

Использование среды AnyLogic в математическом моделировании процесса истощения запасов соли

Е. А. Муравьева
Стерлитамакский филиал УГНТУ
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Стерлитамак, Россия
muraveva_ea@mail.ru

С. А. Шокуров
Стерлитамакский филиал УГНТУ
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Стерлитамак, Россия
shokurov-sergei@mail.ru

Аннотация¹

В данной статье рассматривается математическая модель истощения запасов соли в залежах Ишимбайского района республики Башкортостан. Предлагается разработать имитационную модель в программной среде AnyLogic, позволяющую спрогнозировать процесс истощения запасов соли с учетом факторов, влияющих на этот процесс. С помощью факторов можно отобразить динамику истощения этих запасов в табличном и графическом виде по годам, а также посмотреть, как будут изменяться наряду с этим параметром производительность скважин, число введенных в строй скважин, число законсервированных скважин и другие важные параметры. По исходным данным и выведенным математическим зависимостям были спрогнозированы оставшиеся запасы соли и количество работающих и законсервированных скважин на 40 лет, также было спрогнозировано на сколько лет хватит запасов соли в зависимости от числа разрабатываемых скважин. На основе полученных данных построены графики зависимости количества работающих скважин от времени для разных данных по запасам соли.

1. Введение

В настоящее время полезные ископаемые существенно выработаны, вследствие чего всё чаще имеются проблемы с их добычей, что повышает необходимость расчетов и планирования деятельности предприятия. Для проведения исследований часто используют имитационное моделирование, которое позволяет учитывать

влияние различных факторов на процесс добычи и позволяет дать прогноз его развития.

Авторами была поставлена задача разработать имитационную модель добычи соли и истощение ее запасов, благодаря которому можно смоделировать процесс добычи соли с изображением динамической модели истощения данных запасов в графическом и табличном виде по годам в зависимости от значений входных параметров. Также возможно посмотреть, как будут меняться такие параметры, как число законсервированных скважин, число введенных в строй скважин, производительность скважин, и прочие параметры.

Для разработки имитационной модели были использованы доступные сведения по залежам соли в Ишимбайском районе республики Башкортостан. Показаны следующие входные параметры: средняя производительность скважины, планируемый процент ежегодного ввода в строй, введенные в строй скважины, планируемый процент ежегодной консервации, запасы соли.

Представленная модель построена в программном пакете AnyLogic [1] с использованием когнитивных карт [2 - 4]. Она охватывает три базовых подмодели «Скважины», «Производительность» и «Запасы соли», которые определяют общее состояние и структуру модели. «Производительность» выражен через взаимосвязи объектов: производительность, воздействие производительности на годовой темп консервации, средняя производительность скважины.

Показан анализ данной модели, разработанный в программном пакете AnyLogic, по которому можно определять устойчивость, адекватность и работоспособность модели [5].

2. Моделирование процесса истощения запасов соли в среде AnyLogic

Имитационное моделирование предполагает замену реальных динамических процессов систем процессами, имитируемыми в виртуальной модели, но с учетом основных свойств работы оригинала. Такой подход позволяет проводить опыты на

Труды Седьмой всероссийской научной конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 28-30 мая, Уфа-Ставрополь, Ханты-Мансийск, Россия, 2019

имитационной модели, которые невозможно или неразумно проводить на реальных объектах с целью ускорения и удешевления проводимых исследований.

В работе для построения имитационной модели использовалось программное обеспечение AnyLogic [6]. Визуализация предметной области в AnyLogic осуществляется с помощью классических когнитивных карт. Классическая когнитивная карта представляет собой ориентированный граф [7].

Модели в AnyLogic представляются тремя этапами: блок-схема, детализированная модель и графики.

На первом этапе моделирования описаны объекты модели скважины, производительность и запасы соли, и их взаимосвязь между собой. Большое количество запасов соли влияет положительно на производительность и число скважин, что ведет к их росту. Однако рост производительности и числа скважин влияет отрицательно на запасы соли, что ведет к их истощению. Также производительность отрицательно влияет на число скважин, т.к. с ростом производительности, запасы соли истощаются и число скважин убывает.

