

*Присвячується пам'яті  
професора А. В. Домбровського*

УДК 547.558.1'547.241+547.297

**В.М.Листван, В.В.Листван, А.М.Шекель**

## **АЛКІЛІДЕНФОСФОРАНИ: СИНТЕЗ, РЕАКЦІЙНА ЗДАТНІСТЬ, ПРЕПАРАТИВНІ МОЖЛИВОСТІ**

Житомирський державний педагогічний університет ім. І. Франка.  
100008. Житомир, вул. Бердичівська, 40

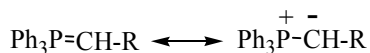
*Узагальнені і систематизовані дані синтезу, реакційної здатності і  
препаративних можливостей алкіліденфосфоранів.*

*Обобщены и систематизированы данные синтеза, реакционной  
способности и препаративных возможностей алкилиденфосфоранов.*

*There are generalized and systematized data of the synthesis, of the  
reactionary reach and of the preparatory facilities alcilidenphosphoranes.*

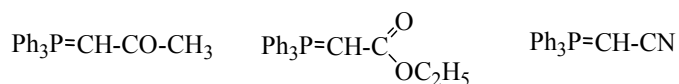
Фосфонієві солі та алкіліденфосфорани (фосфоріліди), їх синтез, вивчення реакційної здатності, реакція Віттіга – це був другий напрямок (після реакцій галогенарилування ненасичених сполук солями діазонію) у науковій діяльності професора А.В.Домбровського, започаткований ним у Чернівецькому університеті в 60-х роках минулого століття. З цієї теми під керівництвом А.В.Домбровського було виконано цілу низку кандидатських і одну докторську дисертацію.

Алкіліденфосфорани (інакше фосфоріліди, фосфінметилени) – сполуки з подвійним зв'язком  $P=C$ , значною мірою поляризованим,  $R_3P=CR_1R_2$  – досить цікавий і реакційноздатний клас фосфорорганічних сполук [1]. Практичне значення мають майже виключно похідні трифенілфосфіну.

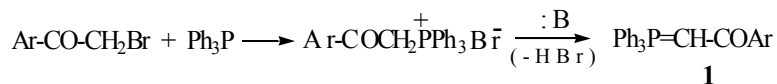


Алкіліденфосфорани, в яких  $R = Alk$  або  $Ar$ , дуже реакційноздатні сполуки, чутливі до дії вологи та кисню повітря. Їх не виділяють у чистому вигляді, а проводять реакції *in situ* у безводних розчинниках і часто в інертній атмосфері. Якщо ж з ілідним атомом Карбону сполучені електронноакцепторні групи (кетонні, естерові та ін.), які відтягують на себе електрони з ілідного атома Карбону, то це призводить до деякого зниження нуклеофільності і реакційної здатності цих сполук. При цьому значно зростає стабільність речовин і їх можна виділяти та зберігати у звичайних умовах.

Деякі з них продаються фірмами як хімреактиви. Приклади стабільних фосфорілідів:



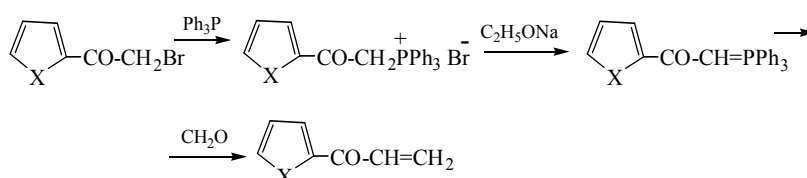
А.В.Домбровським синтезувались і досліджувались переважно ароїлметилентрифенілфосфори (АМТФ). Перші з них були отримані на основі бромованих ацетофенонів, які легко реагують з трифенілфосфіном з утворенням фософнієвих солей. Останні при дії основ (в перших роботах застосовувались алкоголяти) відщеплюють HBr і дають відповідні АМТФ [2,3]



Отримані АМТФ **1** при нагріванні з формальдегідом (чи параформом) вступають в реакцію Віттіга з утворенням арилвінілкетонів [3,4], а з ароматичними альдегідами дають халкони [5].

