

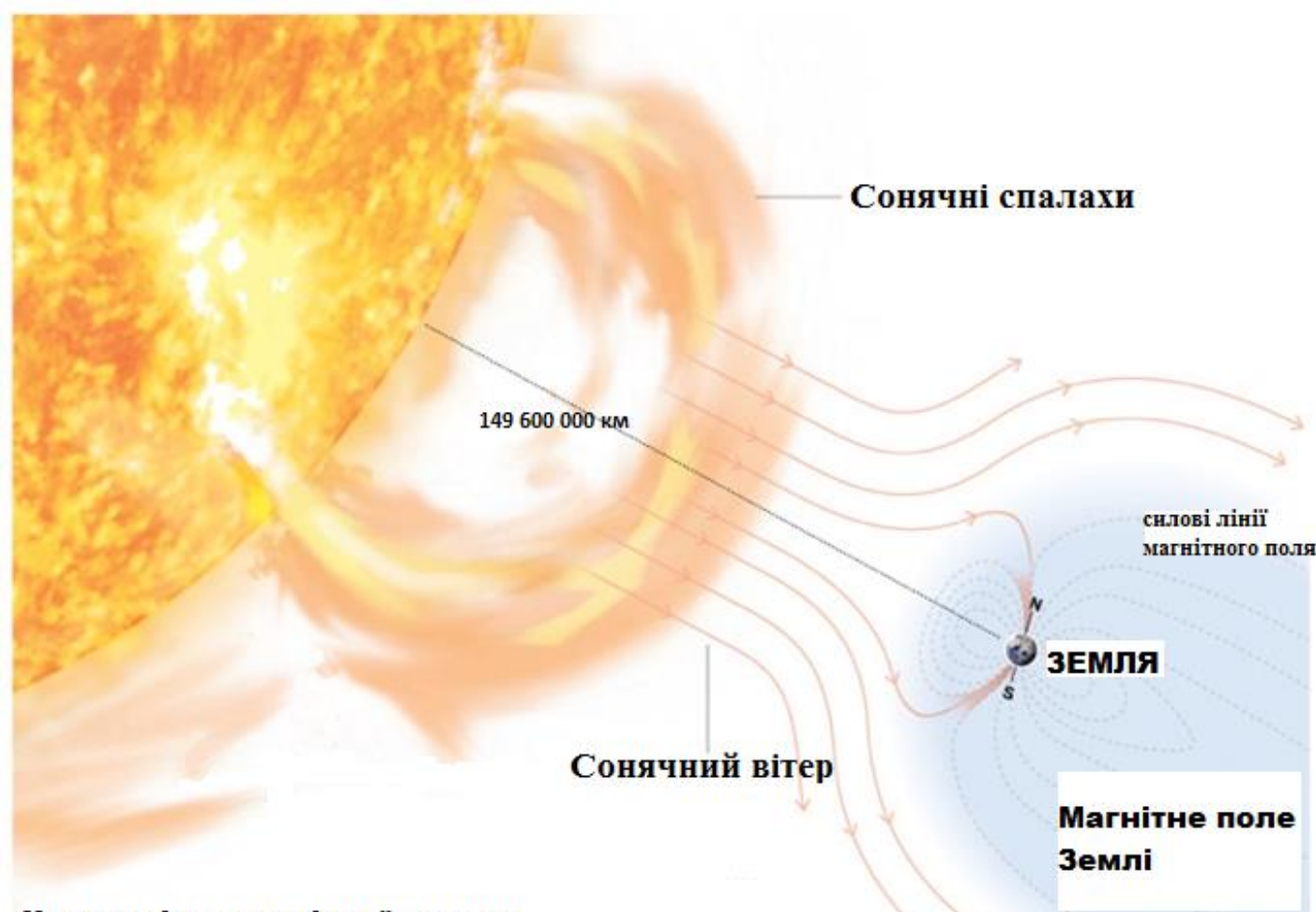
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ КОМПЛЕКС  
«ІНСТИТУТ ПРИКЛАДНОГО СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ»  
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»  
КАФЕДРА МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

# **ТЕМА: Передбачення сонячної активності на основі аналізу радіовипромінювання Сонця.**

Роботу виконав:  
Студент  
Групи КА-23  
**Варава Владислав Вергійович**

Науковий керівник:  
д.т.н., проф.  
**Подладчіков Володимир Миколайович**

**Київ - 2016**



По мірі з'ясування фізичних сторін впливу Сонця на Землю виявилось величезне прикладне значення цієї проблеми для:

- ✓ радіозв'язку,
- ✓ магнітної навігації,
- ✓ безпеки космічних польотів,
- ✓ прогнозування погоди і т.п.