Рассмотрев данную взаимосвязь, учитывая все факторы, которые влияют на добычу соли, можно перейти к разработке имитационной модели в программном пакете AnyLogic. Между объектами модели устанавливаются связи, отображающие взаимосвязь всех объектов в имитационной модели, представленной на рисунке 1.

В процессе разработки имитационной модели в окне строится структурная схема модели из встроенных в программном пакете объектов. После этого они соединяются взаимосвязями посредством стрелок – связей. Далее необходимо ввести функциональные зависимости параметров и их числовые данные. Ввод формул и значений параметров производится при помощи стандартных диалоговых окон (свойств объекта) пакета AnyLogic.

На рисунке 1 изображена модель добычи и истощения запасов соли, построенная с

использованием с трех основных подмоделей «Соль», «Скважины» и «Производительность». Подмодель «Производительность» выражена через взаимосвязи объектов: производительность, воздействие производительности на годовой темп консервации, средняя производительность скважины.

При построении данной модели были присвоены следующие входные данные, представленные константами: запасы соли равные 1000000000 т, средняя производительность скважины равная 1000000 т/год, планируемый процент ежегодного ввода скважин в строй равный 25 %, планируемый процент ежегодной консервации скважин равный 5 %. Внесение этих данных значений в модель происходит с помощью объектов – параметров, они изображаются в программном пакете AnyLogic в виде окружностей с закрашенными треугольниками с боку. Также показаны три динамические переменные в описанной модели: годовой темп ввода скважин в строй, производительность и годовой темп консервации. Они изображены в виде окружностей и охватывают внешние входные данные.

В модели были использованы два блока «Накопителя»: накопитель «Соль», который отражает количество оставшихся запасов соли; и накопитель «Скважины», который хранит текущее число работающих скважин (рисунок 1). В программном пакете AnyLogic суть накопителя в том, что он складывает входящие параметры и вычитает выходящие. Для накопителя размерность потоков одинаковая.

В описанной модели также использованы объекты – потоки (рисунок 1), которые изображены в виде путепровода и вентиля. В модели использованы три потока: поток «Ввод в строй», отражающий количество вводимых скважин в год; поток «Консервация», показывающий количество закрываемых скважин в год; поток «Истощение запасов» изображающий количество соли, добываемое за год.

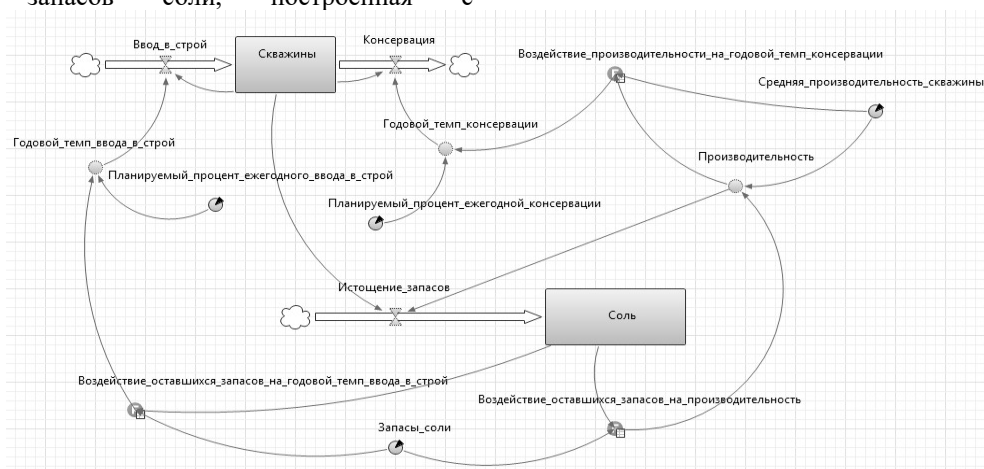


Fig. 1. Имитационная модель истощения запасов соли в программном пакете AnyLogic

3. Описание взаимосвязей общей модели истощения запасов соли

При разработке имитационной модели добычи и истощения залежей соли необходимо рассматривать множество различных факторов, некоторые из них невозможно объяснить каким-то законом или описать формулой. Такими параметрами в описанной модели являются: воздействие оставшихся запасов на производительность, воздействие производительности на годовой темп консервации, воздействие оставшихся запасов на годовой темп ввода в строй. В программном пакете AnyLogic они указываются табличными функциями, которые используют графические функции отображающие взаимосвязи между заданными входными и выходными параметрами. Входные и выходные параметры необходимо задать в вкладке свойств, введя параметры в таблицу «Табличные данные» в полях «Аргумент» и «Значение», и программа автоматически выдаст график во вкладке «Предварительный просмотр».