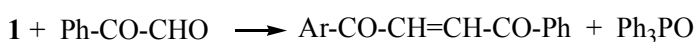


Гетероциклічні арилметилкетони (2-ацетилфуран і 2-ацетилтіофен) через бромопохідні були перетворені у відповідні АМТФ і далі за реакцією Віттіга у гетероциклічні арилвінілкетони [6].

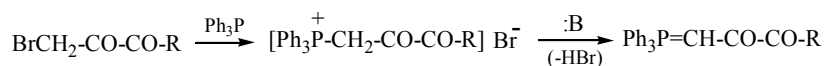


Були теж отримані солі і фосфори з іншими гетероциклами (бензофуран, бензодіоксан) і з конденсованими поліциклами [7-9], а також неконденсованими багатоядерними фрагментами [10,11].

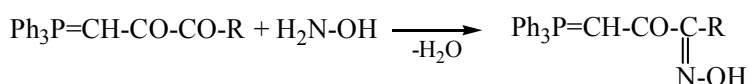
Було з'ясовано, що реакція Віттіга АМТФ з фенілглюксалем відбувається при кімнатній температурі [11,12]. Утворюються при цьому діароїлетени.



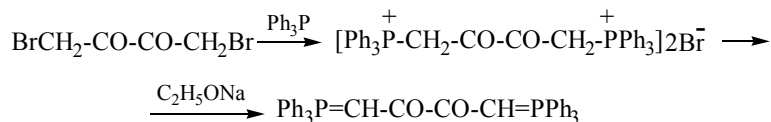
На основі бромованого діацетилу та інших дикетонів Домбровським з співробітниками отримані дикетоалкіліденфосфори [13-15].



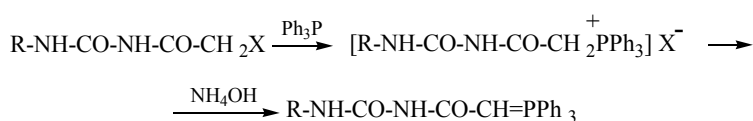
Останні реагують з гідроксиламіном за участю тільки однієї кетонної групи [16]. Зрозуміло, що активнішою є більш віддалена від ілідного атома Карбону група C=O.



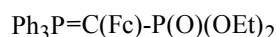
Ди(бромометил)кетони реагують з 2 моль трифенілфосфіну з утворенням біс-фосфонієвих солей і далі біс-ілідів [9,15,17]. Так, дибромований діацетил за кімнатної температури реагує з трифенілфосфіном по атому Оксигену з утворенням енол-фосфонієвої солі, однак при нагріванні утворюється С-фосфонієва сіль, з якої при дії основ добувають біс-ілід.



Синтезовано карбамідні фосфонієві солі та іліди, на основі яких можна отримувати фізіологічно активні сполуки [18,19].

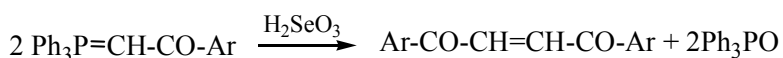


Боев і Домбровський [20] отримали фєроценовмісний алкілідєнфосфоран, стабілізований фосфоновою групою, який за реакцією Віттіга дає фєроценовмісні дієтилфосфонати.



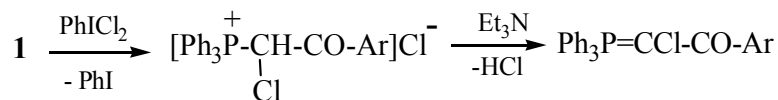
Взаємодія алкілідєнфосфоранів з альдегідами з утворенням ненасичених сполук з С=С зв'язком (реакція Віттіга) – найвідоміший напрямок використання цих сполук, завдяки якому вони і стали широко відомими. Однак, як виявилось пізніше, ці речовини можуть вступати в різноманітні хімічні реакції. Нерідко ці перетворення фосфорілідів призводять до утворення речовин інших класів і можуть слугувати препаративними способами отримання останніх. А.В.Домбровським і співробітниками вивчалось галогенування, ціанування, алкілювання, ацилювання та деякі інші реакції ілідів, головним чином АМТФ. Була використана методика визначення активних атомів Гідрогену у фосфонієвих солях і алкілідєнфосфоранах з допомогою метилмагнійїодиду [21]. Дією на АМТФ фєроценілсульфоназиду отримані фєроценілзаміщені триазоли [22].

