одновременно более чем для 99 факторов. В случае модели НПЗ в оптимизирующем эксперименте были описаны 42 фактора.

После задания факторов определяются критерии и ограничения. Обычно, разработчик модели на GPSS сложные показатели, которые чаще всего могут быть критериями оптимизации, представляет в виде функциональной комбинации элементарных показателей – переменной. А роль ограничений чаще всего выполняют атомарные показатели объектов GPSS – стандартные числовые атрибуты (СЧА). Также, как и в случае факторов все показатели уже заданы в процессе разработки приложения. И остается только выбрать участвуют ли они или нет в текущем эксперименте. Перевод того или иного показателя в группу критериев или ограничений может быть произведен простым диалогом выбора. Это ключевая и наиболее важная функция оптимизирующего эксперимента. Поэтому что это действие определяет направление поиска наилучшего решения.

На рис 2 и 3 показаны примеры типов диалогов ввода критериев оптимизации, выбора имеющихся ограничений, задания границ их изменения в рамках оптимизационного эксперимента и определения степени их участия в эксперименте.

Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

Упрощенная модель Нефтеперерабатывающего завода

Ввод данных | **Планирование** | Моделирование | Результаты

Метод планирования экспериментов: Пресеты | Оптимизация

Факторы | **Целевые показатели** | План серии экспериментов | Параметры метода

Название	Целевая функция	Минимальное значение	Максимальное значение	Приоритет	Регистрируется в эксперименте
OBJ	Минимизировать				<input checked="" type="checkbox"/>
Максимальная производительность АВТ	Не оптимизировать	260	700		<input checked="" type="checkbox"/>
Максимальная производительность блока реформинга	Максимизировать	2	60		<input checked="" type="checkbox"/>
Максимальная производительность блока каталитического крекинга	Минимизировать	0	136		<input checked="" type="checkbox"/>
Максимальная производительность блока гидроочистки	Не оптимизировать	0	150		<input checked="" type="checkbox"/>
BA LPG	Не оптимизировать	10.9	11.1		<input checked="" type="checkbox"/>
BALN	Не оптимизировать	5.9	6.1		<input checked="" type="checkbox"/>
BAHN	Не оптимизировать	0	0.01		<input checked="" type="checkbox"/>
BAKE	Не оптимизировать	0	0.01		<input checked="" type="checkbox"/>
BAGO1	Не оптимизировать	0	0.01		<input checked="" type="checkbox"/>
BAGO2	Не оптимизировать	0	0.01		<input checked="" type="checkbox"/>
BAVGO	Не оптимизировать	0	0.01		<input checked="" type="checkbox"/>
BAR95	Не оптимизировать	0	0.01		<input checked="" type="checkbox"/>
BAR100	Не оптимизировать	0	0.01		<input checked="" type="checkbox"/>
BAISO	Не оптимизировать	0	0.01		<input checked="" type="checkbox"/>
BACN	Не оптимизировать	0	0.01		<input checked="" type="checkbox"/>
BACGO	Не оптимизировать	0	0.01		<input checked="" type="checkbox"/>