Уразливі до космічної погоди



Супутники та GPS пристрої



Нафтопроводи



Авіація



Космічні станції



Силові лінії

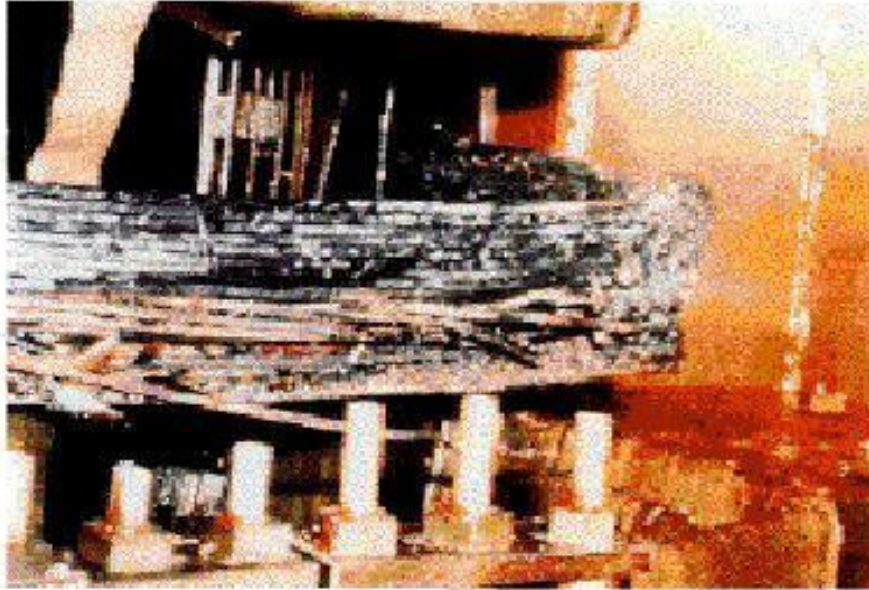


Постачання води



## PJM Public Service Step Up Transformer

Severe internal damage caused by  
the space storm of 13 March, 1989.



- ✓ Магнітна буря в 1989 р. навела струми, які зруйнували трансформатор. Це відключило світло у 6 мільйонів людей в Квебеку (Канада) на 9 годин.

- ✓ В результаті потужного сонячного спалаху 4 серпня 1972 р. – протягом 90 хвилин в іоносфері (за даними ст. Москва) спостерігалось повне поглинання радіохвиль на всіх частотах.
- ✓ Одночасно в Канаді і США помічені коливання напруги в високовольтних електричних лініях і порушення в роботі кабельних систем зв'язку - телетайпа і телефону.

# ІНШІ ПРОБЛЕМИ, ПОВ'ЯЗАНІ З СОНЦЕМ



- властивості плазми в різних космічних умовах,
- способи перетворення енергії магнітних полів в енергію прискорених частинок і ударних хвиль,
- механізми передачі енергії сонячних збурень через міжпланетне середовище в навколоземний простір, всередину магнітосфери Землі, в її атмосферу і т.д.



Явища в атмосфері Сонця, які змінюють звичайний стан магнітосфери і різних шарів атмосфери Землі отримали назву **сонячної активності**.

Всі прояви активності на Сонці пов'язані з виникненням і розвитком **магнітних полів**. Магнітні поля спостерігаються на рівні **фотосфери**, однак явища активності протікають в основному в **хромосфері** та **короні**.



Ряд явищ на Землі повторюються з періодом обертання Сонця (близько 27 днів).

До подібних явищ належать, наприклад, так звані рекурентні, тобто періодично повторювані, магнітні бурі.

Крім процесів великого часового масштабу, в активній області часто спостерігаються раптові явища, пов'язані з нестаціонарними процесами - сонячними спалахами.

# ІНДЕКС ПОТОКУ РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ СОНЦЯ

Визначається для різних довжин хвиль - від метрів до сантиметрів.

Індекс потоку радіовипромінювання Сонця на хвилі 10,7 см (F10.7cm)  
(2800 МГц).

- Не залежить від погодних умов,
- Тісно пов'язаним з ходом зміни чисел Вольфа,
- Вельми приваблива характеристика сонячної активності.