Окиснення АМТФ селєнітною кислотою призводить до утворення діароїлетєнів [23-25]. Очевидно, спочатку йде окиснення молекули АМТФ до арилглюксалю, який далі вступає в реакцію Віттіга з іншою молекулою АМТФ.

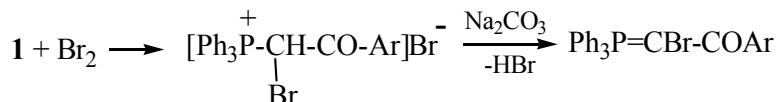


А.В.Домбровським зі співробітниками розроблялись методики галогенування фосфоранів, головним чином, АМТФ. Хлорування зручно

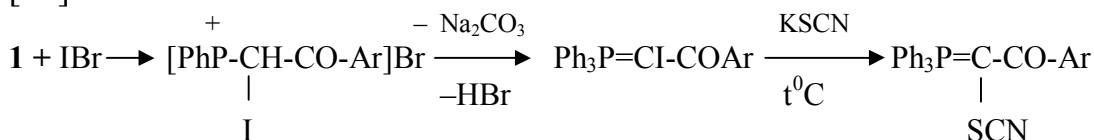
проводити дією феніліодонійхлориду [7,26,27]. Реакцію краще вести у присутності триетиламіну для зв'язування HCl. У такому випадку продуктами є хлоровані фосфорани.



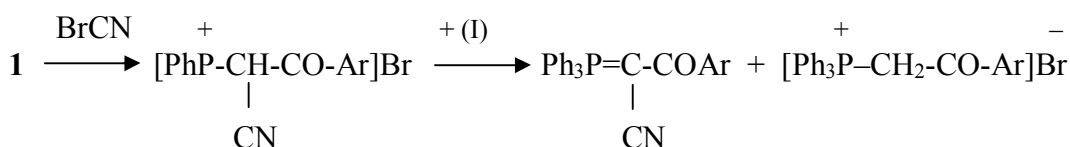
При дії бром у на АМТФ у  $\text{CCl}_4$  в осад випадають бромовані фосфоній броміди, які можна перетворювати на бромозаміщені алкіліденфосфорани наступною обробкою лугом [7,8,18,19,28].



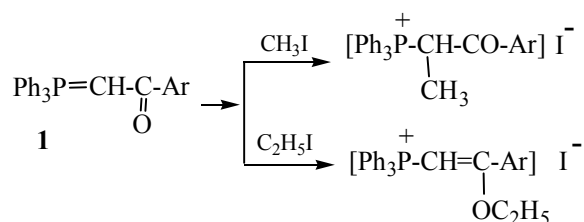
Іодбромід діє на фосфоріліди як іодуючий засіб; електронегативний атом Бром у переходить в аніон. Утворюються іодовані фосфоній броміди, які дією основ можна перетворювати в іодовані фосфорани [18,27,29]. В останніх атоми Іоду можна замінювати на тіоціанатну групу, нагріваючи їх з KSCN [29].



Подібно до іодброміду діє на фосфорани BrCN: ціан-група приєднується до ілідного атома Карбону, атом Бром у переходить в аніонний стан. Реакція йде з переілюванням при нагріванні реагентів у бензені [30].

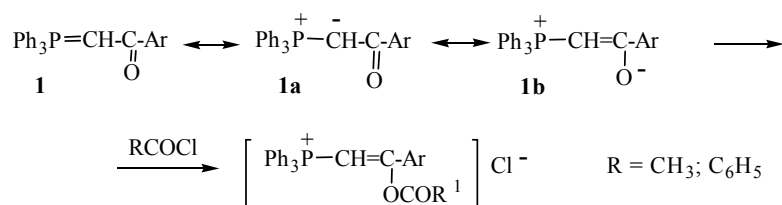


Взаємодією АМТФ з хлорангідрідами оксогідроксамових кислот отримані похідні ізоксазолів [31-33]. Описано арилювання фосфоранів солями дифенілпірилію [34]. Досліджувалась також реакція алкілювання. В роботі [35] показано, що взаємодія АМТФ з метиліодидом відбувається по ілідному атому Карбону (С-алкілювання), а у випадку етиліодиду реакція йде з переносом реакційного центра на атом Оксигену (О-алкілювання).