Рисунок 2 – Задание критериев оптимизационного процесса

Упрощенная модель Нефтеперерабатывающего завода

Ввод данных | **Планирование** | Моделирование | Результаты

Метод планирования экспериментов: Пресеты | Оптимизация

Факторы | **Целевые показатели** | План серии экспериментов | Параметры метода

Название	Целевая функция	Минимальное значение	Максимальное значение	Приоритет	Регистрируется в эксперименте
BAVR1	Не оптимизировать	0	0.01		<input checked="" type="checkbox"/>
BAVR2	Не оптимизировать	0	0.01		<input checked="" type="checkbox"/>
BADG1	Не оптимизировать	0	0.01		<input checked="" type="checkbox"/>
BADG2	Не оптимизировать	0	0.01		<input checked="" type="checkbox"/>
BADSG	Не оптимизировать	0	0.01		<input checked="" type="checkbox"/>
DPG98	Не оптимизировать	19.9	20.1		<input checked="" type="checkbox"/>
DES95	Не оптимизировать	79.9	80.1		<input checked="" type="checkbox"/>
DJP	Не оптимизировать	69.9	70.1		<input checked="" type="checkbox"/>
DHF	Не оптимизировать	147.9	148.1		<input checked="" type="checkbox"/>
DGO	Не оптимизировать	159.9	160.1		<input checked="" type="checkbox"/>
Проверка коэфф. LPG	Максимизировать	1	1.01		<input checked="" type="checkbox"/>
Проверка коэфф. LN	Минимизировать	1	1.01		<input checked="" type="checkbox"/>
Проверка коэфф. HF	Не оптимизировать	1	1.01		<input checked="" type="checkbox"/>
Проверка коэфф. REF100	Не оптимизировать	1	1.01		<input checked="" type="checkbox"/>
Проверка коэфф. CGO_KK	Не оптимизировать	1	1.01		<input checked="" type="checkbox"/>
Проверка коэфф. SOM	Не оптимизировать	1	1.01		<input checked="" type="checkbox"/>
Проверка коэфф. CN_KK	Не оптимизировать	1	1.01		<input checked="" type="checkbox"/>
Проверка коэфф. REF95	Не оптимизировать	1	1.01		<input checked="" type="checkbox"/>
LIC4PG98	Не оптимизировать	-1000	0		<input checked="" type="checkbox"/>
LIC4ES95	Не оптимизировать	-1000	0		<input checked="" type="checkbox"/>
VPMXPG98	Не оптимизировать	-1000	0		<input checked="" type="checkbox"/>
VPMXES95	Не оптимизировать	-1000	0		<input checked="" type="checkbox"/>
VPMNPG98	Не оптимизировать	0	1000		<input checked="" type="checkbox"/>
VPMNES95	Не оптимизировать	0	1000		<input checked="" type="checkbox"/>
SENSPG98	Не оптимизировать	0	1000		<input checked="" type="checkbox"/>
SENSES95	Не оптимизировать	0	1000		<input checked="" type="checkbox"/>
ORMNPG98	Не оптимизировать	-1000	0		<input checked="" type="checkbox"/>
ORMNES95	Не оптимизировать	-1000	0		<input checked="" type="checkbox"/>
VMXHF	Не оптимизировать	-1000	0		<input checked="" type="checkbox"/>
VMNHF	Не оптимизировать	0	1000		<input checked="" type="checkbox"/>
SUMXGO	Не оптимизировать	-1000	0		<input checked="" type="checkbox"/>
Электропотребление ОЗХ	Не оптимизировать	24	30		<input checked="" type="checkbox"/>

Рисунок 3 – Задание ограничений оптимизационного эксперимента

В результате подготовки оптимизационного эксперимента в созданном имитационном приложении был предусмотрен один критерий (Переменная OBJ – минимизация операционных расходов) и 48 ограничений (не оптимизировать).

Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

Кроме задания факторов, критериев и ограничений, необходимо определить параметры метода оптимизации в одноименной вкладке, показанной на рис.4.