**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ:** розробити ефективну методику прогнозування індексу F10,7 (потік випромінювання Сонця на довжині хвилі 10,7 см) на 1 день

**АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ:** прогнозування сонячної активності є дуже важливою задачею в сучасному світі, адже космічна погода дуже сильно впливає як на навколоземні супутники та космічні станції, так і на різні процеси на Землі.

**ОБ'ЄКТОМ ДОСЛІДЖЕННЯ** є вибірка 144 щоденних вимірювань потоків з червня 2015 по жовтень 2015.

**ПРЕДМЕТОМ ДОСЛІДЖЕННЯ** є фільтр Калмана



# ФІЛЬТР КАЛМАНА

$F_k$  - матриця переходу стану, що застосовується до попереднього стану  $x_{k-1}$

$B_k$  - матриця впливів керування, що застосовується до вектору керування  $U_k$

$w_k$  - шум процесу, що, як вважається, має багатовимірний нормальний розподіл з нульовим мат. сподіванням та коваріаційною матрицею  $Q_k$ .  
 $w_k \sim N(0, Q_k)$

$$x_k = F_k x_{k-1} + B_k U_k + w_k,$$

$$z_k = H_k x_k + v_k.$$

$H_k$  - матриця спостереження, яка пов'язує істинний вектор стану та вектор вимірювань

$v_k$  - шум спостереження, що, як вважається, є гаусовим білим шумом з нульовим мат. сподіванням і з коваріаційною матрицею  $R_k$ .  
 $v_k \sim N(0, R_k)$

# ФІЛЬТР КАЛМАНА

Надалі запис  $\hat{x}_{n|m}$  представляє оцінку істинного вектора  $x$  в момент часу  $n$  при заданих спостереженнях по момент часу  $t \leq n$  включно.

Початкові значення  $\hat{\mathbf{x}}_{k-1|k-1}$  та  $\mathbf{P}_{k-1|k-1}$

### Передбачення

1. Передбачена (апріорна) оцінка стану

$$\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} = \mathbf{F}_k \hat{\mathbf{x}}_{k-1|k-1} + \mathbf{B}_k \mathbf{U}_k$$

2. Коваріаційна матриця передбаченої (апріорної) оцінки

$$\mathbf{P}_{k|k-1} = \mathbf{F}_k \mathbf{P}_{k-1|k-1} \mathbf{F}_k^T + \mathbf{Q}_k$$

### Корекція

1. Відхилення отриманого на кроці k спостереження від спостереження, очікуваного при передбаченні

$$\tilde{\mathbf{y}}_k = \mathbf{z}_k - \mathbf{H}_k \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}$$

2. Коваріаційна матриця для вектора відхилення (вектора похибки)

$$\mathbf{S}_k = \mathbf{H}_k \mathbf{P}_{k|k-1} \mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k$$

3. Оптимальна по Калману матриця коефіцієнтів підсилення

$$\mathbf{K}_k = \mathbf{P}_{k|k-1} \mathbf{H}_k^T \mathbf{S}_k^{-1}$$

4. Оновлена (апостеріорна) оцінка стану

$$\hat{\mathbf{x}}_{k|k} = \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} + \mathbf{K}_k \tilde{\mathbf{y}}_k$$

5. Коваріація оновленої (апостеріорної) оцінки

$$\mathbf{P}_{k|k} = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k \mathbf{H}_k) \mathbf{P}_{k|k-1}$$

$f_k$  - значення потоку радіовипромінювання в  $k$ -й день

$w_{k+1}$  - шум моделі, що описує похибки моделі і непередбачуваність динаміки в майбутньому

$q_{k+1}$  - систематична складова зміни потоку радіовипромінювання за один день.

Рівняння стану, що описує динаміку потоку радіовипромінювання

$$f_{k+1} = f_k + w_{k+1} + q_{k+1}$$

Припускається, що доступні спостереження потоку радіовипромінювання в присутності шуму.