Табличная функция «Воздействие оставшихся запасов на производительность» регулирует степень влияния накопителя «Соль» и параметра «Запасы соли», конечное значение которых описывается соотношением оставшихся запасов соли к общим запасам («Соль/Запасы_соли»), на динамическую переменную «Производительность», выходные параметры которой выражается произведением нескольких величин и имеет единицы измерения - т/год.

Производительность = Средняя производительность скважины · Воздействие оставшихся запасов на производительность.

Средняя производительность скважины была выражена величиной 1 млн т/год. Значение накопителя «Соль» изначально приравнено к значению 1 млрд т.

Поток «Истощение запасов» управляется уровнем накопителя «Скважины» и динамической переменной «Производительность». Через него выражается воздействие оставшихся запасов соли на производительность. Выходные значения потока «Истощение запасов» в дальнейшем будут отниматься из величины накопителя «Соль». потока «Истощение запасов» выражается следующей формулой и имеет единицы измерения равные т/год.

Истощение запасов = Скважины · Производительность.

Взаимосвязь входного значениями «Соль/Запасы_соли» и выходного значения табличной функции «Воздействие оставшихся запасов на производительность» (рисунок 2) задается графически по следующим координатам: (0.00, 0.00), (0.05, 0.00), (0.1, 0.00), (0.15, 0.00), (0.2, 0.41), (0.25, 0.695), (0.3, 0.84), (0.35, 0.935), (0.4, 0.98), (0.45, 0.995), (0.5, 1.00), (0.55, 0.00), (0.6, 0.005), (0.65, 0.00), (0.7, 0.0). Данная табличная функция является безразмерной.

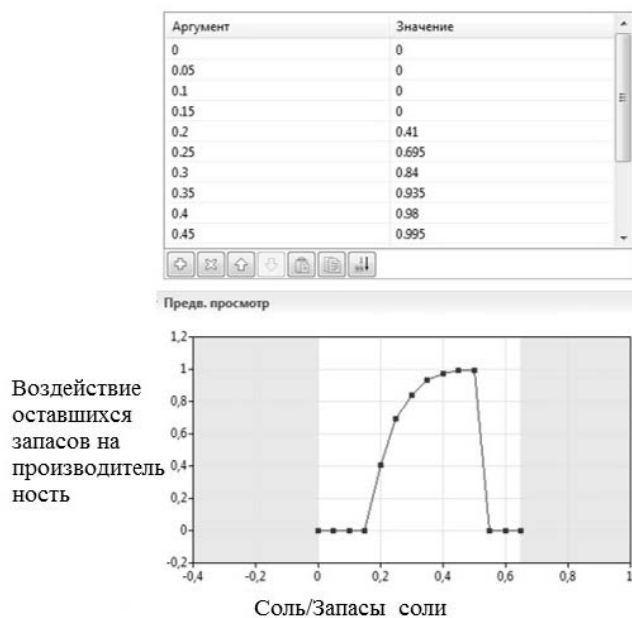


Fig. 2. Табличная функция «Воздействие оставшихся запасов на производительность»

Из представленного графика видно, что при росте значения отношения «Соль/Запасы_соли», табличная функция «Воздействие оставшихся запасов на производительность» будет повышаться до того

момента, пока значение отношения «Соль/Запасы_соли» не достигнут уровня 50%. Далее при росте значения отношения «Соль/Запасы_соли», табличная функция «Воздействие оставшихся запасов

Использование среды AnyLogic в математическом моделировании процесса истощения запасов соли

на производительность» будет падать. Данная зависимость определена конкретными условиями работы реальной системы (рисунок 2).

Табличная функция «Воздействие производительности на годовой темп консервации» (рисунок 3) отражает взаимосвязь степени воздействия динамической переменной «Производительность» и параметра «Средняя производительность скважины» на динамическую переменную «Годовой темп консервации». Динамическая переменная «Годовой темп консервации» имеет единицы измерения равные 1/год и описывается формулой

Годовой темп консервации = Воздействие производительности на годовой темп консервации · (Планируемый процент ежегодной консервации / 100).