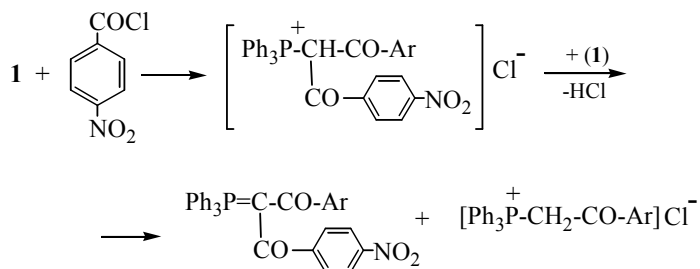


Подібні результати С-метилування і О-етилування отримані на прикладах інших АМТФ [7,8,36], хоча незрозумілою є така різка відмінність у напрямку реакцій метиліодиду і етиліодиду.

Значно цікавішою і безумовно важливішою є реакція ацилювання фосфорилідів. Приділив їй певну увагу в своїх дослідженнях і А.В.Домбровський. Уже в першій його зі співробітниками [37] роботі стосовно ацилювання було показано, що ацетилхлорид і бензоїлхлорид реагують з АМТФ з переносом реакційного центра з ілідного атома С на карбонільний Оксиген у відповідності зі структурою 1b. Утворюються О-ацильовані фосфонієві солі.

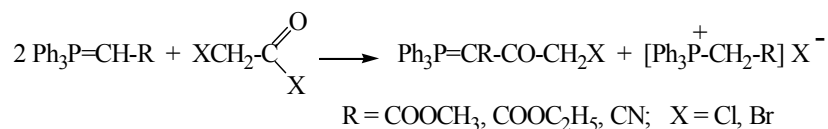


Однак значно активніший п-нітробензоїлхлорид при нагріванні дає продукти С-ацилювання (з переілідуванням) [37].

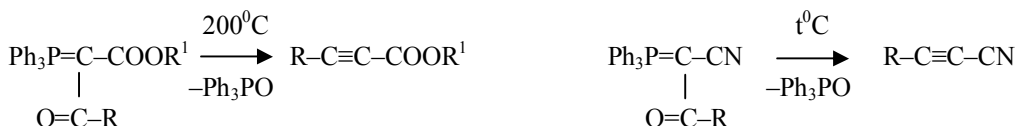


Пізніше було підтверджено утворення О-ацильованих продуктів при взаємодії інших 2-оксоалкіліденфосфоранів з бензоїлхлоридом, ацетилхлоридом та іншими аліфатичними хлорангідридами і С-ацилювання при дії п-нітробензоїлхлориду, хлорангідридів коричної та фуранкарбонової кислот [8,27,38]. Одержання продуктів С-ацилювання можна пояснити тим, що О-ацильовані фосфонієві солі, які, можливо, в усіх випадках є початковими продуктами реакції, далі самі виступають у ролі ацилюючих реагентів по відношенню до інших молекул фосфоранів [39]. Таким чином О-ацилювання є оборотним, в той час як С-ацилювання – процес необоротний.

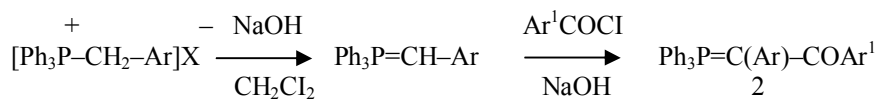
Простіше ведуть себе в цій реакції алкіліденфосфорани, що не містять кетонної групи, наприклад, алкоксикарбоніл- чи ціанметилентрифенілфосфоран. Однозначно йде С-ацилювання (з переілідуванням). Так діють теж галогенангідриди галогеноцтових кислот (хлорацетилхлорид, бромацетилбромід, трихлорацетилхлорид) [40].



Низку ацильованих алкоксикарбонілметиле́нфосфорани́в отримано з застосуванням інших хлорангїдрїдів [41]. При нагрїваннї таких ілідів можлива внутрішньомолекулярна реакція Віттіга з утворенням естерів ацетиленкарбонових кислот [42]. Взагалі термоліз ацильованих ілідів веде до утворення ацетиленових похідних: кетонів, естерів, нітрилів, і це – найважливіший напрямок використання таких ілідів.