Тоді рівняння вимірювання потоку радіовипромінювання має вигляд

$$z_k = f_k + v_k$$

$z_k$  - спостережуване значення потоку радіовипромінювання в  $k$ -й день

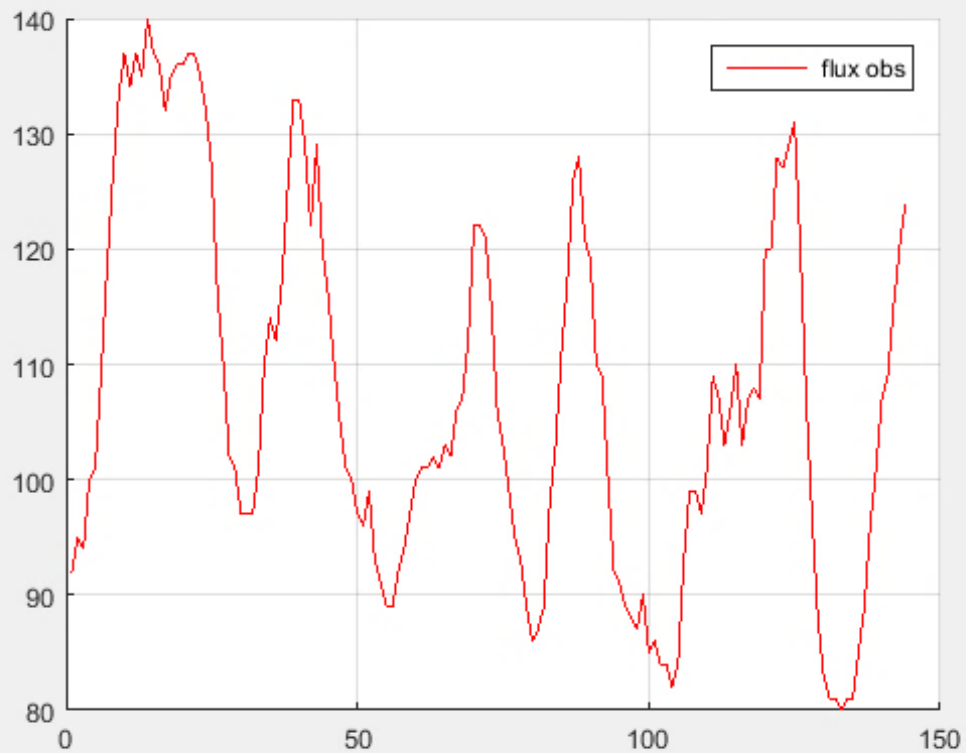
Для того, щоб використовувати рівняння фільтра Калмана ми вважаємо  $w_{k+1}$  та  $v_k$  некорельованими та незміщеними з дисперсіями  $\mathbf{Q}$  та  $\mathbf{R}$  відповідно.

$v_k$  - послідовність вимірювальних шумів

Нехай  $\hat{q}_{k+1}$  - прогнозоване значення зміни потоку на  $k+1$  крок

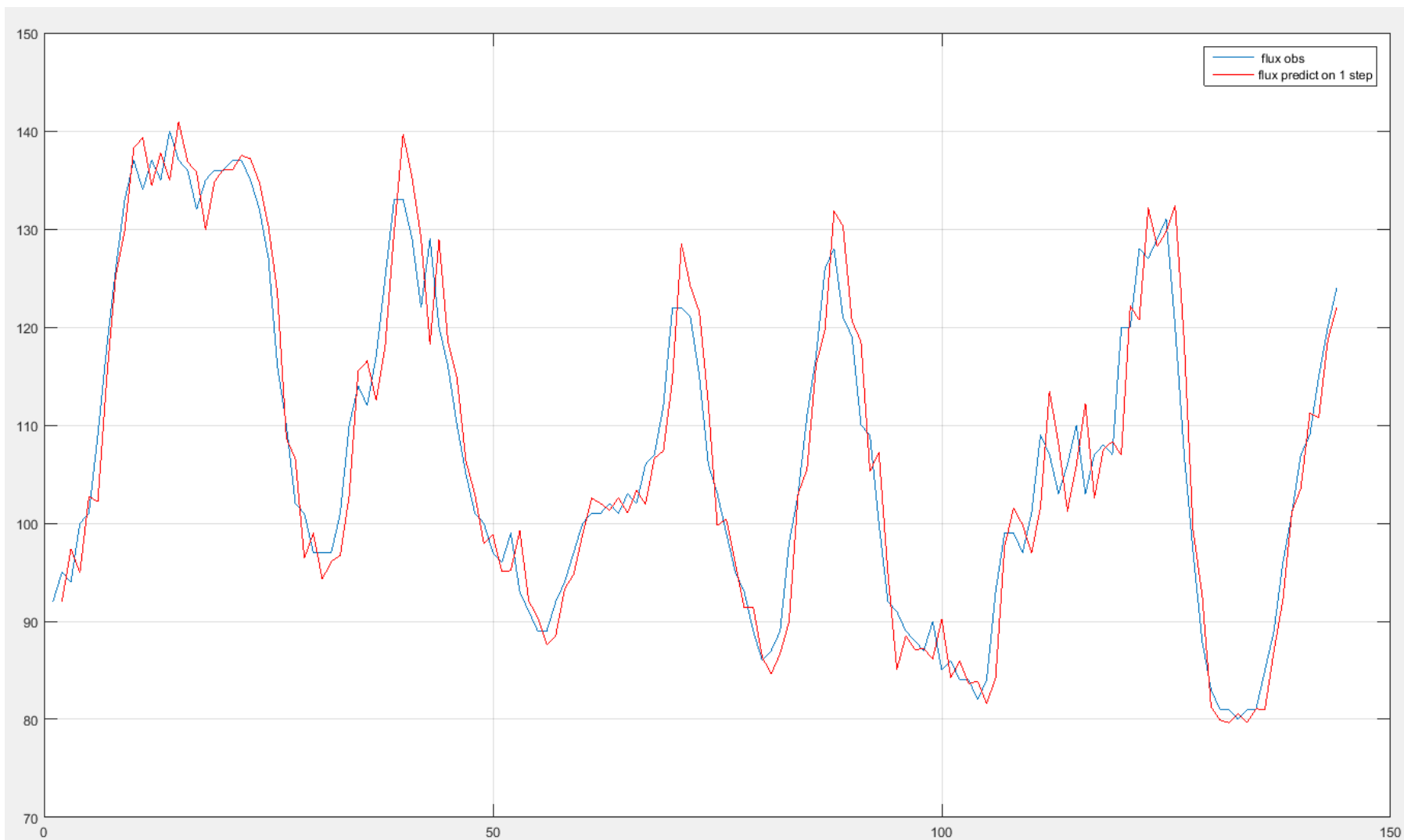
$$\hat{q}_{k+1} = \hat{q}_k + \alpha(q_k - \hat{q}_k).$$