Планируемый процент ежегодной консервации равен 5 %.

Поток «Консервация» управляется уровнем накопителя «Скважины» и динамической переменной

«Годовой темп консервации». Через него выражается воздействие производительности на годовой темп консервации.

Выходные значения потока «Консервация» в дальнейшем будут отниматься из величины накопителя «Скважины». Поток «Консервация» имеет единицы измерения равные шт./год и описывается формулой

Консервация = Скважины · Годовой темп консервации.

Взаимосвязь между входными значениями «Производительность/Средняя производительность скважины» и выходными значениями табличной функции «Воздействие производительности на годовой темп консервации» задается графически (рисунок 3) имеет безразмерную величину и задается следующими координатами: (0.00, 20.0), (0.1, 19.9), (0.2, 19.8), (0.3, 18.8), (0.4, 11.1), (0.5, 4.6), (0.6, 2.3), (0.7, 1.4), (0.8, 1.05), (0.9, 1.00), (1.00, 1.00).

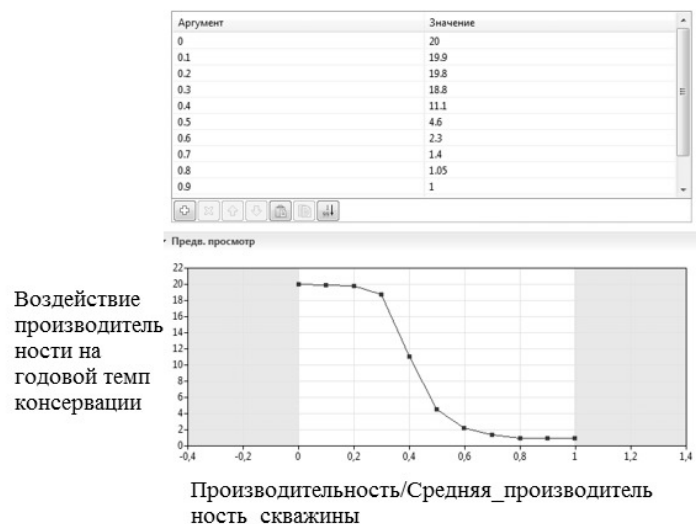


Fig. 3. Табличная функция «Воздействие производительности на годовой темп консервации»

Табличная функция «Воздействие оставшихся запасов на годовой темп ввода в строй» (рисунок 4) регулирует воздействие накопителя «Соль» и параметра «Запасы соли» на динамическую переменную «Годовой темп ввода в строй». Динамическая переменная «Годовой темп ввода в строй» измеряется в 1/год и описывается формулой

Годовой темп ввода в строй = Воздействие оставшихся запасов на годовой темп ввода в строй · (Планируемый процент ежегодного ввода в строй/100).

Планируемый процент ежегодного ввода в строй равен 25 %.

Поток «Ввод в строй» управляет уровнем накопителя «Скважины» и динамической переменной «Годовой

темп ввода в строй». Через него выражается воздействие оставшихся запасов на годовой темп ввода в строй [8]. Выходные значения потока «Ввод в строй» в дальнейшем будут суммироваться к величине накопителя «Скважины», и описываются формулой

Ввод в строй = Скважины · Годовой темп ввода в строй.

Начальное значение скважин равно 1 шт.

Взаимосвязь между входными значениями «Соль/Запасы_соли» и выходными значениями табличной функцией «Воздействие оставшихся запасов на годовой темп ввода в строй» (рисунок 4) имеет безразмерную величину и задается графически по следующим координатам: (0.00, 0.00), (0.1, 0.00),

(0.2, 0.00), (0.3, 0.00), (0.4, 0.41), (0.5, 0.695), (0.6, 0.84), (0.7, 0.935), (0.8, 0.98), (0.9, 0.995), (1, 1.00).