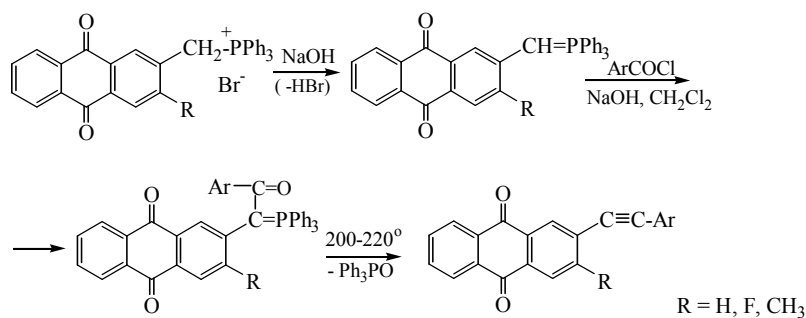


Започатковані разом з А.В.Домбровським дослідження реакцій фосфорілідів з ацилхлоридами були нами продовжені в Житомирському педагогічному університеті. Зокрема, була розроблена методика ацилювання нестабільних арилметиле́нфосфорани́в у двофазній системі  $\text{CH}_2\text{Cl}_2/50\% \text{NaOH}$  [43-45].

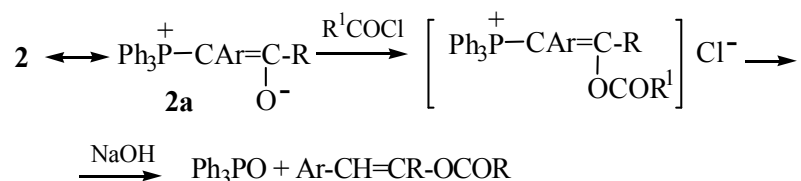


Така методика набагато спрощує умови проведення синтезів, оскільки виключає необхідність використання таких реагентів як бутиллітїй чи фенїллітїй для переведення фосфонїєвих солей в арилметиле́нфосфорани. Відпадає теж необхідність використовувати абсолютні розчинники та інертну атмосферу. Стають доступнішими іліди 2, які можуть слугувати надалі напівпродуктами для одержання діарилетинів (термоліз) [45-48]. Останні ж, як відомо [49], складають помітну групу серед органічних люмінофорів.

В умовах міжфазного каталізу проацильовані антрахінонілметиле́нфосфорани. Одержані ацильовані фосфори в результаті термолізу дають арилантрахінонілетини [50].



Подальші дослідження реакцій фосфорілідів з ацилхлоридами у двофазній системі призвели до розробки нового методу синтезу енолестерів [51-54]. Як було з'ясовано, при застосуванні значного надлишку ацилхлориду (2.5-3 моль на 1 моль фосфонієвої солі) в умовах міжфазного каталізу реакція ацилювання йде глибше. Фосфорани 2, що спочатку утворюються і в цих умовах, піддаються повторному ацилюванню, але з перенесенням реакційного центру на атом Оксигену (формула 2a). О-ацильовані фосфонієві солі, що при цьому утворюються, при дії луку розщеплюються по зв'язку Р-С з утворенням естерів енолів.



Вже з наведених тут прикладів видно, що реакції алкіліденфосфоранів з ацилхлоридами можуть іти в різних напрямках залежно від природи як фосфорана, так і ацилхлорида. Враховуючи теж літературні дані, можна зробити висновок, що ці реакції нерідко призводять до утворення цікавих органічних сполук різних класів і можуть стати препаративними методами їх одержання. Цим реакціям присвячений наш спеціальний літературний огляд в "Успехах химии" [55].