$\alpha = 0,82$  а також параметри моделі  $Q = 4$  та  $R = 3$ .



При виконанні умови  $\frac{q_k}{\hat{q}_k} < 1$  в якості прогнозованого зміщення використовується величина  $\hat{q}_{k+1} = \frac{q_k}{2}$

# АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ



СКП=4,43

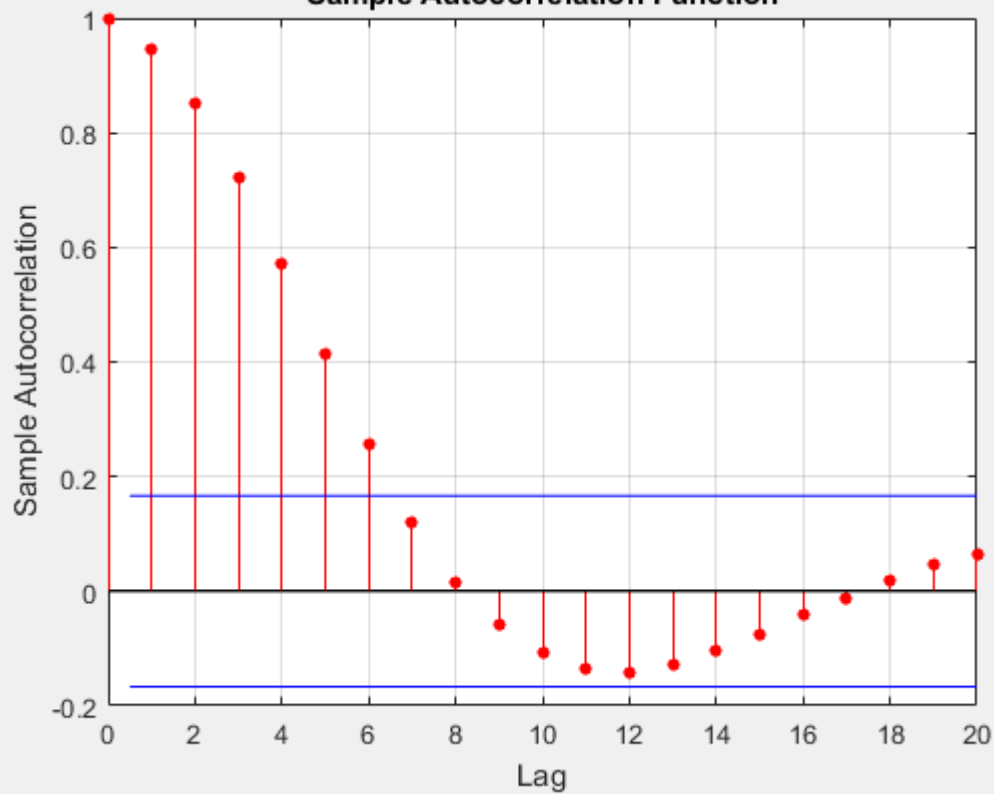
Традиційний алгоритм прогнозування потоків на 1 день, заснований на припущенні, що приріст потоку на наступний день збігається з поточним приростом, можна розглядати як окремий випадок розглянутого підходу при  $R = 0$  та  $\alpha = 1$