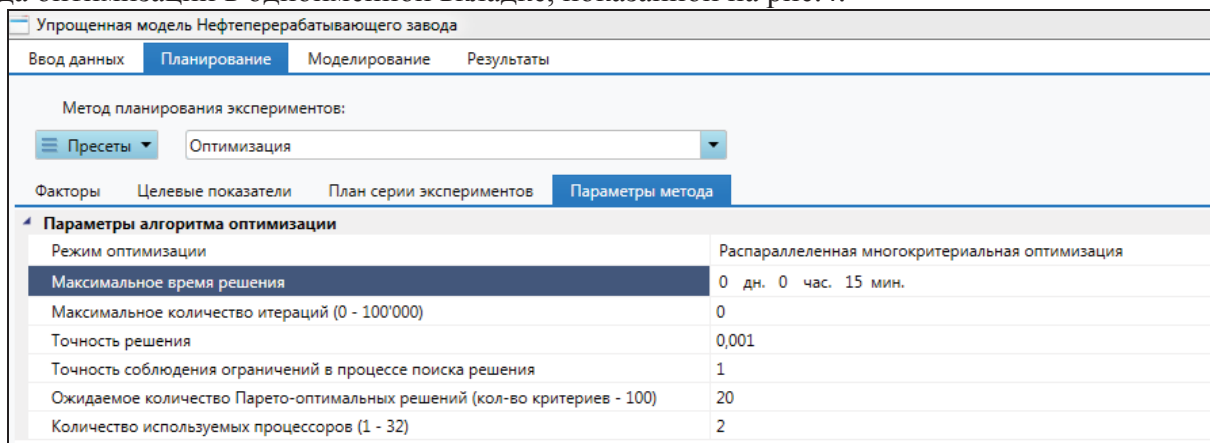


Рисунок 4 – Параметры оптимизации и условия останова эксперимента

Далее во вкладке «Моделирование» можно запустить процесс оптимизации. Во время выполнения оптимизации на экране динамически отображается график зависимости показателей от факторов, а также таблица со значениями всех факторов, целевых параметров и ограничений. Оптимальное решение, найденное с помощью комплекса многопараметрической оптимизации IOSO, отображается зеленой точкой на графике и подсвечивается зеленым цветом в таблице. На рисунке 5 представлен пример динамики хода процесса оптимизации.

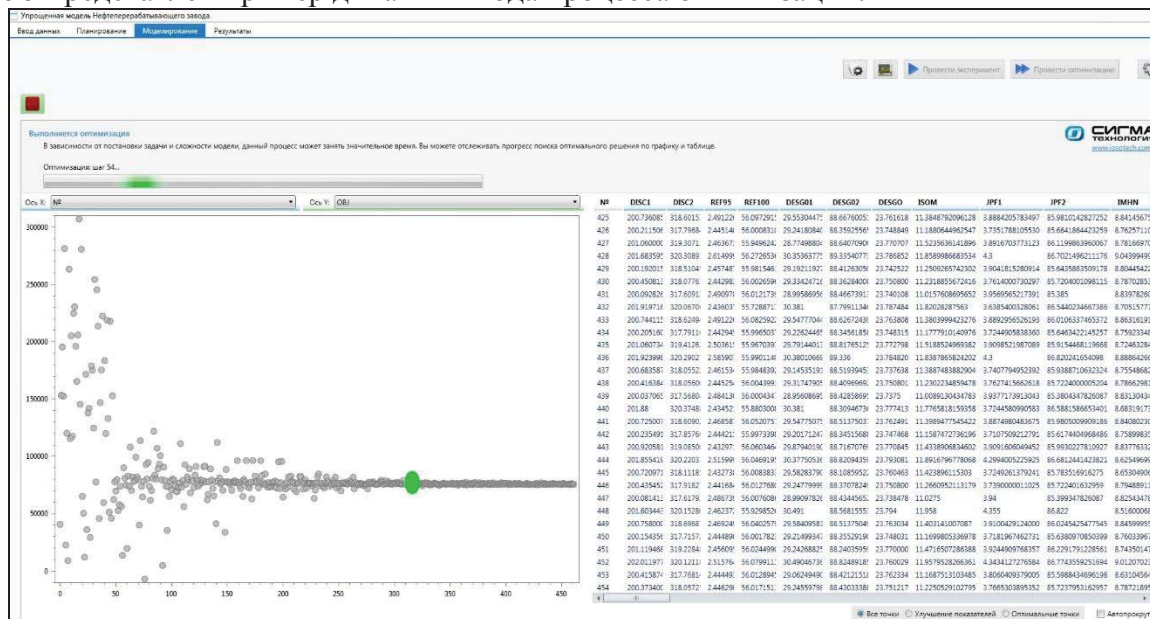


Рис.5 – Динамика хода оптимизационного эксперимента.