## ЛІТЕРАТУРА

1. Колодяжный О.И. Химия илидов фосфора. Киев: Наукова думка, 1994. 559с.
2. Домбровский А.В., Шевчук М.И. Ароилметилентрифенилфосфораны. //ЖОХ.- 1963.- Т.33, №6.- С.1263-1268.
3. Домбровский А.В., Шевчук М.И. Получение изопропениларилкетонів по реакции Виттига. //ЖОХ.- 1964.- Т.34, №7.- С.1473-1475.
4. Домбровский А.В., Шевчук М.И. Получение виниларилкетонів по реакции Виттига. //ЖОХ.- 1964.- Т.34, №1.- С.192-195.
5. Толочко А.Ф., Шевчук М.И., Домбровский А.В. Получение замещенных халконов реакцией фосфор-карбонилолефинирования. //ЖОрХ.- 1972.- Т.8, №11.- С.2397-2402.
6. Шевчук М.И., Домбровский А.В. Получение 2-винилфурил- и 2-винилтиенилкетонів. //ЖОХ.- 1964.- Т.34, №5.- С.916-919.

7. Шевчук М.И., Антонюк А.С., Домбровский А.В. Синтез фосфоранов, содержащих бензофурановые циклы. //ЖОХ.- 1969.- Т.39, №4.- С.860-869.
8. Антонюк А.С., Шевчук М.И., Домбровский А.В. Фосфониевые соли и фосфораны с 6-карбобензодиоксановым алкилиденовым радикалом. //ЖОХ.- 1972.- Т.42, №8.- С.1706-1714.
9. Антонюк А.С., Домбровский А.В. Синтез фосфониевых солей и фосфоранов, содержащих в алкилиденовой части молекулы конденсированные и гетероциклические ядра. //ЖОХ.- 1983.- Т.53, №8.- С.1746-1751.
10. Волынская Е.М., Шевчук М.И., Домбровский А.В. Монофосфониевые соли и монофосфораны на основе 4,4'-диацетилдифенила и его производных. //ЖОХ.- 1972.- Т.42, №5.- С.986-992.
11. Волынская Е.М., Шевчук М.И., Домбровский А.В. Непредельные моно- и поликетоны с многоядерными неконденсированными ароматическими радикалами. //ЖОХ.- 1973.- Т.43, №5.- С.1053-1058.
12. Шевчук М.И., Толочко А.Ф., Вайсберг М.С., Домбровский А.В. Реакция ароилметилентрифенилфосфоранов с фенилглиоксалем. //ЖОрХ.- 1969.- Т.5, №3.- С.523-529.
13. Шевчук М.И., Халатурник М.В., Домбровский А.В. Ароилкарбометилфосфонийбромиды и ароилкарбометилентрифенилфосфораны. //ЖОХ.- 1971.- Т.41, №10.- С.2146-2150.
14. Шевчук М.И., Халатурник М.В., Домбровский А.В. К механизму образования фосфониевых солей. //ЖОХ.- 1973.- Т.43, №4.- С.758-763.
15. Шевчук М.И., Кушнир В.Н., Домбровский В.А., Халатурник М.В., Домбровский А.В. Моно- и бисфосфинометилены на основе диацетила. //ЖОХ.- 1975.- Т.45, №6.- С.1228-1232.
16. Халатурник М.В., Шевчук М.И., Домбровский А.В. Ароилкарбоалкилен-γ-оксимтрифенилфосфораны. //ЖОХ.- 1972.- Т.42, №5.- С.992-996.
17. Домбровский В.А., Шевчук М.И., Домбровский А.В. п-Терефталойл-бис-метилентрифенилфосфоран на основе п-диацетилбензола. //ЖОХ.- 1964.- Т.34, №12.- С.3741-3743.
18. Кушнир В.Н., Шевчук М.И., Домбровский А.В. Соли и илиды фосфония на основе хлорацетилмочевины. //ЖОХ.- 1977.- Т.41, №8.- С.1715-1721.
19. Кушнир В.Н., Шевчук М.И., Домбровский А.В., Палий Г.К., Волянский Ю.Л., Тищенко Е.И. //Хим.-фармац. ж.- 1977.- Т.11, №1.- С.51-57.
20. Боев В.И., Домбровский А.В. Синтез и свойства ферроценил-(диэтилфосфонио)-фосфонийида. //ЖОХ.- 1983.- Т.53, №3.- С.594-598.
21. Домбровский А.В., Листван В.Н. Определение активного водорода в фосфониевых солях и некоторых фосфоранах по Терентьеву. //ЖОХ.- 1967.- Т.37, №10.- С.2273-2276.
22. Боев В.И., Кушнир В.Н., Шевчук М.И., Домбровский А.В. Синтез и свойства триазолов, содержащих ферроценильное ядро. //ХГС.- 1980.- №5.- С.701-704.