СКП=5,14 що на 16% більше

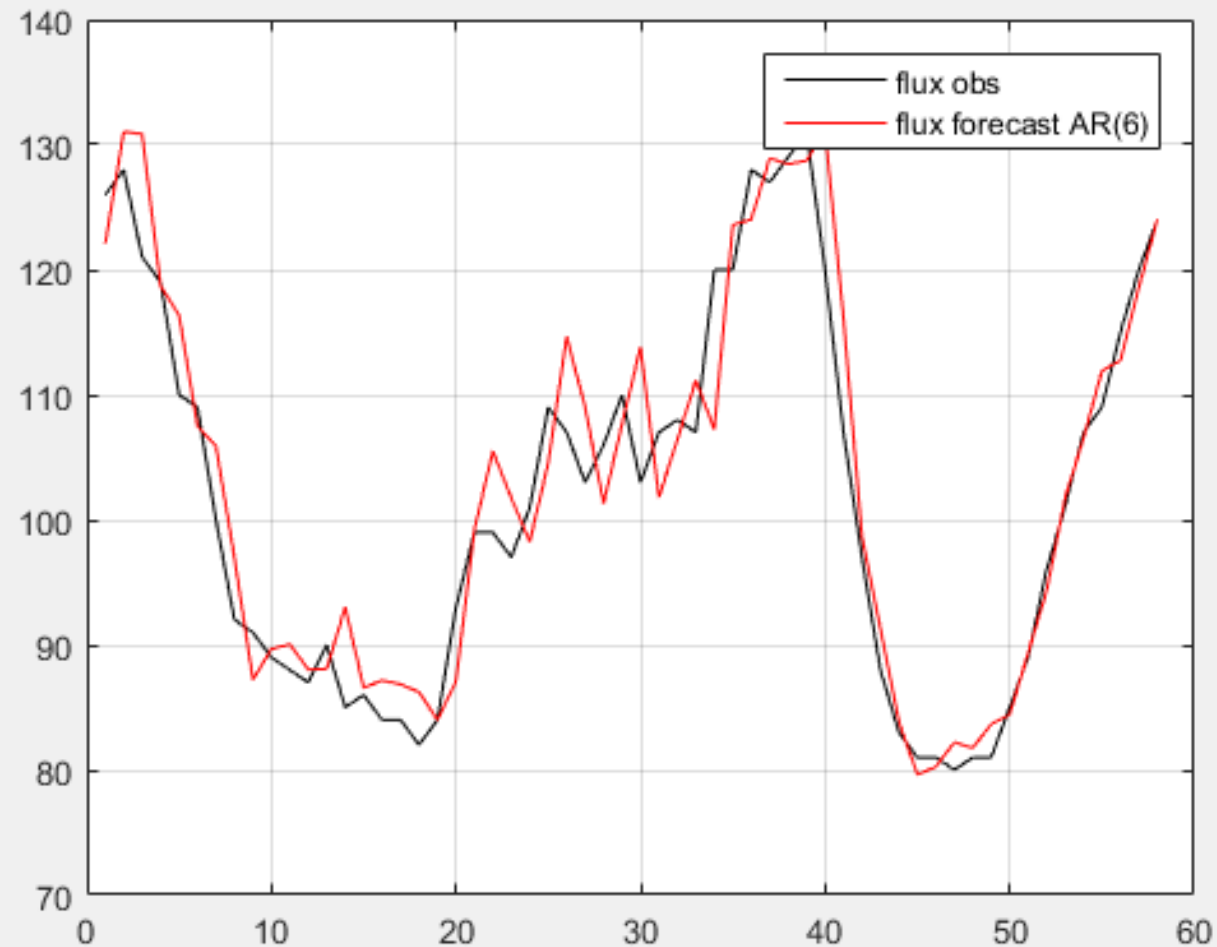


Sample Autocorrelation Function




AR(6)

Навчальна вибірка- 60%,  
перевірочна- 40%.



СКП=4,47 що на 1% більше



ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!