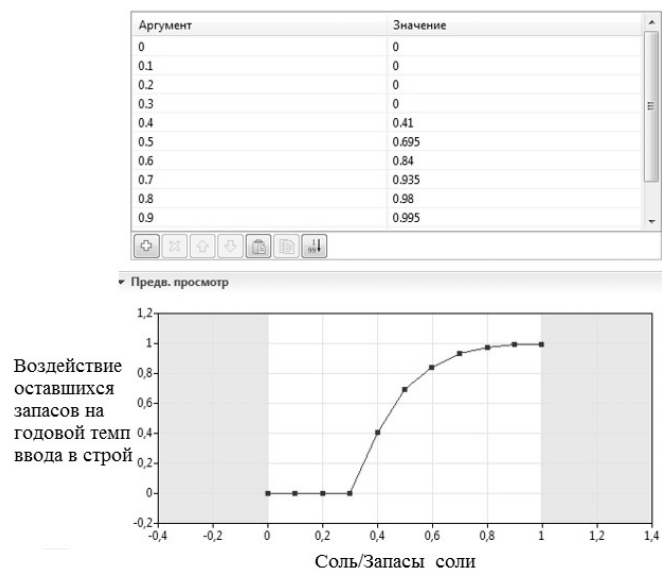


Fig. 4. Табличная функция «Воздействие оставшихся запасов на годовой темп ввода в строй»

Все перечисленные параметры влияют на темпы истощения запасов соли. Взаимосвязи описанных параметров показаны стрелками (рисунок 1).

После ввода всех данных были размещены объекты «График» и «Таблица» для результатов имитации модели, представленной на рисунке 1. Входные параметры:

- средняя производительность скважины: 1 млн т/год;
- планируемый процент ежегодной консервации скважин: 5 %;

- планируемый процент ежегодного ввода в строй скважин: 25 %;
- запасы соли: 1 млрд тонн.

По исходным данным и выведенным математическим зависимостям были спрогнозированы оставшиеся запасы соли и количество работающих и законсервированных скважин на 40 лет. Полученные данные показаны по годам в таблице 1.

Таблица 1 – Таблица параметров модели

Г о д	Соль	Сква жины	Вв од в ст ро й	Консер вация	Исто щени е запас ов	Годов ой тем п консер вации	Год овой тем п ввод а в стро й	Производи тельность	Возде йствие остав шихся запасо в на годово й темп ввода в строй	Воздейств ие оставшихс я запасов на производи тельность	Воздейств ие производит ельности на годовой темп консерваци и
0	10000 00000	1				0,05	0,25	1000000	1,0	1,0	1,0
1	99892 2513	1	0	0	10774 87	0,05	0,25	999892	1,0	1,0	1,0

Продолжение таблицы 1.

2	997612986	1	0	0	1309527	0,05	0,25	999761	1,0	1,0	1,0
3	996021513	2	0	0	1591473	0,05	0,25	999602	1,0	1,0	1,0
4	994087483	2	0	0	1934030	0,05	0,25	999409	1,0	1,0	1,0
5	991737302	3	1	0	2350181	0,05	0,25	999174	1,0	1,0	1,0
6	988881630	3	1	0	2855672	0,05	0,25	998888	1,0	1,0	1,0
7	985412046	4	1	0	3469584	0,05	0,25	998541	1,0	1,0	1,0
8	981197019	5	1	0	4215027	0,05	0,25	998120	1,0	1,0	1,0
9	976077049	6	1	0	5119969	0,05	0,25	997608	1,0	1,0	1,0
10	969858826	7	2	0	6218223	0,05	0,25	996986	1,0	1,0	1,0
11	962308205	9	2	0	7550621	0,05	0,25	996231	1,0	1,0	1,0
12	953141807	10	2	0	9166398	0,05	0,25	995314	1,0	1,0	1,0
13	942019106	13	3	1	11122701	0,05	0,25	993404	1,0	0,99	1,0

Продолжение таблицы 1.