23. Шевчук М.И., Толочко А.Ф., Домбровский А.В. Окисление фосфоранов селенистой кислотой – новый способ синтеза олефинов. //ЖОрХ.- 1971.- Т.7, №8.- С.1692-1696.
24. Шевчук М.И., Лысенко В.П., Волынская Е.М., Домбровский А.В. Окисление моно- и бис-оксофосфоранов селенистой кислотой. //ЖОрХ.- 1976.- Т.12, №3.- С.626-633.
25. Антонюк А.С., Домбровский А.В. Получение диароилэтиленов с конденсированными ароматическими системами. //Изв. вузов. Химия и хим. технология.- 1984.- Т.27, №9.- С.1025-1027.
26. Шевчук М.И., Григоренко А.А., Домбровский А.В., Шпак С.Т. Ароилхлорметилентрифенилфосфораны. //Химия органических соединений фосфора.- Ленинград: Наука, 1967. С.14-17.
27. Шевчук М.И., Волынская Е.М., Домбровский А.В. Ацилалкилентрифенилфосфораны. //ЖОХ.- 1970.- Т.40, №1.- С.48-57.
28. Григоренко А.А., Шевчук М.И., Домбровский А.В. Бромпроизводные ароилметилентрифенилфосфоранов. //ЖОХ.- 1965.- Т.35, №7.- С.1227-1230.
29. Григоренко А.А., Шевчук М.И., Домбровский А.В. Ароилйодметилтрифенилфосфонийбромиды, ароилйодметилен- и ароилроданметилентрифенилфосфораны. //ЖОХ.- 1966.- Т.36, №6.- С.1121-1124.
30. Шевчук М.И., Григоренко А.А., Домбровский А.В. Синтез  $\alpha$ -цианароилметилентрифенилфосфоранов. //ЖОХ.- 1965.- Т.35, №11.- С.2216-2220.
31. Шевчук М.И., Шпак С.Т., Домбровский А.В. Получение изоксазолов реакцией 2-оксоароилфосфоранов с хлорангидридами оксогидроксамовых кислот. //ЖОХ.- 1975.- Т.45, №12.- С.2609-2614.
32. Шевчук М.И., Толочко А.Ф., Бальон М.Г., Халатурник М.В. 3,5-Диацилизоксазолы. //ЖОрХ.- 1978.- Т.14, №9.- С.2003-2006.
33. Братенко М.К., Дейнека С.Е., Проданчук Н.Г., Шевчук М.И., Патратий В.К. Синтез и противомикробная активность фурансодержащих изоксазолов, триазолов и дикетонов. //Хим.-фарм. ж.- 1991.- Т.25, №9.- С.43-45.
34. Боев В.И., Домбровский А.В. Реакции ароилметилентрифенилфосфорилидов с солями 2,6-дифенилпирилия. //ЖОХ.- 1980.- Т.50, №7.- С.1473-1477.
35. Григоренко А.А., Шевчук М.И., Домбровский А.В. Реакции ароилметилентрифенилфосфоранов с алкилйодидами. //ЖОХ.- 1966.- Т.36, №3.- С.506-512.
36. Ягодинец П.И., Скрипская О.В., Проданчук Н.Г., Чернюк И.Н. Синтез и противомикробная активность фосфониевых и аммониевых производных кумаринов. //Хим.- фарм. ж.- 1992.- Т.26, №5.- С.59-61.
37. Домбровский А.В., Листван В.Н. Григоренко А.А., Шевчук М.И. Реакции ароилметилентрифенилфосфоранов с хлорангидридами кислот. // ЖОХ.- 1966.- Т.36, № 8.- С.1421-1424.