Сразу после того, как оптимальное решение было найдено, пользователь может проанализировать таблицу и график оптимизационного эксперимента на предмет поиска близких решений, понимания адекватности задания тех или иных ограничений. Если оптимальное решение (в случае многопараметрической оптимизации - множество оптимальных решений) найдено, то результаты оптимизационного эксперимента можно просмотреть во вкладке результатов в БД результатов. Это дает возможность анализа результатов позже, даже в рамках следующих диалоговых сеансов работы с приложением.

Таким образом, с помощью модуля оптимизации была решена задача минимизации суммы операционных затрат предприятия (обслуживание установок, стоимость приобретаемого сырья и продуктов и др.) - $C_{затрат}$. Было выделено 42 фактора (стоимость импортированного и экспортированного котельного, дизельного, авиационного топлива и бензина АИ-95, количество нефти 1 и 2 типа, количество сырья для риформинга при риформате с ОЧИ=95 и ОЧИ=100,

Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

количество атмосферного газойля 1 и 2 типа и газойля каталитического крекинга, а также коэффициенты перераспределения промежуточных продуктов), оптимизация проводилась при 48 ограничениях (в их числе проверка материальных балансов, технологических ограничений, уравнений, определяющих свойства потоков, а также проверка пропорций перераспределения промежуточных продуктов). Приложение работает успешно, ищет оптимальное решение.

Заключение

Результаты создания имитационного приложения позволяют оптимистично смотреть на использование комбинации ИМ подхода и комплекса оптимизации при практическом планировании поставок и производства на НПЗ, так как:

- Модель достаточно просто строится, она адекватна, не имеет ограничений по степени детализации и постепенно может быть доведена до уровня описания, которое будет достаточным для практического применения на крупном заводе.
- ИМ позволяет снять ограничение детерминированности (как в аналитических методах решения) и учесть вероятностный характер ряда параметров (например, производительности установок), а также учесть показатели надежности.
- Успешно апробирована технология получения оптимального решения в среде моделирования, за счет подключения к среде моделирования GPSS Studio комплекса многопараметрической оптимизации IOSO.
- В ближайшей перспективе получение оптимального решения позволит использовать ИМ в качестве автоматического «интеллектуального решателя» в автоматизированных процессах производственного планирования.

Литература

1. Баулин Е.С. Скользящая детализация текущего плана деятельности НПЗ/НХК и актуализация оптимизационных моделей планирования / Е.С. Баулин, А.Б. Боронин, А.С. Хохлов // Автоматизация в промышленности. – 2012. - № 10, Октябрь. – с. 8-14.
2. Официальный сайт компании Honeywell (США) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.honeywellprocess.com/en-US/explore/products/advanced-applications/software-production-management/Pages/rpms.aspx> (дата обращения: 14.06.2019).
3. Официальный сайт компании AspenTech [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.aspentech.com/en/products/pages/aspentech-pims-platinum> (дата обращения 20.06.2019)
4. Favennec J.P. «Refinery Operation and management», Series Petroleum Refining, vol. 5: Technip, 2001г. - 434 p.
5. Имитационные исследования в среде моделирования GPSSSTUDIO: учеб. Пособие / В.В. Девятков, Т.В. Девятков, М.В. Федотов; под общ. ред. В.В. Девяткова. — М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2018. — 283 с.
6. Маряшина Д.Н. Использование имитационного моделирования при планировании поставок сырья и организации производства НПЗ / Д.Н. Маряшина, С.А. Марков, В.В. Девятков // Автоматизация телемеханизация и связь, в нефтяной промышленности. – 2019. - № 8(553). – с. 25-30.
7. Egorov, I.N. Robust design optimization strategy of IOSO technology / I.N. Egorov, G.V. Kretinin, I.A. Leshchenko // Proc. Fifth World Congress on Computational Mechanics. Vienna. Austria. 2002. - P. 1–8.
8. Egorov, I.N. IOSO Optimization Toolkit - Novel Software to Create Better Design / I.N. Egorov, G.V. Kretinin, I.A. Leshchenko, S.V. Kuptzov // AIAA paper AIAA-2002-5514, 9th AIAA/ ISSMO Symposium and Exhibit on Multidisciplinary Analysis and Optimization, Atlanta, GA, 4-6 September. - 2002.