14	928539741	15	3	1	13479365	0,05	0,25	990708	1,0	0,99	1,0
15	912216792	19	4	1	16322949	0,05	0,25	987443	1,0	0,99	1,0
16	892479750	23	5	1	19737042	0,05	0,25	975224	0,99	0,98	1,0
17	869045835	27	6	1	23433915	0,05	0,25	944760	0,99	0,94	1,0
18	841602563	33	7	1	27443271	0,05	0,25	887250	0,99	0,89	1,01
19	811517779	40	9	2	30084784	0,06	0,25	769919	0,98	0,77	1,16
20	780984865	48	11	3	30532915	0,13	0,24	589993	0,97	0,59	2,53
21	755665662	48	12	12	25319203	0,52	0,24	410226	0,96	0,41	10,44
22	740130749	30	10	28	15534913	0,84	0,24	326575	0,95	0,33	16,75
23	732666338	15	6	21	7464411	0,94	0,24	293732	0,95	0,29	18,86
24	729419609	7	3	11	3246729	0,95	0,24	279446	0,95	0,28	19,01

Продолжение таблицы 1.

25	727993773	3	1	5	1425836	0,95	0,24	273173	0,95	0,27	19,07
26	727357298	1	1	2	636475	0,95	0,24	270372	0,95	0,27	19,10
27	727071046	1	0	1	286252	0,96	0,24	269113	0,95	0,27	19,11
28	726941864	0	0	0	129182	0,96	0,24	268544	0,95	0,27	19,11
29	726883476	0	0	0	58388	0,96	0,24	268287	0,95	0,27	19,12
30	726857067	0	0	0	26409	0,96	0,24	268171	0,95	0,27	19,12
31	726845118	0	0	0	11949	0,96	0,24	268119	0,95	0,27	19,12
32	726839711	0	0	0	5407	0,96	0,24	268095	0,95	0,27	19,12
33	726837264	0	0	0	2447	0,96	0,24	268084	0,95	0,27	19,12
34	726836157	0	0	0	1107	0,96	0,24	268079	0,95	0,27	19,12
35	726835656	0	0	0	501	0,96	0,24	268077	0,95	0,27	19,12

Продолжение таблицы 1.

36	726835429	0	0	0	227	0,96	0,24	268076	0,95	0,27	19,12
37	726835326	0	0	0	103	0,96	0,24	268075	0,95	0,27	19,12
38	726835280	0	0	0	46	0,96	0,24	268075	0,95	0,27	19,12
39	726835259	0	0	0	21	0,96	0,24	268075	0,95	0,27	19,12

На рисунке 5 представлены следующие результирующие графики: общее количество скважин; количество скважин, введенных в строй; количество законсервированных скважин; и количество соли. Из полученного графика видно, что со временем растет число действующих скважин (2), число введенных скважин в строй (3), однако при этом происходит истощение запасов соли (1). Далее с

увеличением количества законсервированных скважин (4), происходит уменьшение количества действующих скважин (2) и введенных в строй скважин (3) до нуля. После 24-го года величина ресурсов запасов соли (1) перестает уменьшаться, это происходит из-за консервирования скважин для добычи соли.

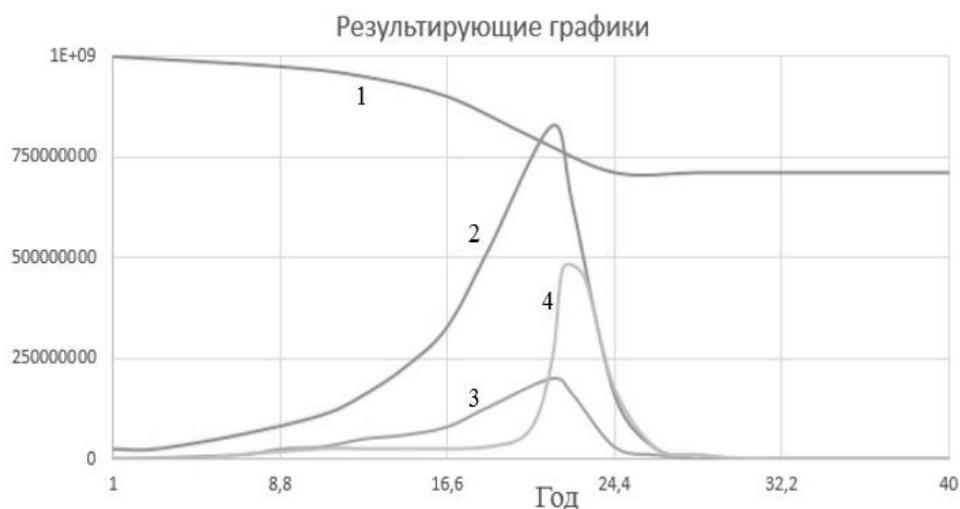


Fig. 5. Графики: количества соли (1), общего количества скважин (2), количества скважин, введенных в строй (3), количества законсервированных скважин (4)

На рисунке 6 показано отношение доли соли к доле скважин. При росте количества действующих скважин приблизительно до 48 шт. происходит постепенное истощение запасов соли меньше чем на

одну четвертую. Однако при достижении данных значений количество скважин падает до нуля, при этом истощение запасов равно более одной четвертой запасов соли.