38. Шевчук М.И., Волинская Е.М., Домбровский А.В. Синтез и изучение реакционной способности моно- и бис-кетофосфоранов, содержащих многоядерные неконденсированные радикалы. //ЖОХ.-1973.- Т.43, № 5.- С.1047-1050.
39. Листван В.Н., Домбровский А.В. К реакции ароилметилентрифенилфосфоранов с хлорангидридами кислот.// ЖОХ.-1969.- Т.39, № 1.- С.185-188.
40. Листван В.Н., Домбровский А.В. Реакция карбалкоксии и цианметилентрифенилфосфоранов с галогенангидридами галогенуксусных кислот. Синтез фосфоран-фосфониевых солей и бис-фосфоранов. // ЖОХ.-1968.- Т.38, № 8.- С.601-605.
41. Шевчук М.И., Толочко А.Ф., Домбровский А.В. Замещенные карбалкоксиметилентрифенилфосфораны. //ЖОХ.-1970.- Т.40, № 1.- С.37-66.
42. Märkl G. Synthese von  $\alpha,\beta$ -Acetylen-carbonsäuren durch innermolekulare Wittig-Reaction. //Chem.Ber.- 1961.- Bd.94, №11.- S.3005-3010.
43. Листван В.Н., Стасюк А.П., Блощук Л.Н. Реакции нестабильных илидов с ацилирующими агентами в двухфазной системе. // Новые методические принципы в органическом синтезе. IV Всесоюзный симпозиум по органическому синтезу. Тезисы докладов. М., 1984. С.69-70.
44. Листван В.Н. Ацилирование арилметилентрифенилфосфоранов хлорангидридами кислот в условиях межфазного катализа. //Журн.Всес.хим.общества им. Менделеева.- 1985.- Т.30, № 2.- С.233.
45. Листван В.Н., Стасюк А.П., Курган Л.Н. Взаимодействие фосфорилидов с ацилирующими средствами в двухфазной системе. // ЖОХ.-1987.- Т.57, № 7.- С.1534-1540.
46. Akiyama S., Nakasuji K., Nakagawa M. Linear conjugated systems bearing aromatic terminal groups. The synthesis of some diarylacetylenes.// Bull.Chem.Soc.Japan.- 1971.- V. 44, N 8.- P.2231-2236.
47. Listvan V.M. Phosphonium salts and ylids in the synthesis of diarylethenes, diarylacetylenes, and another luminophores.// Международная конференция «Физика и химия органических люминофоров` 95». Тезисы докладов. Харьков, 1995. С.148.
48. Listvan V.M. Phosphonium salts and ylides in diarylethylenes and diarylacetylenes synthesis.// Functional Materials.- 1996.- V.3, N 4.- P.496-501.
49. Красовицкий Б.М., Болотин Б.М. Органические люминофоры. М.: Химия, 1984. 335с.
50. Листван В.Н., Стасюк А.П., Корнилов М.Ю., Комаров И.В. Ацилирование антрахинонилметиленфосфоранов в двухфазной системе. Синтез арилэтинилантрахинонов. // ЖОХ.-1990.- Т.60, № 4.- С.804-807.
51. Листван В.Н., Стасюк А.П., Болюх А.Н. Ацилирование ароилметиленфосфоранов в двухфазной системе. Новый синтез сложных эфиров енолов. // ЖОрХ.-1989.- Т.25, № 2.- С.435-436.

- 52.Листван В.Н., Стасюк А.П., Корнилов М.Ю., Комаров И.В. Синтез сложных эфиров енолов из фосфорилидов и ацилхлоридов в двухфазной системе. // ЖОрХ.-1991.- Т.27, № 11.- С.2441-2445.
- 53.Листван В.М., Листван В.В., Бойчук С.П. Реакція арилідентрифенілфосфоранів з фуроїлхлоридом у двофазній системі – синтез енолестерів. //XIX Українська конференція з органічної хімії. Тези доповідей. Львів, 2001. С.223.
- 54.Listvan V.V., Listvan V.M., Shekel A.M. O-acylation of 2-oxoalkylidenephosphoranes with chloroformates. Enolcarbonates and enolcarbamates. //The International symposium devoted to the 100-th anniversary of academician A.V.Kirsanov. Abstracts. Kyiv, Ukraine, August 21-23, 2002. P.107.
- 55.В.Н.Листван, В.В.Листван. Фосфорилиды и ацилхлориды: направления реакций и препаративные возможности. //Успехи химии.- 2003. Т.72. Вып. 8. С.787.