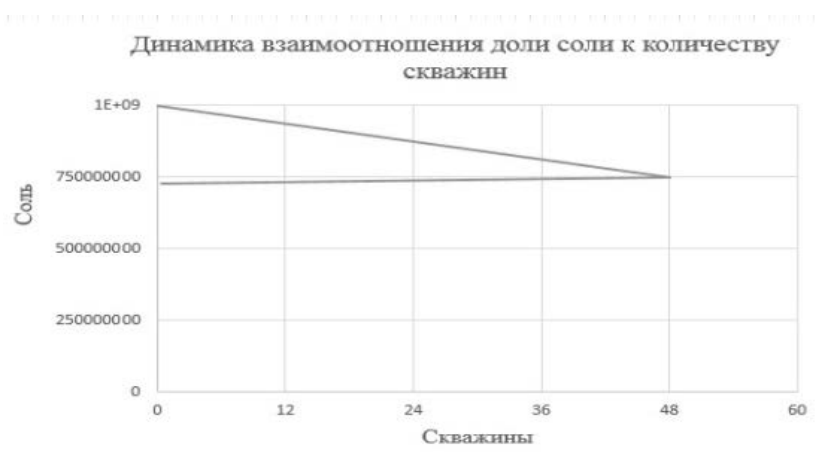


Fig. 6. График соотношения доли соли к количеству скважин

4. Анализ полученной модели

Также был проведен анализ устойчивости имитационной модели. Устойчивость результатов имитационной модели – это степень нечувствительности ее к изменению условий моделирования [8]. Вообще, устойчивость результатов имитационного модели – это сходимость контролируемого параметра модели при повышении времени моделирования к определенной величине [9]. А чувствительность модели – это оценка воздействия колебаний входных значения параметров модели на выходные. То есть, анализ чувствительности модели можно провести при малых изменениях значения входного параметра, и в случае слабого влияния изменения входного параметра на выходной, можно сделать вывод, что полученная имитационная модель устойчива.

Рассмотреть анализ чувствительности имитационной модели можно путем изменения значения входного параметра модели «Запасы соли» от 1 млрд т до 5 млрд т, и построив график по данным взаимосвязи количества работающих скважин от времени (рисунок 7), число которых будет зависеть от

оставшихся запасов соли. Моделирование показывает, что параметр – число скважин сходится, т.к. независимо от начальных значений запасов соли, в конечном итоге запасы будут выработаны, и не останется действующих скважин, количество которых в конечном результате будут равняться 0. Из этих данных можно сделать вывод, что модель работает адекватно, т.е. модель устойчива.

По рисунку 7 можно определить момент начала спада темпов добычи соли из-за сильного истощения запасов последней и уменьшения количества работающих скважин. Кривая (1) изображает соотношение количества работающих скважин от времени при начальных значениях запаса соли равной 1 млрд т, в данном случае с 21-го года происходит спад количества работающих скважин; кривая (2) – при начальных значениях запаса соли равных 2 млрд т, спад происходит после 25-го года; кривая (3) – при начальных значениях запаса соли равных 3 млрд т, спад происходит после 27-го года; кривая (4) – при начальных значениях запаса соли равных 4 млрд т, спад происходит после 29-го года; кривая (5) – при начальных значениях запаса соли равных 5 млрд т, спад происходит после 30-го года.

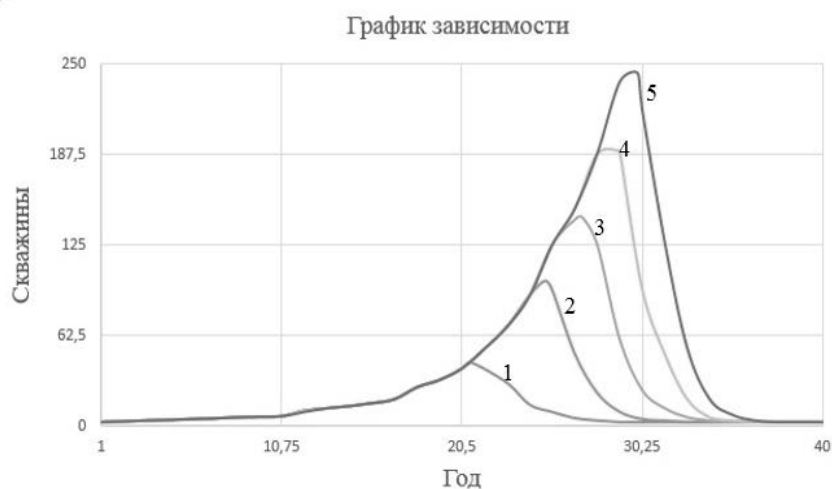


Fig. 7. График соотношения количества работающих скважин от времени для разных значений запасов соли

5. Заключение

На истощение полезных ископаемых влияет множество факторов, также они негативно действуют на деятельность предприятия [9]. Это возможно увидеть при имитационном моделировании выработки запасов соли в программном пакете AnyLogic на базе когнитивных карт.

Результате имитационного моделирования добычи соли получены зависимости следующих величин от времени: количества соли; общего количества скважин; количества скважин, введенных в строй; количества законсервированных скважин; соотношение количества работающих скважин для разных значений запасов соли; а также соотношение доли соли к количеству скважин. По представленным данным видно, что примерно за 24 года истощается одна четвертая запасов соли.

Результаты, полученные при имитационном моделировании, существенно зависят от истинности значений входных данных об оставшихся ресурсах запасов соли, о темпах добычи сырья, о последующих работах по добычи соли, которыми располагает предприятие. Разработанная модель работоспособна и устойчива. При вводе более точных значений входных параметров, модель способна выдавать результат, который будет более точно соответствовать действительности.

Благодарности

Оргкомитет благодарит РФФИ за содействие в проведении конференции.(style - Plane Text)

Список используемых источников

Список используемых источников оформляется согласно ГОСТ Р 7.0.5 2008 «Библиографическая ссылка»

1. Практикум по имитационному моделированию сложных систем в среде AnyLogic 6: учеб. пособие / Р. Ф. Маликов. — Уфа: Изд-во БГПУ, 2013. — 296с.
2. Шарипов М.И. Нечеткие когнитивные модели с представлением характеристик концептов совокупностью аргументов двузначной логики / Шарипов М.И., Муравьева Е.А., Каяшев А.И., Багров К.А. // ITIDS+RRS'2014 Proceedings of the 2nd International Conference "Information Technologies for Intelligent Decision Making Support". 2014. С. 18–21.
3. Шарипов М.И. Когнитивное моделирование с интерпретацией параметров концептов совокупностью термов с прямоугольной формой функции принадлежности / Шарипов М.И., Муравьева Е.А., Багров К.А., Каяшев А.И.// Интеллектуальные системы: труды одиннадцатого международного симпозиума; [под ред. К.А. Пупкова]. 2014. С. 304–309.
4. Каяшев А.И. Когнитивные карты с интерпретацией концептов и связей между ними совокупностью аргументов двузначной логики / Каяшев А.И., Шарипов М.И., Муравьева Е.А., Багров К.А. // материалы XII всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2014. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 2014. С. 4126–4131.
5. Имитационное моделирование систем в среде AnyLogic: учебно-методическое пособие /М.В. Киселёва. — Екатеринбург: УГТУ — УПИ, 2009.
6. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. / Ю.Г. Карпов — СПб.: БХВ-Петербург, 2009.
7. Кузнецов О.П. Когнитивное моделирование слабо структурированных ситуаций. // URL: <http://posp.raai.org/data/posp2005/Kuznetsov/kuznetsov.html> (дата обращения: 11.07.2017).
8. Имитационное моделирование экономических процессов: учебное пособие. / Н.Н. Лычкина — М.: ИНФРА-М, 2014. С. 112–114.
9. Имитационное моделирование экономических систем: учебно-методическое пособие. / О.В. Мичасова — Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014. — С. 159–171.